

斐伊川における河川水質の時間的空間的変動

山下多聞¹・橋本哲¹・葛西絵里香¹・中野尚夫²

Spatio-temporal variations in water quality along the Hiikawa River

YAMASHITA Tamon¹, HASHIMOTO Tetsu¹, KASAI Erika¹ and NAKANO Hisao²

Abstract We investigated some properties of water of the Hiikawa River, which runs through the Izumo region, from April to December 2004 to determine the effects of site and climate on river water quality. Collection points of river water started from the upper reach in montane area through the middle reach in arable land and ended at the lower reach in a mixture of arable land and residential area. In addition to fresh water sample, brackish water of the Shinjiko Lake was also collected at the Aika Park. Water temperature was measured at the sites. The pH, EC, cations and anions of water sample were measured in the laboratory. As results, mean water temperature increased and mean pH decreased from upper to lower reach, respectively. EC, cations and anions increased downwardly. Water temperature raised in summer and lowered in the autumn and winter as air temperature fluctuated. In summer, EC increased at the end point of fresh water and the lake owing to increases in sodium, magnesium, chloride and sulfate ion concentration. In the fresh water of middle and upper reach, concentrations both of cations and anions were rather stable through the studied period. Brackish water might affect the quality of river water at estuarine in summer. Since climatic condition of summer in 2004 was severer than normal year, the influence of brackish water on lower reach could be greater than normal year. We should make an effort to continuously monitor water quality to clarify the characteristics of the Hiikawa River.

Keywords: Arable land, brackish water, forest, fresh water, landscape, mineral content.

はじめに

地域の水循環は、森林から耕地や宅地を通して海へと流れる河川、海洋からの水蒸気の供給、そして陸地での降水というおおよそ3つのコンパートメントからなる。

¹ 島根大学生物資源科学部附属生物資源教育研究センター森林科学部門, ² 島根大学生物資源科学部附属生物資源教育研究センター農業生産科学部門.

¹ Forest Science Section, Education and Research Centre for Biological Resources, Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University ² Agricultural Science Section, Education and Research Centre for Biological Resources, Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University

人々は生活用水、農業用水および工業用水として通常は河川水を用いる。人々による利用の過程で水に物質負荷が生じ、水質は上流から下流にかけて劣化する。

斐伊川は出雲地方を流れる一級河川である。奥出雲町の船通山に発し、出雲の穀倉地帯を通り、最終的には汽水湖である宍道湖に注ぐ、長い歴史を持つ出雲地方の文化を担う河川である。また、行政的には斐伊川流域の中心となる河川でもある。斐伊川流域ではとくに上流から中流では工業は盛んでなく、土地の多くは水田など農業用地および造林地など森林としておもに農林業の用途に利用されている。人口密度も低く保たれており、大都市周辺の河川に比べれば比較的汚染の程度は低いと考えられる。しかし、斐伊川の注ぐ宍道湖および中海という閉鎖水域およびその最下流にあたる境水道から日本海においては水産業が重要な産業になっており、良好な河川水

質の維持は重要な課題である。

河川水質を維持するためには、河川水の基本的な溶存成分についての継続的調査など基礎的な資料の集積は必須である。かつて、片桐ら(1979)もその重要性を認識し斐伊川および神戸川の水質調査を通じた物質収支を検討している。本研究では、斐伊川に設けた定点において農事暦を参照しつつ春から初冬にかけての経時的な水質調査を行った。

材料と方法

1. 調査地

島根県出雲地方を流れる斐伊川の上流部から下流部にかけて6ヶ所と斐伊川の下流にあたる宍道湖に1ヶ所の観測定点を設けた(図1)。斐伊川の支流である大馬木川は米の有名産地である旧仁多町馬木から斐伊川へと合流するが、大馬木川と斐伊川の合流点においても1ヶ所採水した。各観測定点の概要を表1にまとめた。

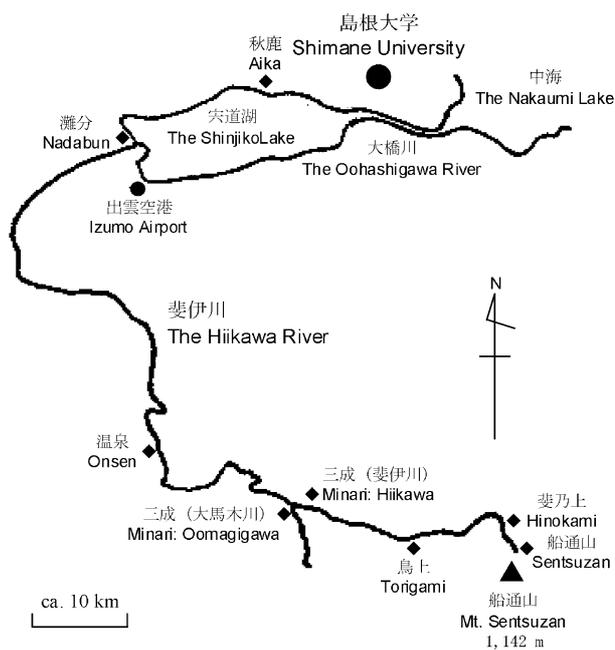


図-1 斐伊川流域における採水地点の位置。図中◆が採水地点を示す。

2. 水質の測定

河川水の調査は、平成16年4月24日、同年6月26日、同年8月7日、同年10月23日、同年12月18日の合計5回行った。斐伊川流域における水稲栽培の場合、4月24日は田植えの直前にあたり、6月26日は出穂前、8月7日は出穂後、10月23日は刈り取り後、12月18日は休耕の時期にあたる。

表1に示した8ヶ所の観測定点において水温の測定および河川水の採水をおこなった。河川水で共洗いした100ml容のガラス瓶で採水し、分析に供するまでは冷蔵庫で保管した。

河川水は、一部はそのまま室温条件下でpHと電気伝導度(EC)を常法で測定し、残りはDismic-25CP(25 μ m)でろ過後、カチオンとアニオン濃度の測定に供した。カチオンはNH₄⁺、K⁺、Na⁺、Mg²⁺およびCa²⁺の5種を、アニオンはNO₃⁻、Cl⁻およびSO₄²⁻の3種をそれぞれDionex DX-100とDionex QICを用いたイオンクロマト法で測定した。また、カチオン5種の当量和とアニオン3種の当量和の差をHCO₃⁻の当量とした。汽水試料はろ過後、50倍に希釈し分析に供した。

結果と考察

1. 水温とpH

水温とpHの地点間変動を図2に示した。図2ではそれぞれ5回の平均値を示した。最上流部の船通山でもっとも低く約12℃、宍道湖では約19℃であった(図2A)。斐伊川の上流から下流にかけて一貫して平均水温は上昇したが、支流の大馬木川は本流の斐伊川三成よりも約3℃低い値を示した。河川水の水温は流路の幅や流路を被う植生の有無または流下してきた距離などの影響を受けると考えられる。観察によれば船通山の採水地点は流路幅が狭く春から冬にかけては樹木の枝葉が上空を被っていた。一方、鳥上以降の採水地点は流路幅は場所によって異なるが、いずれの採水地点も流路を植物が被うことは

表-1 採水地点の概要

地点名	奥出雲町 船通山	奥出雲町 斐乃上	奥出雲町 鳥上	奥出雲町 三成	奥出雲町 三成	雲南市 温泉	出雲市 灘分	松江市 秋鹿
標高	750m	570m	380m	240m	240m	130m	3m	2m
緯度経度	35°10'N 133°10'E	35°10'N 133°10'E	35°10'N 133°7'E	35°11'N 133°0'E	35°11'N 133°0'E	35°12'N 132°56'E	35°26'N 132°52'E	35°28'N 132°57'E
周辺の 土地利用	森林	森林 耕地	耕地 森林	耕地 森林	耕地 森林	耕地 森林	耕地 宅地	耕地 宅地
備考					大馬木川		河口	汽水

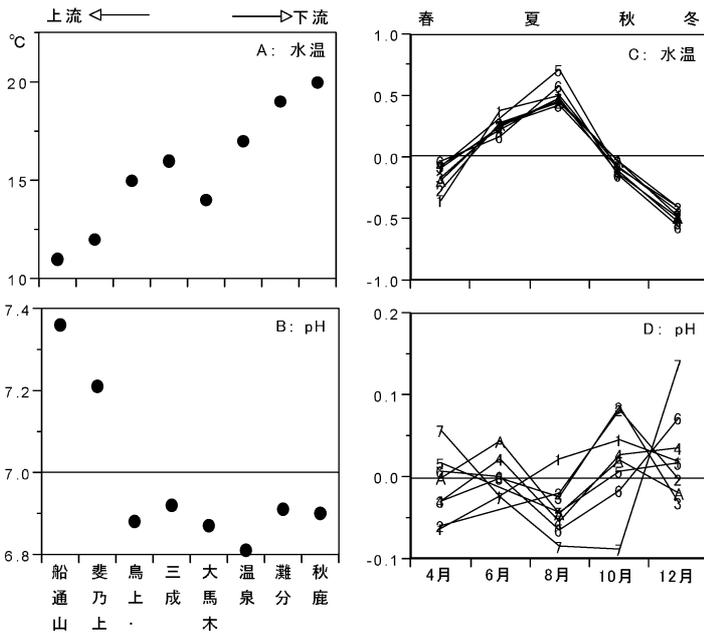


図-2 水温の地点間変動 (A), pHの地点間変動 (B), 水温の季節変動 (C) および pHの季節変動 (D). 季節変動は、各測定値の平均値からの偏差で示した. 図中の記号はそれぞれ1: 船通山, 2: 斐乃上, 3: 鳥上, 4: 三成 (斐伊川), 5: 温泉, 6: 灘分, 7: 秋鹿, A: 三成 (大馬木川) を示す.

一年を通してない. とくに宍道湖では浅く広い面積に水が滞留するため8月の午後には気温よりも水温が高かった. pHは上流から下流にかけて低下する傾向にあった (図2B). 上流側2地点では弱アルカリ性であったが, 鳥上以降では6.8から6.9の間の弱酸性であった. 清家ら(2005)は宍道湖の湖心表層水で8.0前後であることを報告しているが, 沿岸部では若干酸性よりの値を示した.

水温とpHの経時変化を図2Cと2Dに示した. 水温の経時変化は各地点で同様のパターンを示し, 気温の変動を明確に反映していたと考えられる. pHの経時変化は地点によって異なるが, 船通山を除き夏に低くなる傾向がみられた. とくに灘分と秋鹿においては夏に低く, 冬に高い傾向が顕著であった. 宍道湖湖心において, 同様に冬にpHが上昇することが知られている (清家ら2005). 酸性化の要因はいくつか考えられるが, この場合, 酸性雨等によるNO₃⁻-Nの負荷 (Seike et al. 1990), 河川水や湖水中のNH₄⁺-Nの硝化にともなうプロトンの放出などによると考えられる.

2. 電気伝導度 (EC)

試料水のECを図3に示した. ECは上流から下流にかけて増加する傾向にあった (図3A). 船通山から温泉までの淡水地点では5-10mS m⁻¹の範囲にあり, 淡水域と汽水

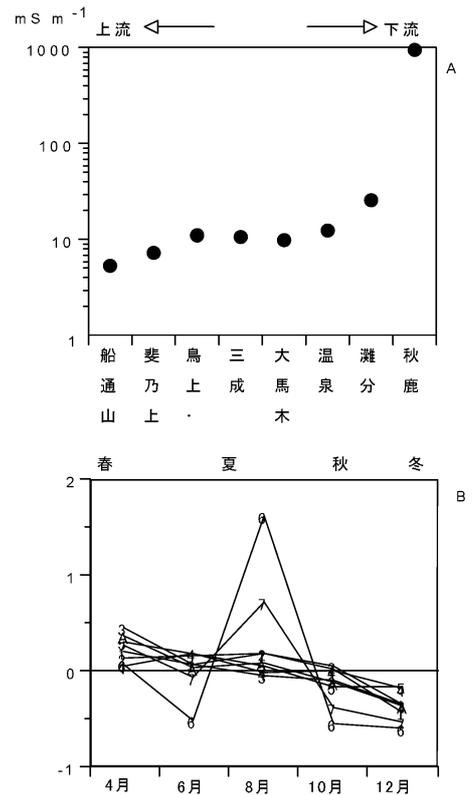


図-3 ECの地点間変動 (A) と季節変動 (B). B図中の記号は採水地点を表し (図-2参照), 値は平均値からの偏差を示す.

水域の境目である灘分で10-20mS m⁻¹, 汽水域にある秋鹿で1000mS m⁻¹であった. ECは経時的に変化し, 淡水域では春から冬にかけて一様に低下する傾向があり, 汽水の影響をうける灘分と汽水域の秋鹿では夏に上昇する傾向があった (図3B). 夏期に灘分と秋鹿でECが上昇したのは, 淡水の減少によるものと考えられる. 2004年の夏はかなりの高温少雨条件下にあり, 上流部からの淡水供給の減少, 汽水域からの高塩分濃度の汽水や海水の逆流などが生じ, 汽水域のみならず淡水の最下流部にまで海水の影響が強くあらわれたと考えられる. しかし, それも秋にはおさまり10月以降は平均的な値に戻った.

3. カチオンとアニオン

すべての地点においてNH₄⁺は検出限界を下回った. ECで明らかになったように, カチオンおよびアニオン濃度も淡水域の上流から下流にかけて増加する傾向にあったが, いずれもかなり低かった.

すべての地点においてNa⁺がもっとも多いカチオンで, それにCa²⁺が続いた (図4A). 船通山と斐乃上の2ヶ所ではMg²⁺がもっとも少なく, その他の地点ではK⁺がもっとも少なかった. 淡水域ではすべてのカチオン濃度が1

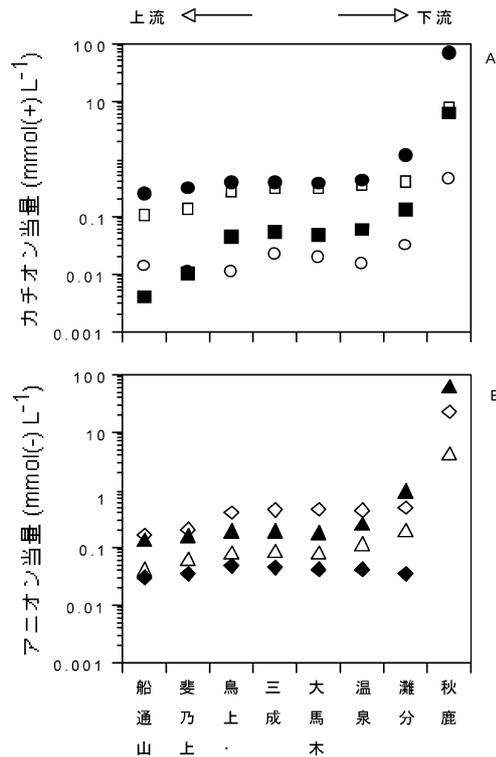


図-4 カチオン (A) とアニオン (B) 濃度の地点間変動。
 値軸は対数で示す。●: Na^+ , □: Ca^{2+} , ○: K^+ ,
 ■: Mg^{2+} , ▲: Cl^- , △: SO_4^{2-} , ◆: NO_3^- , ◇: HCO_3^- .

mmol (+) L^{-1} 未満であった。汽水域においても K^+ は 1 mmol (+) L^{-1} 未満であった。淡水域の値は、片桐ら (1979) の報告している 1977 年 1 月の斐伊川で求められた値とおおよそ同レベルにあり、かつ、カチオン濃度におけるイオンごとの順位も同様であった。

アニオン濃度は船通山から温泉までとくに低くもっとも濃度の高い Cl^- でも 0.2 mmol (-) L^{-1} であった。汽水の影響を受ける灘分においても調査期間中の平均濃度は 1 mmol (-) L^{-1} に満たなかった。 NO_3^- 濃度がもっとも低く、汽水域においては原水を希釈して測定したことも影響してほとんど検出されなかった (図 4B)。直接測定されたアニオンの中では Cl^- 濃度がもっとも高く、 SO_4^{2-} が続いた。近似値として求められた HCO_3^- 濃度は淡水域では Cl^- 濃度よりも高くアニオンの中でもっとも高い濃度を示し、汽水域でも Cl^- 濃度につぐ濃度を示した。

片桐ら (1979) は斐伊川河川水の NO_3^- -N 濃度は 0.01 ppm を下回る場合が多いと報告しているが、当時に比べ今回の調査で得られた値はかなり高い値であると言えよう。河川水の NO_3^- は、農林業での肥料の過剰投入、酸性雨による負荷、生活排水による負荷などにより上昇することが考えられる。森林に囲まれた船通山の採水地点から耕地や宅地からの流入水の影響を受けた灘分まで NO_3^-

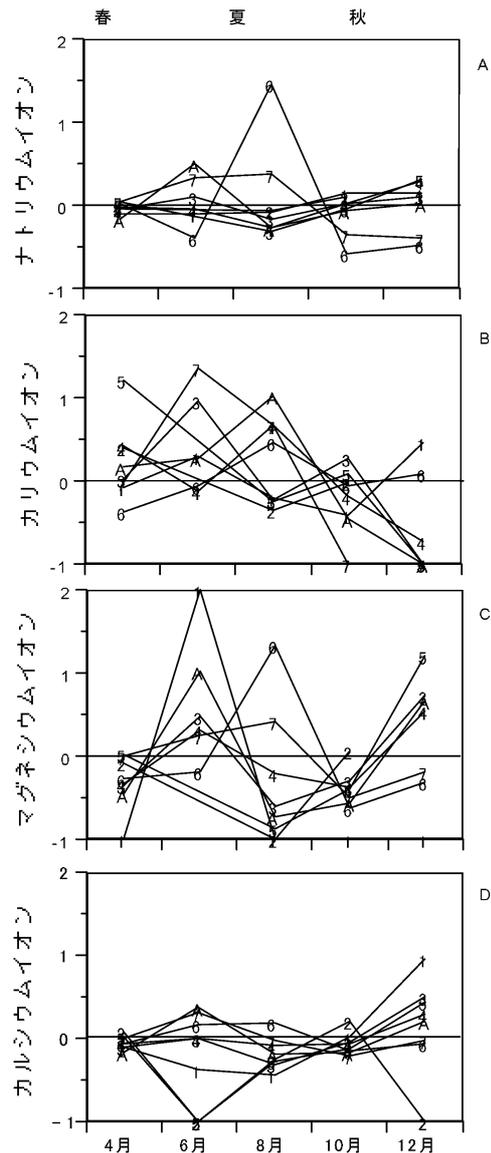


図-5 Na^+ (A), K^+ (B), Mg^{2+} (C), Ca^{2+} (D) の季節変動。図中の記号は採水地点を示す (図-2 参照)。

濃度のレベルは同程度であり、通年での平均的な濃度動態に及ぼす耕地における肥料投入など人間活動の影響は認められない。一方、山地から流れ出る際にすでにある濃度の NO_3^- が存在しているということは、酸性雨や酸性雪等による窒素の負荷などによって森林の土壌生態系において窒素飽和が生じつつある可能性を示唆している (Ohruji & Mitchell 1997)。国井ら (2004) は東北地方のある河川において、今回の斐伊川と同レベルの NO_3^- 濃度を報告し、また、同地方の大都市を流下する別のある河川では上流域に比べ下流域において NO_3^- 濃度が著しく高くなることを報告している。汽水域である宍道湖の湖心では春と夏に NO_3^- 濃度は上昇し約 0.1 mgN L^{-1} に達すると報告されている (清家ら 2005)。

カチオンの経時的変動を図5に示した。顕著な経時的変動は灘分において観察された。Na⁺ (図5A), K⁺ (図5B), Mg²⁺ (図5C) の3種のカチオン濃度が8月に特異的に高くなった。灘分では8月に汽水の影響を大きく受けた結果であると考えられる。灘分を除く淡水において

の季節である6月に濃度は低下し、夏から秋にかけて濃度上昇がみられ、冬期にまた低下する傾向がみられた(図6)。これら実測された3種類のアニオンの濃度から計算で求められたHCO₃⁻濃度は逆の経時変動を示した。アニオンについても灘分は顕著な経時変動を示した。灘分では、夏期にCl⁻濃度(図6A)とSO₄²⁻濃度(図6C)が上昇し、NO₃⁻濃度(図6B)とHCO₃⁻濃度(図6D)が低下した。Cl⁻濃度は汽水域である秋鹿でも上昇したことから宍道湖での海水の影響が増大していたことを示し、その結果淡水であるべき灘分への汽水または海水の影響が大きくなったと考えられる。

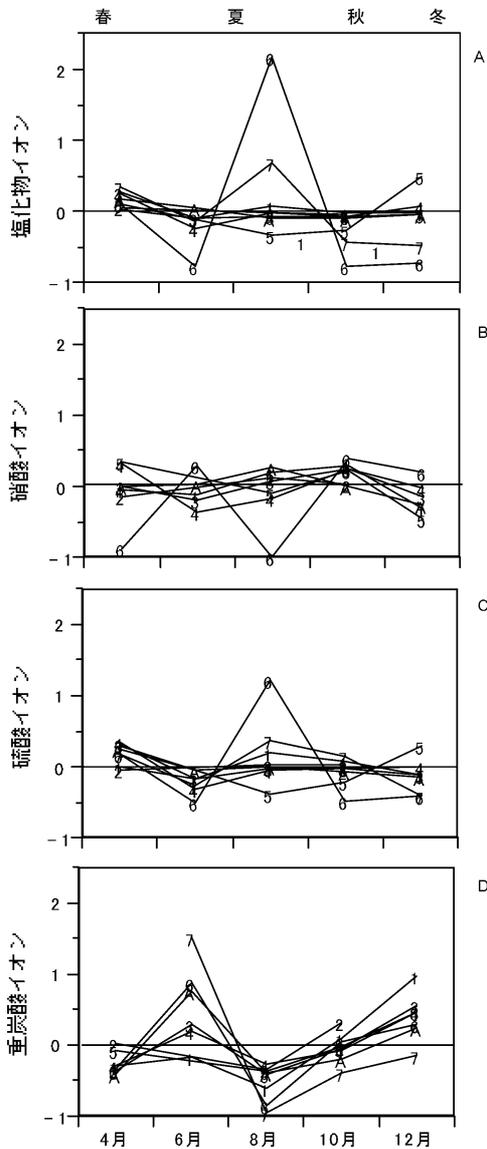


図-6 Cl⁻ (A), NO₃⁻ (B), SO₄²⁻ (C), HCO₃⁻ (D) の季節変動。図中の記号は採水地点を示す(図-2参照)。

は、Na⁺とMg²⁺は夏期に若干の濃度低下がみられ、K⁺は夏期に高く冬期に低い傾向がみられ、Ca²⁺は冬期に高くなる傾向がみられた。Ca²⁺が冬期に高い理由の一つとして、積雪時に道路に多量に散布される融雪剤(CaCl₂)の影響が挙げられよう。

全体としてアニオンはカチオンに比べ経時変動が緩やかであった。実測したCl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻については梅雨

まとめ

斐伊川では流域の物質負荷は現在のところ中下流における水質を大きく変質させるほどのレベルではないと考えられる。しかし、およそ30年前の調査時に比べNO₃⁻濃度が顕著に増加している点は注意が必要である。武田(2005)が指摘するように1990年代以降窒素やリンなどの物質負荷は微増傾向にあり、今後も注視する必要がある。

斐伊川下流域では汽水の逆流による塩分濃度の上昇が夏期に生じていた。これは下流域での農業生産に悪影響を及ぼしている。今後も斐伊川の水質を継続的に調査することにより、酸性雨等による長期的物質負荷および猛暑旱魃等の異常気象が森林生態系および斐伊川下流にある宍道湖等水域生態系に及ぼす影響について明らかにできると考える。

斐伊川、宍道湖、中海は地域の重要な自然景観であり後の世代に残すべき景観である。これらの自然景観は森林や耕地の適切な配置によって維持されているのであり、地域の第一次産業を再構築する必要がある。

謝辞

島根大学生物資源科学部生態環境科学科森林環境学講座の片桐成夫先生と長山泰秀先生にはイオンクロマトグラフDionex DX-100とDionex QICの使用許可をいただくと同時に両機のトラブルシューティングに奔走していただいたことをここに記して感謝申し上げます。

また専門基礎教育科目「森林から耕地、海へ」の受講生にはさまざまな刺激を受け、楽しくフィールドワークに臨めたことを御礼申し上げます。

引用文献

- 片桐成夫・石井弘・三宅登（1979）斐伊川流域における森林生態系の物質収支とその下流域に及ぼす影響。『斐伊川流域の自然環境と農林業生産力に関する基礎的研究（島根大学農学部編）』所収，pp.21-29.
- 国井大輔・三枝正彦・伊藤豊彰・鈴木和美（2005）集水域環境を異にする大川，七北田川の水質変化。複合生態フィールド教育研究センター報告（東北大学），20：1-4.
- Ohru K, Mitchell MJ（1997）Nitrogen saturation in Japanese forested watersheds. *Ecological Applications*7：391-401.
- Seike Y, Kondo K, Hashitani H, Okumura M, Fujinaga K, Date Y（1990）Nitrogen metabolism in the brackish Lake Nakanoumi. IV. Seasonal variation of nitrate nitrogen. *Japanese Journal of Limnology* 51：137-147.
- 清家泰・近藤邦男・奥村稔・藤永馨・高安克己（2005）中海・宍道湖の水質特性とその変化。国際セミナー「汽水環境の修復と保全に向けて」（松江）講演要旨集，pp.16-22.
- 武田育郎（2005）斐伊川の水質とノンポイント汚染源。国際セミナー「汽水環境の修復と保全に向けて」（松江）講演要旨集，pp.108.