

新建川の河川間隙水域における細粒土砂濃度の変動

安田, 悠子
九州大学大学院生物資源環境科学府

笠原, 玉青
九州大学大学院農学研究院

大槻, 恭一
九州大学農学部附属演習林

<https://doi.org/10.15017/1448867>

出版情報 : 九州大学農学部演習林報告. 95, pp.5-9, 2014-03-30. 九州大学農学部附属演習林
バージョン :
権利関係 :

新建川の河川間隙水域における細粒土砂濃度の変動*

安田悠子¹⁾・笠原玉青²⁾・大槻恭一³⁾

細粒土砂による河床の目詰まりが河川間隙水域の機能を低下させていることが近年報告されているが、河川間隙水域における細粒土砂の動態はほとんど理解されていない。そこで本研究は、出水に注目し、河川間隙水域内の細粒土砂量の変動を調査した。河川間隙水域は地下に存在するためにその調査が難しく、流路内環境との関係性を見出すことが有効である。水深や流速、土砂堆積量といった流路内環境と細粒土砂濃度との関係性も調べた。調査は、福岡演習林を源流にもつ新建川で、2012年10月-11月の平水時に2回、2012年12月の出水時に2回行った。

河川間隙水域の細粒土砂濃度は平水時に比べると出水時の方が高かった。平水時に湧水傾向にある調査区間において、出水時には河川水の伏流がみられ、河床へ流入する表流水が河川間隙水域への細粒土砂の流入を促していることが示唆された。細粒土砂濃度は、流速×水深 (m²/s) が大きい出水時ほど高く、平水時においても流速×水深が大きいほど高かった。出水時において河床の土砂堆積量が多い地点ほど高い傾向がみられたが有意ではなかった。ばらつきは大きいものの、流路内環境の違いによって、河床間隙水域の細粒土砂濃度の傾向が異なることが示唆された。これらの結果から、河川間隙水域の細粒土砂量は、出水によって変動し、河川地形によって空間的にばらつくことが考えられる。

キーワード：河川間隙水域、細粒土砂

It has been reported that clogging of the hyporheic zone is hindering its function in some rivers. In this study, we used the concentrations of sediment in the hyporheic water, taken from piezometers, as an indicator of fine sediment content and studied the dynamics of fine sediment in the hyporheic zone. The concentrations of sediments in the hyporheic water was measured during baseflow and high flow events. The difficulty of the hyporheic study is that it is located belowground, and thus linking the hyporheic condition to the in-channel parameters is very useful. The relationship between sediment concentrations and in-channel parameters, such as water velocity and sediment accumulation, were also examined. The study was carried out in the Shintate River, near the Kasuya Research Forest, and two samplings during baseflow in October-November 2012 and two samplings during rain events were carried out in December 2012.

The results showed that the sediment concentrations of hyporheic water were higher during high flow event, comparing to baseflow period. The downwelling trend observed during high flow suggests that downwelling stream water may carry fine sediment into the hyporheic zone. Sediment concentrations of hyporheic water were higher during high flow and in the locations with higher velocity x depth (m²/s) during baseflow. Streambed sediment accumulation did not show significant relationship with hyporheic sediment concentration, but during high flow, higher sediment accumulation showed higher concentration. These results suggest that the in-channel parameters may influence hyporheic water sediment concentration. This study indicated that high flow event influence the temporal variation of fine sediment concentration, and geomorphic features may influence spatial variation.

Keywords : hyporheic zone, fine sediments

1. はじめに

河川生態系は開放系であり、周辺環境とのつながりによってその機能を維持している。上流-下流の縦方向のつながりは、例えば River Continuum Concept (Vannote et al. 1980) で説明されるように、水の流れに伴った物質の流れが生物相の分布に強く影響している。流路-河畔の横方向のつながりでは、落ち葉の供給や日射のさえぎりなど河畔林の役割が重視されている (Gregory et al. 1991)。これら2つ

の水平方向のつながりは、その重要性が深く認識されており、河川管理においても維持・再生が考慮されている。それに比べ、流路-河床の垂直方向のつながりは、まだその認識が浅く、河川管理には浸透していない (Boulton 2007)。

垂直方向のつながりを担う河川間隙水域 (hyporheic zone) は、流路下や隣接した地下水域で、流路から伏流した河川水が混入している場所である。河川間隙水域は、河川生物の生息場や避難場所、水温緩衝の場所、また栄養塩や炭素の変換・滞留の場所として機能しており、河川生態系機能

* Yasuda, Y., Kasahara, T., Otsuki, K., Dynamics of fine sediment concentration in the hyporheic water in the Shintate River, northern Fukuoka.

1) 九州大学大学院生物資源環境科学府 〒811-2415 福岡県糟屋郡篠栗町津波黒394
The Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University, 394 Tsubakuro, Sasaguri, Fukuoka 811-2415, Japan
2) 九州大学大学院農学研究院 〒811-2415 福岡県糟屋郡篠栗町津波黒394
Faculty of Agriculture, Kyushu University, 394 Tsubakuro, Sasaguri, Fukuoka 811-2415, Japan
3) 九州大学農学部附属演習林 〒811-2415 福岡県糟屋郡篠栗町津波黒394
Kasuya Research Station, Kyushu University Forest, Kyushu University, 394 Tsubakuro, Sasaguri, Fukuoka 811-2415, Japan

の維持に重要な役割を果たすことが知られている (Boulton et al. 1998)。

河川間隙水域の機能は伏流する河川水と湧昇してくる地下水によって支えられているが、河川水と地下水の交換量や河川間隙水域の拡がりは一河川区間内でも時空間的にばらつきをもつ (Gilbert et al. 1990)。これは、地下水域での水の動きを決定する動水勾配と透水係数にばらつきがあることに起因する (Kasahara et al. 2009)。流路一河床堆積域間の動水勾配の空間的ばらつきをみると、瀬淵などの河川地形が動水勾配をつくるため、河川水の伏流は、例えば、瀬頭に集中する (Harvey & Bencala 1993, Storey et al. 2003)。時間的に見ると、河川間隙水域の拡がり、降雨や地下水位の季節的変動に影響を受け、乾季に比べると雨季に縮小するという報告がある (Wroblicky et al. 1998)。透水係数は河床堆積物が一様でないため空間的に大きくばらつき、河川水の伏流量に強く影響している (Cardenas et al. 2004, Kasahara & Hill 2006)。しかし、透水性の時間的変動の研究はほとんど行われていない。細粒土砂による目詰まりがその大きな要因と示唆されているが (Kasahara & Hill 2006)、細粒土砂に関する研究は水路実験にとどまり (Packman & MacKay 2003)、自然河川における研究例は少ない (Harvey et al. 2012)。

河川間隙水域は河床地下にあるため、観測することが難しい。流路内の環境であれば、土砂堆積量の変化など目視で観測できるが、間隙水域に堆積した細粒土砂量の把握は難しい。したがって、地下の細粒土砂量の変動を、比較的観測が容易な流路内の環境と関係付けることができれば、河川間隙水域の細粒土砂量や透水性をより把握しやすくなると考えられる (Kasahara & Wondzell 2003)。

河川間隙水域の土砂を直接取り出して細粒土砂量を測定することは、河床を攪乱するため、継続的に同地点で観測することを難しくする。そこで本研究では、間隙水域内の細粒土砂量の指標として間隙水の細粒土砂濃度を用い、平水時と出水時でその濃度に変化はあるか、また細粒土砂濃度は流速などの流路内環境と関係性を持っているのかを調査した。新建川のような礫・大礫河川での透水係数の現地測定は難しいため、本研究においては細粒土砂量の観測にとどまり、透水性の調査は行わなかった。

2. 方法

2.1. 調査地

調査は福岡県粕屋郡久山町東久原を流れる新建川で行った。新建川は福岡演習林を源流に持ち、農地区間、都市区間を通り多々良川に流入する河川で、調査地は森林区間から農地区間へ約100m入った地点に設けた。上流域は森林で覆われているが、小出水でも土砂流出がみられる河川である。調査区間は礫・大礫の河床で、流路長は50.7m、平均川幅は5.11m、平均河床勾配は $0.017\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$ であった。この地域の年間降雨量約1600mmで、降水量は6月から8月にかけて多い。

2.2. 調査方法

河川間隙水の細粒土砂濃度の変動を調べるために、間隙水を平水時と出水時に採取して細粒土砂濃度を測定した。また細粒土砂濃度と流路内環境との関係性を調査するために、間隙水採取地点での流路環境として水深、流速、土砂堆積量、動水勾配を測った。調査区間は、梅雨から夏にかけては湧昇傾向が強いため、表流水が河川間隙水域へ及ぼす影響が小さいと考えられる。したがって伏流傾向がみられる秋、2012年10月から12月に調査を行った。

河川間隙水は、河床15–25cmに設置したピエゾメーターより注射器を用いて採取した。ピエゾメーターは内径1cm長さ1mのPVCパイプで、底から10cmの部分には通水用に複数の穴を開けた。ピエゾメーターは、約50mの調査区間の流心に14本設置した (図1)。調査地は溪流であるため、河床構造が複雑で流路が分岐する地点もあるが、流れの多い流路に設置した。動水勾配もピエゾメーターを使って測定した。

間隙水採取と同時にピエゾメーターを設置した各地点の水深と60%水深流速を測定した。流速は20秒平均を電磁流速計を用いて測定した。水深と流量は単独ではなく、水深×流速 (m^2s^{-1}) を用いて考察した。

河床の土砂堆積量は、河床に $22.5\text{cm}\times 22.5\text{cm}$ のメッシュネット (目開き $98\mu\text{m}$) を張った土砂トラップで採取した (図1)。土砂トラップは、平水時には当日夕方に設置して翌日の午前中に回収し、高水時には雨が降る直前に設置して降雨終了後に回収した。土砂トラップに溜まった堆積土砂は、現地において蒸留水で洗い流しながらブラシでこそぎ落としてボトルに採取した。観測時間中に堆積した土砂量を測定し、単位時間・単位面積あたりの土砂堆積量を算出した。

採取した堆積土砂と細粒土砂のサンプルは実験室に持ち帰り、全乾させたグラスファイバー濾紙 (GF/A、粒子保持機能： $1.6\mu\text{m}$) を用いて吸引濾過を行った後、24時間 105°C で乾燥させたものを秤量して濾紙の重さを差し引き、堆積土砂および細粒土砂の質量を求めた。細粒土砂に関しては、

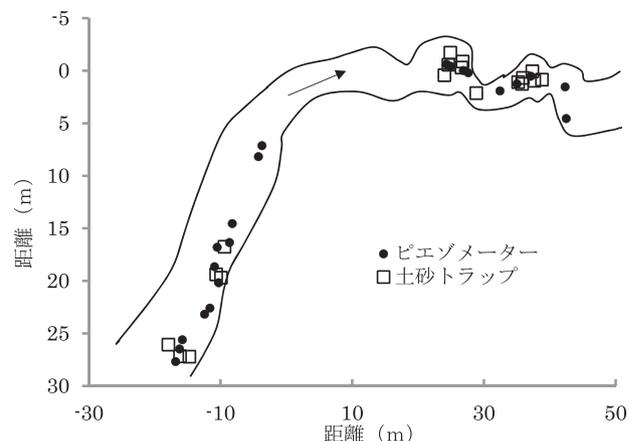


図-1 調査区間においてピエゾメーターと土砂トラップの位置。

採取した際の間隙水の量を除して間隙水細粒土砂濃度 (mg L^{-1}) として算出した。土砂堆積量は単位面積・単位時間当たりの量 ($\mu\text{g cm}^{-2} \text{h}^{-1}$) を求めた。

河川流量は、調査地点から約50m下流に設けられた水位観測所で継続的に水位を測り、水位－流量曲線を用いて推定した。雨量は福岡演習林内の気象観測所によって観測された値を用いた。

3. 結果・考察

3. 1. 調査期間の河川流量

調査期間中の基底流量は約 $0.1\text{m}^3\text{s}^{-1}$ で、降雨とともに急激に流量が上昇するが、降雨後比較的短期間 (1~3日) で基底流量に戻った (図2)。流量が変動する中、平水時の調査は2012年10~11月の比較的流量が安定した期間に2回行った。10月26~27日、11月3~4日のサンプリング時の日平均流量はそれぞれ $0.09\text{m}^3\text{s}^{-1}$ 、 $0.07\text{m}^3\text{s}^{-1}$ であった。出水時のサンプリングは、2012年12月に2回行った。比較的小さな出水イベントを調査対象とした。ピーク流量は、12月14~15日のイベントでは $0.19\text{m}^3\text{s}^{-1}$ 、12月21~22日のイベントでは $0.15\text{m}^3\text{s}^{-1}$ であった (図2)。

3. 2. 河川間隙水の細粒土砂濃度の変動

間隙水の細粒土砂濃度と水深×流速 (m^2s^{-1}) を比べたところ、水深×流速が大きいほど細粒土砂濃度が高い傾向が見られた (図3)。出水時の方が水深×流速が大きいため、出水時において間隙水細粒土砂濃度が高い結果である。本研究では出水前後のサンプリングを行っていないので、出水により一時的に細粒土砂濃度が増加したとは言えないが、低流量で比較的安定している平水時に比べ、出水時の方が細粒土砂濃度が高かったことは確かである。細粒土砂の供給源である表流水の細粒土砂濃度は平水時には低く、出水時に高くなることから、出水時に間隙水域へ細粒土砂が多く流入したと考えられる。

平水・出水サンプルごとに見ると、有意にはないが平水時には細粒土砂濃度と水深×流速に正の相関がみられたが、出水時にはその関係はみられなかった (図3)。平水時の2回の測定は、流量 $0.07\sim 0.09\text{m}^3\text{s}^{-1}$ で行われたために、観測日間の河川流量の差が水深×流速へ及ぼす影響は小さいと考えられる。また、調査区間は約50mで支流の流入もなく、区間内での河川流量の変動の影響も考えられない。調査区間は溪流河川であり、地形が複雑で河床の凹凸が大きく、水深と流速の空間的ばらつきが大きい。したがって、平水時において水深×流速は、観測地点での地形の違いによってばらつくと考えられる。出水時には、河床の凹凸が水の流れに及ぼす影響は小さくなり、水深×流速と細粒土砂濃度の関係が出水時にみられなかったことも、平水時に河床地形が細粒土砂濃度に影響を及ぼすことを示唆している。本研究は、サンプル数が少なく有意な関係はみられなかったため更なる調査が必要である。

河床の土砂堆積量は、出水時の方が平水時よりも多かった。河床の土砂堆積量は、河川間隙水域の細粒土砂濃度に影響があると考えられたが、出水時と平水時においても優位傾向はみられなかった (図4)。動水勾配は各ピエゾメーターで測定し、正の値は地下水の湧昇を示し、負の値は河川水の伏流を示す。細粒土砂濃度と動水勾配の関係をみると、平水時は地下水が湧昇する傾向にあり、細粒土砂濃度が低い。逆に、出水時には河川水が伏流していて、間隙水の細粒土砂濃度が高い傾向がみられた (図5)。これらの結果から、河床に堆積した土砂が、河川水の伏流とともに河川間隙水域へ流入したために、出水時に採取された間隙水の細粒土砂濃度が高かったと考えられる。

これまで、流路から河川間隙水域への細粒土砂の流入は数例報告されている。例えば、水路実験において、表流水に含まれる細粒土砂が、砂河床に堆積するだけでなく間隙水域に流入した (Packman & MacKay 2003)。また、小さな都市河川において、一定の速度で3時間半に亘って細粒土砂を放流する実験を行ったところ、河床3cmの深さまで

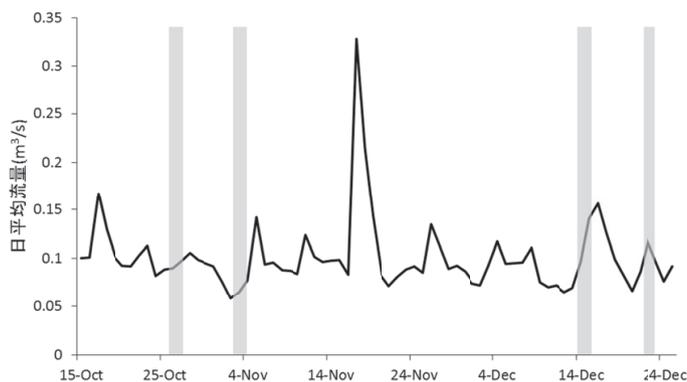


図2 調査期間中の日平均流量 (m^3s^{-1}) と福岡演習林で測定された降雨量 (mm)。灰色のラインは調査日を示す。

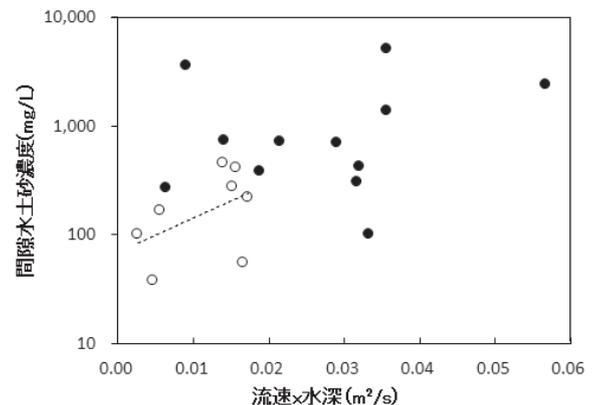


図3 河川間隙水の細粒土砂濃度 (mgL^{-1}) と水深流速 (m^2s^{-1}) の関係。白丸は平水時、黒丸は出水時のデータを示す。

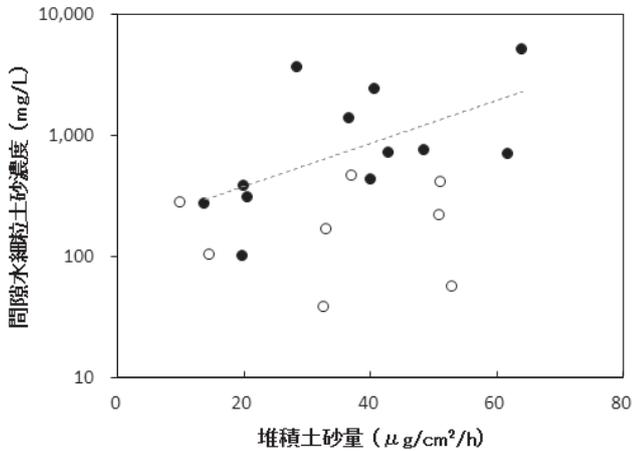


図4 河川間隙水の細粒土砂濃度(mgL^{-1})と土砂堆積量($\mu\text{gcm}^{-2}\text{h}^{-1}$)の関係。白丸は平水時、黒丸は出水時のデータを示す。

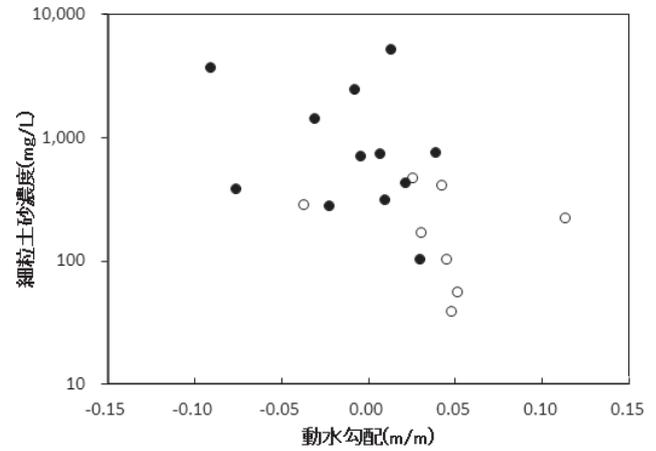


図5 河川間隙水の細粒土砂濃度(mgL^{-1})と動水勾配(mm^{-1})の関係。白丸は平水時、黒丸は出水時のデータを示す。

細粒土砂が入り込んだことが報告されている (Harvey et al. 2012)。本研究の調査地においても、出水時は水がにごり土砂流出が多く、出水時に細粒土砂が間隙域に流入し、高い細粒土砂濃度が観測されたと考えられる。本研究は、河床15cmに設置されたピエゾメーターから間隙水を採取し、細粒土砂の増加を観測した。これは既存の研究よりもかなり深い地点への細粒土砂の流入がみられたことになる。この違いは、河床材料の違いで説明できると考える。既存の研究では砂床河川が使われた (Harvey et al. 2012) のに対し、本研究は主に礫と大礫を河床材料に持つ溪流で行った。したがって、間隙のサイズも大きく、細粒土砂が河床15cmにまで達したと考えられる。

これまで、農地河川や都市河川において、細粒土砂が河床の目詰まりを起こして河川間隙水域の機能を低下しているとの報告がされてきた (Lefebvre et al. 2004, Hancock 2002)。河川間隙水域は河川生態系で重要な役割をもっているため、機能の回復が求められる中、目詰まりを起こす要因である細粒土砂の動態の把握は重要である。本研究では、出水時に河川間隙水域の細粒土砂濃度が高いことが観測され、表流水の浮遊土砂が河床 $>15\text{cm}$ の間隙域にまで流入していることが観測された。また、平水時における細粒土砂濃度の空間的ばらつきは河床地形に起因している可能性も考えられた。自然河川での細粒土砂濃度の変動は、増加の過程だけでなく、減少の過程も調査を行うことでこれからの河川管理に有効な情報を提供できると考えられ、更なる研究が必要である。また、細粒土砂量の変動することで、透水性が変化し、河川間隙水域の機能へ影響を及ぼすので、細粒土砂量と透水性の関係も調査を進める必要がある。

謝 辞

本研究は、科学研究費補助金No. 24780153 (代表：笠原

玉青)を用いて行った。流域環境制御学研究室に所属した学生の多くにフィールド調査やサンプルの処理に携わっていただき、ここに感謝の意を表します。

引用文献

- Boulton AJ (2007) Hyporheic rehabilitation in rivers: restoring vertical connectivity. *Freshwater Biology* 52 : 632-650
- Boulton AJ, Findlay S, Marmonier P, Stanley EH, Valett HM (1998) The functional significance of the hyporheic zone in streams and rivers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29 : 59-81
- Cardenas BM, Wilson JL, Zlotnik VA (2004) Impact of heterogeneity, bed forms, and stream curvature on subchannel hyporheic exchange. *Water Resources Research* 40 : W08307
- Gilbert JM, Dole-Oliver J, Marmonier P, Vervier P (1990) Surface water-groundwater ecotones. In Naiman, R. J. & H. Decamps (eds), *Ecology and Management of Aquatic-Terrestrial Ecotones*. Parthenon Publishers, London, UK : 199-255
- Gregory SV, Swanson FJ, McKee WA, Cummins KW (1991) An Ecosystem Perspective of Riparian Zones. *BioScience* 41 : 540-551
- Hancock PJ (2002) Human impacts on the stream-groundwater exchange zone, *Environmental Management* 29 : 763-781
- Harvey JW, Bencala KE (1993) The effect of streambed topography on surface-subsurface water exchange in mountain catchments. *Water Resources Research* 29 : 89-98
- Harvey JW, Drummond JD, Martin RL, McPhillips LE,

- Packman AI, Jerolmack DJ, Stonedahl SH, Aubeneau AF, Sawyer AH, Larsen LG, Tobias CR (2012) Hydrogeomorphology of the hyporheic zone: Stream solute and fine particle interactions with a dynamic streambed. *Journal of Geophysical Research* 117 : G00N11
- Kasahara T, Detry T, Boulton AJ, Mutz M (2009) Treating causes not symptoms: restoration of surface-groundwater interactions in rivers. *Marine and Freshwater Research* 60 : 976-981
- Kasahara T, Hill AR (2006) Hyporheic exchange flows induced by constructed riffles and steps in lowland streams in southern Ontario, Canada. *Hydrological Processes* 20 : 4287-4305.
- Kasahara T, Wondzell SM (2003) Geomorphic controls on hyporheic exchange flow in mountain streams. *Water Resour. Res.* 39 : 1005
- Lefebvre S, Marmonier P, Pinay G (2004) Stream regulation and nitrogen dynamics in sediment interstices: comparison of natural and straightened sectors of a third-order stream. *River Research and Applications* 20 : 499-512.
- Packman AI, MacKay JS (2003) Interplay of stream-subsurface exchange, clay particle deposition, and streambed evolution. *Water Resources Research* 39 : 1097
- Storey RG, Howard KWF, Dudley WD. (2003) Factors controlling rifflescale hyporheic exchange flows and their seasonal changes in a gaining stream; a three-dimensional groundwater flow model. *Water Resour Res* 39 : 1034.
- Vannote RL, Minshall GW, Cummins KW, Sedell JR, Cushing CE (1998) The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 130-137
- Wroblicky GJ, Campana ME, Valett HM, Dahm CN (1998) Seasonal variation in surface-subsurface water exchange and lateral hyporheic area of two stream-aquifer systems. *Water Resources Research* 34 : 317-328

(2013年10月28日受付 : 2014年1月8日受理)