

(科学研究費補助金「諏訪湖・天竜川水系の物質循環、水循環とマネーフローからの研究」中間報告)

諏訪湖- 天竜川流域における天然物質の循環過程の解析-2004

鈴木啓助・戸田任重・佐藤利幸・樋上照男・朴 虎東・村越直美
信州大学理学部

Cyclic Process of Natural Substances in the Drainage Basin of the Tenryu River-2004

Keisuke SUZUKI, Hideshige TODA, Toshiyuki SATO, Teruo HINOUE, PARK Ho-Dong
and Naomi MURAKOSHI
Faculty of Sciences, Shinshu University

キーワード: 森林源流域、蒸発散、窒素安定同位体、シリカシンク、アオコ毒素

Key words: forested watershed, evapotranspiration, nitrogen stable isotope, silica sink, microcystin

1. はじめに

流域系における自然起源物質の入力は、水としての降水および自然起源化学物質の大気からの沈着である。これに、人為起源物質の大気からの沈着および農業などの人間活動によりもたらさる物質が負荷される。また、流域系における入力と出力の間では、水の流下の過程での岩石土壌とのイオン交換や土壌微生物による窒素化合物の変質、生物体の腐食などがある。本グループでは、これらの流域内での物質循環過程を、自然起源物質を主な研究対象として研究する。

2. 研究の進捗状況と研究成果

2-1. 天竜川支流の源流域における流出高の日変動と蒸発散量の関係 (担当: 鈴木・久保池・倉元)

中央アルプス東側に位置する、天竜川の一支流である森林源流域において、河川流量を精度良く観測するとともに、潜熱・顕熱輸送量算出に必要な気象要素の観測を行った。その結果次のことが明らかとなった。

研究対象期間の夜間には顕熱・潜熱輸送量はともにマイナスの値を示し、地表面が夜間に放射によって冷却されており、それを緩和するように顕熱・潜熱輸送により大気から地表面に熱が輸送されている。夜間の絶対値としては顕熱輸送量の方が潜熱輸送量よりも大きく、特に、日没前後に顕熱輸送量は大きなマイナスの値を示す。降雨日以外には潜熱輸送量の方が顕熱輸

送量よりも日最大値が大きくなっており、降雨日より晴天日に潜熱輸送量が大きくなり蒸発散が活発であることがわかる。

日蒸発散量と各気象要素との関係を検討すると、日最小湿度と日蒸発散量との間でのみ負の相関係数(-0.791)を示し、日最大風速、日最高気温、日積算日射量とはそれぞれ0.595、0.437、0.877と正の相関係数を示す。また、日蒸発散量を目的変数とする重回帰分析を行った結果、標準偏回帰係数の絶対値は日最小湿度について最大となり(-0.392)、日蒸発散量の変動を規定する要因として日最小湿度が重要であることがわかる。

無降水期間が比較的続いた時の流出高の日変化は、蒸発散量の日変化と鏡像関係にある。蒸発散量は昼頃に日最大値を示すが、そのほぼ同じ時間に流出高は日最小値を示す。両者の日変動傾向から、流出高の日変化は流域からの蒸発散の影響によるものであることが強く示唆される。流出高の日較差と日蒸発散量との相関係数は0.98と極めて高く、日蒸発散量の多寡によって流出高の日較差の値が規定されていることを示す。このことから、無降雨時に観測される流出高の日変化は、流域内の地表面からの蒸発散の影響であることを強く裏付けるものである。

ここで報告したのは、夏から秋にかけての70日間についての観測結果であり、流出高と蒸発散量との関係を明らかにするためには、さらに長期にわたる観測が

必要であり、また、植生の異なる流域での観測も必要であろう。また、蒸発散量のピークと最小流出量の遅れ時間が、流域によって異なる機構については今後の課題である。

【関連業績】

鈴木啓助(2004)：渓流水の酸性化をもたらす融雪水。

地球環境, 9, 51-62.

鈴木啓助・久保池大輔・倉元隆之(2004)：森林源流域における流出高の日変動と蒸発散量の関係。日本水文科学会誌, 34, 29-36.

Zhou, S., Narita, H., Suzuki, K. and Nakawo, M. (2004): An estimate of spatial ratios for preferential water flow in a melting snowpack. Bulletin of Glaciological Research, 21, 23-29.

2- 2. 下伊那郡豊丘村における地下水中の硝酸塩の起源 (担当：戸田任重・清水竜之介)

井戸水から高濃度の硝酸態窒素が検出されている豊丘村において、その汚染源を特定するため、硝酸塩の窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$ 値) を測定した。

窒素安定同位体比を分析した個人井戸は77点、水道水源用井戸は8点である。個人井戸の $\delta^{15}\text{N}$ 値は、1地点 (17.3‰) を除き、0.7~10.7‰、平均値は 5.6‰ (sd=2.0) であった。水道水源用井戸の $\delta^{15}\text{N}$ 値は 2.9~7.6‰、平均値 5.3 (sd=2.0) ‰ であった。著しく高い $\delta^{15}\text{N}$ 値を示した地点の近くには、数年前まで養豚場があり、畜産排出物はその近辺で処理されていたとのことである。土壌中に残留していた畜産排出物由来の窒素がこの井戸に混入しているものと思われる。

個人井戸を#1~499 (北部)、#500~999 (中部)、#1000 以上 (南部) の3グループに分けて、それらの $\delta^{15}\text{N}$ 値を比較した。中部 (5.2±1.7‰) と南部 (5.2±2.2‰) はほぼ同様の分布を示し、一方、北部の井戸水の $\delta^{15}\text{N}$ 値 (7.0±1.6‰) は、中部・南部よりもやや高めの値を示した。しかし、地区による $\delta^{15}\text{N}$ 値の差異は小さく、個人井戸の $\delta^{15}\text{N}$ 値は全体としては正規分布を示した。また、今回 $\delta^{15}\text{N}$ 値を分析した井戸水 (個人+水道水源) では、硝酸態窒素濃度と $\delta^{15}\text{N}$ 値との間には、正あるいは負の明瞭な相関関係は認められなかった。これらのことから、豊丘村の窒素汚染は、地区ごとに特徴のある特定の汚染源によるものではなく、村内で同様な汚染源に起因していることが示唆され

る。

これまでの多くの研究の結果、化学肥料由来の窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値は 0‰ 前後、畜産排出物や下水処理水由来の窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値は 10~20‰ 程度、土壌由来の窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値は 2~10‰ であることが知られている。豊丘村の井戸水の $\delta^{15}\text{N}$ 値の範囲は、土壌由来窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値に相当するが、自然土壌由来の窒素だけでは、豊丘村でみられる高濃度の硝酸態窒素は説明がつかない。

豊丘村でみられる硝酸態窒素による汚染井戸は、天竜川に沿った河岸段丘の下部を中心に広くみられ、河岸段丘上にはリンゴやナシを主とする果樹畑が存在する。農耕地では、減少傾向にはあるものの、化学肥料および有機質資材 (堆肥) が現在でも相当量使われている (平成 14 年現在、両者合わせて 128ton N、農耕地単位面積当たり 215kg N/ha、長野県農業技術課調べ)。年間浸透水量を 1000mm、溶脱率を 30% とすれば、農耕地での浸透水の硝酸態窒素濃度は 6.5mg N/L 程度になる。窒素換算した場合、化学肥料の施用量は有機質資材の約 2.6 倍である (化学肥料が 91.9 ton N、有機質資材が 35.7 ton N、長野県農業技術課調べ)。上述したように、化学肥料由来の窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値は 0‰ 前後、堆肥由来の窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値は 10~20‰ であることが知られている。堆肥の $\delta^{15}\text{N}$ 値には幅があり、豊丘村の堆肥の同位体比を測定していないので、豊丘村で使われている堆肥の同位体比を特定はできないが、仮に中間値の 15‰ とすれば、化学肥料と堆肥に由来する窒素が施用量に比例 (2.6:1) して地下水に混入した場合には、地下水の窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値は 4.2‰ 前後になる。今回測定された井戸水の硝酸態窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値の平均値は、個人井戸が 5.6‰ (#256 を除く)、水道水源用井戸が 5.3‰ であり、4.2‰ よりやや高い結果であった。堆肥に由来する窒素の割合が、もう少し多いのかも知れない (化学肥料 60%、堆肥 40% の割合で混入した場合、地下水は 6‰ になる)。

豊丘村では、水洗化率が 94.3%、合併処理浄化槽利用者を除いても 74.8% に達し、生活排水由来の窒素が、地下水に混入している可能性は低い。また、食品工場や養豚場などの窒素汚染源は局在しており、豊丘村で観測されたような広域にわたる窒素汚染の原因とは考えにくい。

以上の状況から、豊丘村でみられた地下水の高濃度の硝酸態窒素の起源は、農耕地、特に河岸段丘上に存在する果樹畑で施用された化学肥料および有機質資材

(堆厩肥)である可能性が高いと考える。

【関連業績】

戸田任重・山崎未月・沖野外輝夫、2002. 3、付着藻類の窒素安定同位体比からみた天竜川水系の窒素の起源、信州大学環境科学年報、24: 127-130.

Toda, H., Y. Uemura, T. Okino, T. Kawanishi, and H. Kawashima (2002) Use of nitrogen stable isotope ratio of periphyton for monitoring nitrogen sources in a river system. *Water Science and Technology* 46 (11-12): 431-435.

戸田任重・椎名未季枝・平林明・新藤純子・川島博之・沖野外輝夫、2004、千曲川における窒素化合物の由来、地球環境、9 (1): 41-48.

Akamatsu, F., H. Toda, and T. Okino, 2004, Food source of riparian spiders analysed by using stable isotope ratios, *Ecological Research* 19: 655-662.

2- 3. 長野県低地におけるシダ植物種密度の分布とミズゴケ類資料の検討 (担当: 佐藤利幸)

2004年度は、長野県全域において標高1000m以下の約300地点において、シダ植物相の調査を行った。1996年から2004年に合計1225地点の調査が行われた。1地点あたりおおよそ100m x 100mの範囲で、標高差は100m以下である。あわせて水質調査のサンプリングを約100地点で行った。また希少樹種ハナノキ周辺のミズゴケ植物の種組成を資料「長野県植物誌: 松田」を用いて集計した。その結果オオオミズゴケ・ウロコミズゴケの広汎種とコアナミズゴケ・ハリミズゴケがハナノキ遺存分布地点で共通していた。後者は北西部と南東部山岳の要素である。希少樹種ハナノキの周辺にはいくつもの植物要素が混在することが示された。

【関連業績】

(1) 佐藤利幸・内田暁友・梅沢 俊・甲山隆司・児玉裕二・原登志彦 (2004) 北海道寒冷地(北・東部)のシダ植物: 分布と多様性 北海道大学低温科学研究所・信州大学理学部(一部は1997~2004年度共同研究成果報告書) 藤原印刷 松本 100pp.

(2) 佐藤利幸 (2004) 寒さ・雪氷・山岳は植物に何を与えるか: マクロスケールから「植物科学の新展開—分子から群集まで広視野研究をめざす—」シンポジウム「植物科学の新展開」編集委員会(前島正義・露崎史朗 編) 名古屋大学生命農学研究科 名

古屋 p. 79-87.

(3) 佐藤利幸 (2004) ハイマツ プランタ p. 26-32.

(4) 佐藤利幸・鈴木啓助・戸田任重 (2004) 長野県低地におけるシダ植物の多様度—天竜川水系のシダ種密度分布特性—信州大学環境科学年報 26: 91-94.

(5) 佐藤利幸・中山 列・横内文人・島野光司 (2004) 浅間温泉(松本市)2002年早春の山火事跡地の植生回復(I)—被害と生活形に応じた3ヶ月後の種組成と種密度—信州大学環境科学年報 26: 95-101.

2- 4. 陸水域のシリカシンクに関する研究 (担当: 極上照男)

「シリカ欠損」仮説の検証の一貫として、日本海に流入する河川の動態を把握するため、信濃川水系の水質調査を平成15年から17年にわたり毎月1度の頻度で実施し、溶存態ケイ酸(DSi)濃度が、千曲川の方が犀川よりも約1.8倍高いことを見出した。(図1)また、この原因として、1)流量による希釈の影響、2)ダム湖などの停滞水域の影響、3)流域の地質の影響を考察し、その結果、岩石からのケイ酸の溶出能と総溶出量が同じであれば、1)の流量による希釈の影響が顕著であること、2)のダム湖などの停滞水域の影響が限定された季節には現れることを指摘した。

一方、信濃川の水質調査を実施する中で、「シリカ欠損」仮説を本質的に検証するには、岩石からのケイ酸の溶出機構とその化学的状態の検討が必要であることを提案し、生物由来シリカ(BSi)の定量法の開発をおこなった。NMR法とアルカリ連続抽出法を新しく提案し、従来のアルカリ溶出法(DeMaster法)を比較法として、珪藻土および底泥中のBSi定量法の開発を試みた。その結果、NMR法は珪藻土に含まれるすべてのケイ酸の骨格構造と起源との関係を明らかにするために有効であり、今後、試料中の全シリカ定量のために蛍光X線分析を用いれば、BSiの標準的な定量法となり得ることを示唆した。さらに、分析に長時間を要するDeMaster法の欠点を改善するために、カラムを用いたアルカリ連続抽出法を開発した。この方法による定量結果は、DeMaster法による結果ではなくむしろNMR法による結果と一致したが、これはDeMaster法とアルカリ連続抽出法とのBSiの溶出速度・機構の違いによるものと結論した。

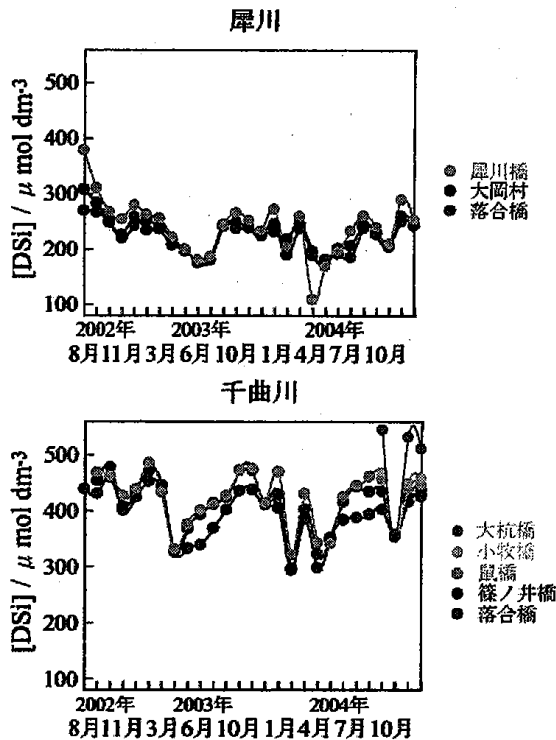


図1 信濃川（犀川および千曲川）のDSiの経時変化

【関連業績】

(論文)

1) Activation Effects of a Platinum Electrode by Laser Pulse Irradiation on the Electro-Oxidation of Glucose in Alkaline Solution, Masato Chikasou, Takakuni Hirabayashi, Toshio Nakamura, and Teruo Hinoue, *Anal. Sci.*, 20, 1171-1177 (2004).

2) モリブドリン酸アンモニウム沈殿の水晶発振子への付着を利用するリン酸イオンのフロー分析法の開発 江口啓介, 樋上照男, 野村俊明, *分析化学*, 53(5), pp. 419-427 (2004).

(学会発表)

1) 「信濃川水系・ダム湖におけるシリカ変動過程とBSi分析手法」樋上照男, 2004年度日本海洋学会春季大会, 講演要旨集 345頁 (D5), 2004年3月26日(金)～30日(火), 筑波大学(茨城県つくば市)

2) 「珪藻土中の生物および鉱物由来シリカの分別定量法の検討」上田雅博, 樋上照男, 日本分析化学会第53年会, 講演要旨集 176頁 (I1022), 2004年9月1日(水)～3日(金), 千葉工業大学芝園キャンパス・幕張メッセ国際会議場

2-5. 諏訪湖における底泥表層の酸可溶性リン濃度とリン溶出速度の季節変化 (担当: 朴・本間)

諏訪湖は1979年の下水道供用開始以後, 集水域からのリン供給量が減少しており, 底泥中のリン濃度の減少が予測される。しかし, 近年の諏訪湖底泥の調査は単発的なものが多く, その季節変動について研究を行った例は少ない。そこで本研究では2003年の諏訪湖湖心の底泥柱状試料を用いて, リン溶出速度と底泥中のリン濃度の季節変化を明らかにすることによって, 近年の底泥からのリン供給量の変動を解明することを試みた。

5月, 7月, 9月と11月の計4回, 内径5.5cm長さ50cmのアクリルチューブを取り付けた重力式コアサンプラーを用いて諏訪湖湖心の底泥を採取した。採取した底泥は実験室に持ち帰り, 暗条件のインキュベータ内で溶出実験を行った。インキュベータの温度設定は5月と11月は15°C, 7月と9月は20°Cと25°Cに調整した。底泥試料は空気と窒素で通気を行い, それぞれ好気・嫌気条件に調整した。試料は実験開始から25日間, 5日ごとに100mL採水した。試水はモリブデンブルー吸光度法によりリン酸態リン濃度を求め, その値から面積あたりのリン溶出速度を求めた。実験終了後に底泥柱状試料は1cmごとに裁断し, 湿泥2gを0.2N塩酸50mL中で10分間振盪し, 酸可溶性リンを抽出した。抽出後24時間静置し, 上澄みをリン分析に用い, 底泥面積あたりに吸着している酸可溶性リン濃度を求めた。

好気条件ではリン溶出速度は $2\text{mgP m}^{-2}\text{ day}^{-1}$ 以下であった。窒素を通気した嫌気条件では全ての処理区でリンの溶出が記録された。最も高い溶出速度は実験開始0-5日目に観察され, 5月(15°C)に $6.09\text{mgP m}^{-2}\text{ day}^{-1}$, 7月(20°C)に $13.5\text{mgP m}^{-2}\text{ day}^{-1}$, 9月(25°C)には $16.4\text{mgP m}^{-2}\text{ day}^{-1}$ と全ての処理区の中で最も高い値がみられた。5月と同じ15°Cで実験を行った11月は $4.86\text{mgP m}^{-2}\text{ day}^{-1}$ と5月よりも低い値が観測された。実験終了後の底泥試料の酸可溶性リン濃度は, 5月の試料では表層(0-1cm)でおよそ 1650mgP m^{-2} (底泥乾燥重量あたり: 1.24mgP g^{-1})であった。7月の表層では $515-646\text{mgP m}^{-2}$ ($0.3-0.65\text{mgP g}^{-1}$)と5月に比べ減少した。9月の試料の表層のリン濃度は $604-946\text{mgP m}^{-2}$ ($0.50-0.68\text{mgP g}^{-1}$)と7月の値よりも僅かに高かった。11月には表層の濃度が $674-1506\text{mgP m}^{-2}$ ($0.55-0.91\text{mgP g}^{-1}$)と9月に比べて僅かに増加し

た。

福原ら(1981)は1978年7月23日に採取した諏訪湖底泥試料を用いた室内リン溶出実験から、嫌気状態での溶出速度が $36.5 \text{ mgP m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ であったことを報告している。本研究の7月の値はその3分の1程度であった。中島ら(1979)は1978年6月5日の諏訪湖湖心の底泥表層の酸可溶性リン濃度を分析している。彼らの結果では表層の乾燥重量あたりの酸可溶性リン濃度は 1.55 mgP g^{-1} であった。この値は2003年7月の値の3倍にあたる。これらの結果は底泥表層に吸着したリンの減少に伴い、諏訪湖の底泥からのリン溶出量が減少したことを示している。

1978年の温暖期(6月から10月)のクロロフィルa濃度は29から $6160 \mu\text{g L}^{-1}$ の範囲で変動していた。それに対して2003年のクロロフィルa濃度は23から $86 \mu\text{g L}^{-1}$ と1978年に比べ非常に低い濃度であった。諏訪湖では温暖期にMicrocystisによるブルームが発生する。したがって、1978年と2003年のクロロフィルa濃度の差はMicrocystisの現存量の違いを表しているといえる。Microcystisブルームの現存量は湖水中のTP濃度と高い相関関係にあることから、底泥からのリン溶出量の減少が諏訪湖におけるMicrocystisブルームの現存量が縮小した原因であると考えられる。

【関連業績】

Liqiang Xie, Ping Xie, Kazuhiko Ozawa, Takamitsu Honma, Yokoyama Atsushi and Park Ho-Dong (2004) Dynamics of microcystins-LR and -RR in the phytoplanktivorous silver carp in a sub-chronic toxicity experiment. *Environmental Pollution* 127 : 431-439.

Katagami Yukimi, Toshiyuki Tanaka, Takamitsu Honma, Atsushi Yokoyama and Park Ho-Dong (2004) Bioaccumulation of cyanobacterial toxin, microcystin on *Stenopsyche marmorata* and the ecological implications for river ecosystem in Tenryu River, Japan. *Japanese Journal of Limnology* 65: 1-12 .

Tomoko Maruyama, Kenji Kato and Park Ho-Dong (2004) Population dynamics of free-living bacteria related to the microcystin-degrading strain Y2 in Lake Suwa and in microcystin amended enrichments. *Microbes and*

Environments 19:137-146.

Kazuhiko Ozawa, Hiroki Fujioka, Minoru Muranaka, Atsushi Yokoyama, Yukimi Katagami, Takamitsu Honma, Kanako Ishikawa, Shigeo Tsujimura, Michio Kumagai, Mariyo F. Watanabe and Park Ho-Dong (2004) Spatial distribution and temporal variation of *Microcystis* species composition and microcystin concentration in Lake Biwa. *Environ. Toxicol.* 20 : (inpress).

Liqiang Xie, Ping Xie, Longgen Guo, Li Li, Miyabara Yuichi and Park Ho-Dong (2004) Organ distribution and bioaccumulation of microcystins in freshwater fishes with different trophic levels from the eutrophic Lake Chaohu, China. *Environ. Toxicol.* 20: (inpress).

2- 6. 遠州灘海岸の地形と海浜砂の粒度変化 (担当: 村越)

遠州灘海岸の海浜砂の特徴や動態を把握するため、昨年度に引き続き遠州灘海岸に沿って海浜砂を構成している砂を採集した。一般に一つの沿岸漂砂系の中では、砂の供給源すなわち河口から離れるほど粒径が細くなる。また海浜地形のなかで最も海側に位置する前浜は、常に波に洗われている地形面であり、沿岸漂砂の状況をよく反映する場所の一つである。

昨年と違い、2004年10月には遠州灘海岸を度重なり大型台風が来襲した(台風22号, 23号)。沿岸の漂砂および海浜砂は、この台風による波浪および天竜川流域からの河川水と碎屑物の流出によって強く影響を受けたと考えられる。

遠州灘海岸沿いの、主要河口の両岸を含む29地点を選定し、台風通過後の2004年10月27日-29日に、現地調査し、23地点から前浜を中心に海浜砂のサンプルを採取した。さらにそれらの砂を粒度分析した。

現地の海浜地形に関して昨年と比べて大きく変化した地点が認められた。多くは海浜プロファイルが大きく後退した地点である。海浜プロファイルの後退は、外浜および前浜から後浜・砂丘からなる海浜の砂が侵食されて移動したことを意味している。これは直前の台風接近時の波浪の影響が如実に反映されていたのであろう。侵食された砂の多くは沿岸漂砂系に組み込まれて移動していると考えられる。一部の海岸では、す

で沿岸砂州が前浜に乗り上げて welded bar がみられた。

粒度分析からは昨年と異なるトレンドが強調される結果となった。平均粒径は遠州灘海岸中央部から東西に離れるほど細粒になる変化を示す。すなわち天竜川河口西岸で前浜は突出して最も粗粒(0.5φ)で、東の御前崎、西の伊良湖岬に向かって細粒化(2.0φ)する。昨年の結果では、天竜川河口から離れるほど全体に平均粒径が小さくなる傾向と、伊良湖や御前崎などの岬部では後背地の影響を強く受け平均粒径が特に粗くなるという二つの傾向とが重なり合ってみられた。今回の調査では河口からの単調な粒径変化のみが顕著であることから、台風の大規模な擾乱作用を受けて、より大きい規模の沿岸漂砂系セルを反映した変化が強調されたと考えられる。

【関連業績】

村越直美・片山晃夫(2004)三峰川河床における浮遊土砂堆積プロセスへの付着藻類の寄与。環境科学年報-信州大学-, No. 26, 85-90

村越直美(2004印刷中)女鳥羽川がつくる地形と堆積環境。松本市教育委員会

村越直美・内田浩彰(2004)河床粒子の移動度にあたる植生の影響と縦溝地形の形成。堆積学研究, No. 58, 105-113

鈴木啓助・戸田任重・佐藤利幸・樋上照男・朴虎東・村越直美(2004)諏訪湖-天竜川流域における天然物質の循環過程の解析-2003。科研費補助金「諏訪湖・天竜川水系の物質循環、水循環とマネーフローからの研究」中間報告、環境科学年報-信州大学-, No. 26, 115-116