



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	北海道の河川における河川水中の溶存鉄濃度の分布
Author(s)	白岩, 孝行; Shiraiwa, Takayuki; 倉野, 健人 他
Citation	低温科学, 82, 83-91
Issue Date	2024-03-29
DOI	https://doi.org/10.14943/lowtemsci.82.83
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/91807
Type	departmental bulletin paper
File Information	07_p083-091_LT82.pdf



北海道の河川における河川水中の溶存鉄濃度の分布

白岩 孝行¹⁾, 倉野 健人²⁾, 藤島 洸²⁾, 夏目 奏²⁾, 高宮 良樹²⁾ 張 健²⁾,
郭 銘玉²⁾, 牛 潤華²⁾

2023年12月15日受付, 2023年12月18日受理

海洋表層において植物プランクトンの光合成に利用される溶存鉄の供給源は多様であるが, その一部は河川から流入する. 本研究は, 北海道の河川を対象に, 異なる土地被覆・土地利用状況にある流域において, 時間・空間的に河川水中の溶存鉄濃度がどのように変化するかを多地点における季節を通じた採水・分析によって明らかにした. その結果, 湿原を有する流域で溶存鉄濃度が高く, 森林を主体とした流域では濃度が低いことが判明した. 一方, 農地を起源とする溶存鉄も存在する可能性があることがわかった. 季節的には, 夏期に溶存鉄濃度が上昇するという先行研究の成果を追認した.

Dissolved iron concentrations in various rivers in Hokkaido, Japan.

Takayuki Shiraiwa¹, Kento Kurano², Ko Fujishima², Kana Natsume², Yoshiki Takamiya²,
Jian Zhang², Mingyu Guo² and Runhua Niu²

The dissolved iron utilized in photosynthesis by phytoplankton in the surface layer of the ocean includes various sources, but a certain amount of the dissolved iron is supplied from rivers. In this study, focusing on rivers in Hokkaido, we elucidated how the dissolved iron concentration in river water changes over time and space in different land cover and land use conditions in the watershed. This was achieved through seasonal sampling and analysis at multiple locations. The results revealed that areas with wetlands in low-lying watersheds had higher dissolved iron concentrations, while watersheds dominated by mountain forests showed lower concentrations. On the other hand, it was found that dissolved iron of agricultural origin might also be present. Seasonally, the study confirmed previous research findings that dissolved iron concentrations increase during the summer.

キーワード: 溶存鉄, 湿地, 土地利用, 魚付き林
dissolved iron, wetland, land use, fish-breeding forest

1. はじめに

総合地球環境学研究所が2002年から2009年にかけて実施した通称「アムール・オホーツクプロジェクト」は, 水産資源の宝庫として知られるオホーツク海と太平洋親潮

海域の基礎生産に果たすアムール川の役割を解明することを目的とした(白岩, 2011; 白岩, 2012). 北海道大学をはじめとする国内の大学・研究機関, ならびにロシアと中国の大学・研究機関から総勢100名の研究者がこのプロジェクトに参加した. 低温科学研究所の環オホーツク観

連絡先
白岩 孝行
北海道大学 低温科学研究所 環オホーツク観測研究センター
〒060-0819 北海道札幌市北区北19条西8丁目
Tel: 011-706-7664
Email: shiraiwa@lowtem.hokudai.ac.jp

1) 北海道大学 低温科学研究所 環オホーツク観測研究センター
Pan-Okhotsk Research Center, Institute of Low Temperature
Science, Hokkaido University, Sapporo, Japan
2) 北海道大学 大学院環境科学院
Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University,
Sapporo, Japan

測研究センターは、このプロジェクトの企画・立案を担うとともに、オホーツク海と親潮海域における物質循環の観測を担当し、アムール川が輸送する溶存鉄が、オホーツク海と親潮海域に輸送され、基礎生産に利用されているかを定量的に解明することに成功した (Nishioka et al., 2014; Onishi et al., 2012)。これにより、従来、沿岸の海洋生態系にとって有用と考えられてきた陸域の森林を指す「魚付き林」という環境概念が、溶存鉄という物質を介して、アムール川という大陸スケールの河川流域とオホーツク海・親潮という大洋スケールの海域にも拡張できる可能性が見出された (Shiraiwa, 2012)。

魚付き林とは、狭義には森林法に定める「魚つき保安林」を指す。その期待される機能としては、河川および海域生態系に対する1) 栄養塩供給、2) 有機物供給、3) 直射日光からの遮蔽、4) 飛砂防止が挙げられる。一方、広義の魚付き林は、海域の海洋生態系に対し、そこに流入する河川流域全体の森林や湿地といった陸面環境を指す。この場合の魚付き林の機能には、上記の4点に加え、5) 微量元素供給、6) 水量の安定化、7) 土砂流出安定化、8) 水温安定化などが期待されている。魚付き林は、我が国固有の環境概念であり、文献にその名が登場するのは10世紀に遡る (Wakana, 2012)。17世紀以降の江戸時代になると、日本全国に魚付き林が制定され、現在に至っている (若菜, 2001, 2004)。

冒頭に紹介したアムール・オホーツクプロジェクトは、魚付き林の機能のうち、陸域から河川を通じて海洋に輸送される溶存鉄に注目して陸と海のつながりの立証を試みたプロジェクトである。その根底には、松永勝彦による陸域から河川を通じて供給されるフルボ酸鉄と海の基礎生産を結ぶ先駆的な研究があった (例えば, Matsunaga et al., 1998)。光合成に必須の元素である溶存鉄は、海水中の濃度がきわめて低く、河川によって陸域から供給される溶存鉄が沿岸域の植物プランクトンや藻類にとって重要である。河川水の溶存鉄は、流域の森林から供給される腐植物質としてのフルボ酸と錯体を形成することで溶存状態のまま海洋に輸送されることで光合成に供されるが、森林が荒廃すると、ここで生成されるフルボ酸が減少し、これが結果として海域に輸送される生物が利用可能な溶存鉄を減少させ、沿岸域の生産性が減少する (松永, 2012)。

アムール・オホーツクプロジェクトでは、アムール川流域に広がる低平な湿原が河川に供給される溶存鉄の起源として重要であることを見出したが (Onishi et al., 2010; 長尾ほか, 2012; 楊, 2012)、流域内の上流部における溶存鉄濃度の分布や流域全体における時間変化に関する十分な知見は得られなかった。このような状況を鑑み、筆

者らは北海道内における異なる陸面状況を有する河川流域に着目し、季節を通じて河川流域の上流から下流に至る様々な地点において河川水中の溶存鉄濃度がどのように変化するのかに興味を持った。そこで、陸面状況として、針葉樹林、広葉樹林、湿原、耕作地、都市などを流域に有する7河川流域を選択し、2011年7月から2016年8月にかけて、定期的に河川水の採水を実施し、河川水中の溶存鉄濃度を分析した。これらは、2011年度から2015年度に北海道大学大学院環境科学院の修士課程に在籍した7名の大学院生の修士研究として実施された (倉野, 2013; 藤島, 2013; 夏目ほか, 2014; 高宮ほか, 2017; 張, 2017; 郭, 2017; 牛, 2017)。これらの研究により、河川流域における溶存鉄濃度の空間的・季節的変化、および陸面状況と溶存鉄濃度との関係に一定の結論を得たので報告する。

2. 研究地域

河川水の採水を実施したのは、以下の7河川流域である。

- 1) 針広混合林・酪農地・畑地などの様々な土地利用・土地被覆状態をもつ網走川流域、
- 2) 針葉樹林と湿原からなる猿払川流域、
- 3) 湧水を起源にもつ湿原河川の美々川流域、
- 4) 針広混合林・湿原・酪農地からなる風蓮川を代表とする風蓮湖集水河川流域、
- 5) 針広混合林と畑地・水田をもつ天の川流域、
- 6) 広葉樹を有する石崎川流域、そして
- 7) 広大な針広混合林と札幌市という大都市を有する豊平川流域である (図1, 表1)。

各流域における採水地点を図2に示す。採水地点は、それぞれの河川流域を本流と支流で上流から下流まで広く網羅するように配置し、それぞれの採水地点で1年を通じて複数回採水を行なった。採水は、網走川流域において2011年7月から2012年10月に、猿払川流域において2015年5月から2016年8月に、美々川流域において2015年8月から2016年6月に、風蓮湖集水河川流域において2014年4月から2015年8月に、天の川・石崎川両流域において2012年1月から11月に、豊平川流域において2015年7月から2016年8月にそれぞれ実施した。

3. 採水・分析方法

溶存鉄濃度測定用の水試料は、ポリバケツを用いて河川の中央部付近の表層水を橋の上から採取した。ポリバケツは採水地点の河川水で採水の度に2度とも洗いし、3度目に採水した試料を事前に酸洗浄した100mLのポリボトルに保存した。ポリボトルに注入する際、ポロプロピレ

表1：研究対象流域の流域面積と集水域の土地被覆・土地利用割合。土地被覆・土地利用割合は、備考に示した採水地点の集水域の値。

Table 1: Areas of studied river basins and land-cover land-use ratio of the catchments. The ratios were obtained for the catchments above the respective sampling points mentioned in the remarks.

River basin	Area (km ²)	Land cover ratio (%)							Remarks
		Natural forest	Planted forest	Wetland	Grassland	Pasture	Farmland	Others	
Abashiri	1380	35	34	-	-	3	20	8	Catchment above A18
Sarufutsu	362	92	-	7	-	1	-	-	Catchment above SF10
Bibi	118	46	21	5	7	8	5	8	Catchment above B4
Fuhren	572	19	6	13	5	53	1	3	Catchment above F8
Amano	260	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Ishizaki	174	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Toyohira	902	81	n.a.	-	-	-	-	9	Catchment above T11

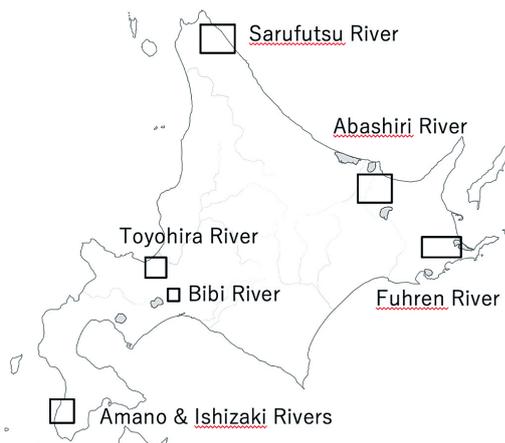


図1：水試料を採取した流域の位置図
Figure 1: Location map of the studied river basins

ン製シリンジ，フィルターホルダー，0.7 μmのWhatman GF/Fフィルターを用いて濾過した濾液を試料としている。なお，これらのポリプロピレン製シリンジ，フィルターホルダー，GF/Fフィルターも事前に酸洗浄した。更に，GF/Fフィルターは，酸洗浄の前に有機物除去のためにアルミホイルに包み，180℃のオーブンで1日加熱した。試料には試料の量の1%に相当する塩酸を添加し，1週間以上において試料中の鉄をFe (II) とFe (III) の鉄に遊離させたのちに分析に用いた。

溶存鉄濃度の測定はフェロジン法 (Stookey, 1970) を用いた。フェロジン法とは，Fe (III) をすべてFe (II) に還元し，試薬であるフェロジンを添加することでFe (II) として発色させることで，その吸光度を測定することによって溶存鉄の濃度を測定する方法である。

4. 結果

本研究で分析したすべての水試料の溶存鉄濃度を表2に示す。また，各河川本流の溶存鉄濃度を上流から下流に向かって地点毎に平均した値を図3に示す。石崎川は，下

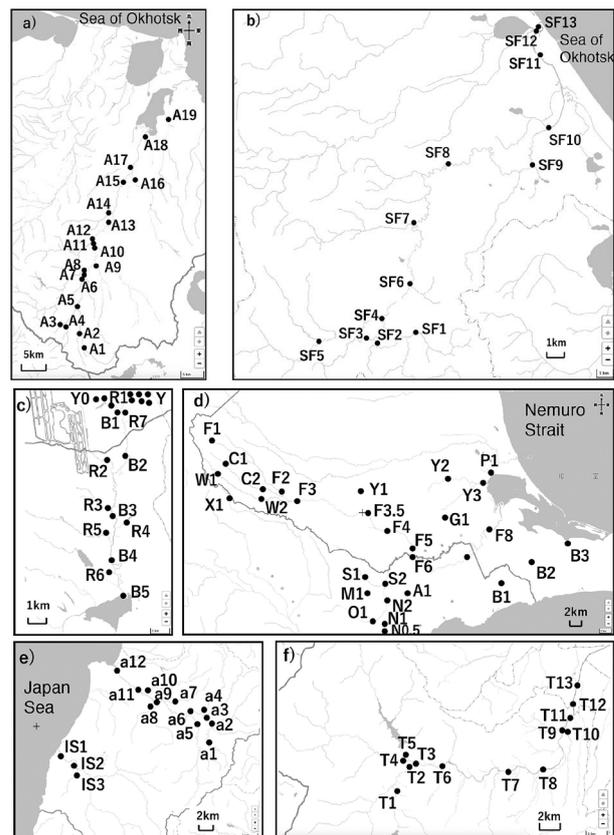


図2：各流域における水試料採水地点。a) 網走川流域；b) 猿払川流域；c) 美々川流域；d) 風連湖集水河川流域；e) 天の川・石崎川流域；f) 豊平川流域

Figure 2: Location maps of the water sampling points at each river basin. a) Abashiri river basin; b) Sarufutsu river basin; c) Bibi river basin; d) Fuhren lake catchment; e) Amano and Ishizaki river basins; f) Toyohira river basin.

流に位置する3地点でのみ試料を採取したので，この図にはプロットしていない。図4は，石崎川を除く6河川の下流域における1地点の溶存鉄濃度が季節的にどのように変化するかを示したものである。以下，河川流域毎に得られた結果を述べる。

4-1 網走川流域

網走川本流では，上流のA1地点の0.04mg/Lから下流の

表2: 河川水の溶存鉄濃度データ(単位: mg/L)

Table 2: Analyzed data of dissolved iron concentrations (mg/L) in the studied river basins.

River system	River name	Loc.	Sampling day										Average	S.D
			2011.7.23	2011.9.28	2011.10.25	2011.12.9	2012.5.12	2012.7.2	2012.7.21	2012.8.16	2012.9.13	2012.10.22		
Abashiri	Abashiri	A1	0.04	0.05	0.04	0.02	0.03	0.03	0.03	0.05	0.04	0.01	0.04	0.01
	Yunosawa	A2	0.08	0.07	-	0.03	0.06	0.05	0.12	0.16	0.10	0.09	0.08	0.04
	Pon-dohdoromap	A3	0.05	0.09	0.05	0.03	-	0.01	0.02	0.09	0.02	0.04	0.04	0.03
	Dohdoromap	A4	0.06	0.08	0.04	0.02	-	0.02	0.01	0.09	0.03	0.04	0.04	0.03
	Dohdoromap	A5	0.10	0.09	0.03	0.04	0.12	0.02	0.02	0.07	0.03	0.04	0.06	0.04
	Kemichappu	A6	0.08	0.12	0.06	0.02	0.17	0.03	0.06	0.14	0.07	0.06	0.08	0.05
	Abashiri	A7	0.10	0.11	0.09	0.04	0.12	0.05	0.07	0.16	0.08	0.10	0.09	0.03
	Chimikeppu	A8	0.03	0.05	0.04	0.02	0.06	0.01	0.01	0.14	0.02	0.03	0.04	0.04
	Onnekikin	A9	0.18	0.20	0.18	0.11	0.18	0.13	0.18	0.30	0.23	0.20	0.19	0.05
	Tsubetsu	A10	0.09	0.06	0.07	0.09	0.07	0.06	0.07	0.14	0.10	0.10	0.09	0.02
	Abashiri	A11	0.09	0.10	0.08	0.07	0.14	0.06	0.08	0.18	0.12	0.10	0.10	0.04
	Takkobu	A12	0.08	0.10	0.05	0.04	0.20	0.04	0.05	0.14	0.09	0.10	0.09	0.05
	Abashiri	A13	0.09	0.11	0.07	0.09	0.24	0.07	0.08	0.37	0.13	0.11	0.14	0.10
	Sakaemori	A14	0.33	0.24	0.24	0.18	0.28	0.22	0.28	0.36	0.48	0.33	0.29	0.09
	Abashiri	A15	0.12	0.13	0.10	0.06	0.18	0.12	0.13	0.74	0.21	0.14	0.19	0.20
	Bihoro	A16	0.14	0.13	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.18	0.16	0.12	0.13	0.02
	Kikin	A17	0.46	0.35	0.42	0.76	0.62	0.23	0.56	0.56	0.69	0.58	0.52	0.16
	Abashiri	A18	0.21	0.20	0.23	0.29	0.22	0.27	0.27	1.36	0.40	0.28	0.37	0.35
	Memanbetsu	A19	0.25	0.25	0.25	0.28	0.41	0.16	0.24	1.80	0.39	0.24	0.43	0.49

River system	River name	Loc.	Sampling day						Average	S.D
			2015.5.14	2015.7.15	2015.9.22	2016.5.20	2016.6.30	2016.8.22		
Sarufutsu	Sarufutsu	SF1	0.30	0.18	0.39	0.25	0.31	0.52	0.33	0.12
	Sarufutsu	SF2	0.23	0.17	0.36	0.29	0.35	0.47	0.31	0.11
	Sarufutsu	SF3	0.28	0.16	0.31	0.35	0.35	0.63	0.35	0.16
	Sarufutsu	SF4	0.24	0.27	0.30	0.21	0.28	0.49	0.30	0.10
	Sekitanbetsu	SF5	0.13	0.22	0.29	0.12	0.18	0.32	0.21	0.08
	Sarufutsu	SF6	0.24	-	0.38	0.28	0.37	0.60	0.37	0.14
	Sarufutsu	SF7	0.58	-	0.40	0.31	0.41	0.55	0.45	0.11
	Sarufutsu	SF8	0.35	-	-	0.39	0.48	0.59	0.45	0.11
	Sarufutsu	SF9	0.36	0.23	0.43	0.31	0.34	0.70	0.39	0.16
	Sarufutsu	SF10	0.55	0.51	0.47	0.42	0.47	0.81	0.54	0.14
	Sarufutsu	SF11	0.46	0.51	-	0.42	0.51	0.82	0.54	0.16
	Sarufutsu	SF12	0.40	0.57	0.36	0.40	0.49	0.78	0.50	0.16
	Sarufutsu	SF13	0.08	0.51	0.20	0.04	0.31	0.61	0.29	0.23

River system	River name	Loc.	Sampling day							Average	S.D	
			2015.8.28	2015.9.16	2015.10.15	2015.11.13	2016.1.29	2016.4.23	2016.5.26			2016.6.29
Bibi	Bibi Spring water	Y0	-	-	-	-	-	-	0.08	-	0.08	-
	Bibi Spring water	Y1	-	-	-	0.01	0.00	0.05	-	0.02	0.02	0.02
	Bibi Spring water	Y2	-	-	-	0.02	-	-	-	0.01	0.02	0.01
	Bibi Spring water	Y3	-	-	-	0.00	-	-	-	0.01	0.01	0.01
	Bibi Spring water	Y4	-	-	-	0.00	-	-	-	0.01	0.01	0.01
	Bibi Spring water	Y5	-	-	-	0.02	-	-	-	0.01	0.02	0.01
	Bibi Spring water	Y6	-	-	-	0.00	-	-	-	0.01	0.01	0.01
	Bibi	B1	0.13	0.10	0.07	0.07	0.06	0.07	-	0.03	0.08	0.03
	Bibi	B2	0.48	0.27	0.18	-	0.16	0.11	-	0.10	0.22	0.14
	Bibi	B3	0.64	0.33	0.26	-	0.28	0.19	-	0.33	0.34	0.16
	Bibi	B4	0.63	0.36	0.29	-	0.24	0.23	-	0.25	0.33	0.15
	Bibi	B5	-	-	-	-	-	-	0.30	-	0.30	-
		R0.5	-	-	-	0.04	-	-	-	-	0.04	-
		R1	0.16	0.13	0.09	-	0.12	-	-	-	0.13	0.03
	Bisawa	R2	0.43	0.27	0.21	-	0.31	0.11	-	0.14	0.25	0.12
	Penkenai	R3	0.39	0.44	0.38	-	-	0.25	-	0.27	0.35	0.08
		R4	0.74	0.57	0.39	-	0.22	0.28	-	0.16	0.39	0.22
	Pankenai	R5	0.47	0.74	0.68	-	-	-	-	0.39	0.57	0.17
		R6	-	-	1.37	-	2.38	-	-	-	1.88	0.71
	R7	-	-	-	-	-	-	2.43	-	2.43	-	

A18地点の0.37mg/Lまで、溶存鉄濃度は流下するに従って上昇した(図3)。本流に比べ、オンネキキン川(A9)、栄森川(A14)、木禽川(A17)、女満別川(A19)などの支流の溶存鉄濃度は際立って高く、これらの支流の流入が本流の溶存鉄濃度を下流に向かうに従い高くしているものと考えられる。集水域の大部分を森林が占める上流域の本流(A1)および支流(A3, A4)においては溶存鉄濃度が著しく低いことから、網走川流域における森林からの溶存鉄供給は小さいものと思われる。これに対し、木禽川のような支流には広く畑地が広がっており、溶存鉄は畑地か

ら流出した土粒子に起源をもつ可能性がある。

本流のA18地点における溶存鉄濃度の季節変化をみると、8月に突出した高い濃度を示していた(図4)。

4-2 猿払川流域

猿払川本流の溶存鉄濃度には、上流の約0.30mg/Lから下流の約0.50mg/Lと総じて高い傾向が見られた。最下流に位置するSF13地点では、試料水の電気伝導度が常にそれ以外の上流域の試料に比べて一桁高いことから、汽水の影響を受けた地点と考えられる。このため、SF13で溶

表2：河川水の溶存鉄濃度データ(単位：mg/L)

Table 2: Analyzed data of dissolved iron concentrations (mg/L) in the studied river basins.

River system	River name	Loc.	Sampling day								Average	S.D.
			2014.4.9-10	2014.6.4-6	2014.10.25-26	2015.3.24-25	2015.4.9-10	2015.6.18-19	2015.8.8-11			
Fuhren lake catchment	Fuhren	F1	0.11	0.02	0.01	0.03	0.00	0.02	0.01	0.03	0.04	
	Fuhren	F2	0.23	0.10	0.15	0.24	0.12	-	0.20	0.17	0.06	
	Fuhren	F3	0.33	0.24	0.28	0.36	0.21	0.39	0.28	0.30	0.06	
	Fuhren	F3.5	-	0.25	0.40	0.42	0.45	-	0.64	0.43	0.14	
	Fuhren	F4	0.51	0.32	0.41	0.44	0.51	-	0.67	0.48	0.12	
	Fuhren	F5	0.56	0.35	0.45	0.20	0.57	0.52	0.73	0.48	0.17	
	Fuhren	F6	0.59	0.35	0.42	0.40	0.60	0.59	0.80	0.54	0.16	
	Fuhren	F8	0.56	0.38	0.48	0.43	0.67	0.65	0.83	0.57	0.16	
	Anebetsu	A1	0.09	0.16	0.16	-	0.01	-	-	0.11	0.07	
	Anebetsu	A2	0.22	0.40	0.39	0.23	0.23	0.56	0.81	0.41	0.22	
	Bettouga	B1	0.27	0.12	0.18	0.24	0.13	-	-	0.19	0.07	
	Bettouga	B2	0.25	0.16	0.22	0.19	0.34	-	-	0.23	0.07	
	Bettouga	B3	0.25	0.13	0.18	0.22	0.34	-	0.54	0.28	0.15	
	Naka Fuhren	C1	0.31	0.09	0.03	0.26	0.11	0.23	-	0.17	0.11	
	Naka Fuhren	C2	-	0.09	0.14	0.27	0.21	-	-	0.18	0.08	
	Naka Fuhren	C3	0.25	0.16	0.12	-	0.13	-	-	0.17	0.06	
	Gin Fuhren	G1	0.19	0.40	-	0.34	0.21	-	0.14	0.26	0.11	
	Marusa	M1	0.24	0.18	0.28	0.19	0.11	-	0.11	0.19	0.07	
	Nokoberibetsu	N0.5	-	0.77	0.56	1.02	0.93	1.25	-	0.91	0.26	
	Nokoberibetsu	N1	0.36	0.43	0.44	0.64	0.65	-	-	0.50	0.13	
	Nokoberibetsu	N2	0.36	0.23	0.32	0.47	0.53	0.47	-	0.40	0.11	
	Oraunbetsu	O1	-	0.28	0.32	-	0.33	-	-	0.31	0.03	
	Pon Yaushubetsu	P1	0.20	0.27	0.34	-	0.11	-	-	0.23	0.10	
	Saburo	S1	0.27	0.39	0.37	0.23	0.21	-	-	0.29	0.08	
	Saburo	S2	0.26	0.39	0.45	0.32	0.22	-	-	0.33	0.09	
	Nishi Fuhren	W1	0.40	0.31	0.54	0.84	0.45	0.84	-	0.56	0.23	
	Nishi Fuhren	W2	0.34	0.23	0.34	0.48	0.65	-	-	0.41	0.16	
	Fuppoushi	X1	0.34	0.26	0.16	0.44	0.21	-	-	0.28	0.11	
	Yaushubetsu	Y1	0.38	0.24	0.39	0.31	0.31	-	-	0.33	0.06	
	Yaushubetsu	Y2	0.34	0.39	0.18	0.35	0.32	-	-	0.32	0.08	
	Yaushubetsu	Y3	0.34	0.26	0.22	0.37	0.34	-	0.25	0.30	0.06	

River system	River name	Loc.	Sampling day								Average	S.D.	
			2012.1.7	2012.2.22	2012.4.14	2012.6.27	2012.7.25	2012.8.28	2012.9.19	2012.10.14			2012.11.27
Amano	Amano	a1	-	-	0.03	0.06	0.07	0.08	0.05	0.08	0.06	0.06	0.02
	Amano	a2	-	-	0.04	0.05	0.06	0.07	0.06	0.07	0.06	0.06	0.01
	Amano	a3	0.05	0.03	0.03	0.05	0.06	0.08	0.06	0.07	0.05	0.05	0.02
	Amano	a4	0.00	-	0.02	0.05	0.07	0.07	0.04	0.05	0.03	0.04	0.02
	Amano	a5	-	-	-	0.01	0.02	0.09	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
	Amano	a6	0.03	0.02	0.02	-	0.07	0.09	0.05	0.07	0.05	0.05	0.03
	Amano	a7	-	-	0.02	-	0.02	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01
	Amano	a8	-	0.04	0.01	-	0.02	0.01	0.01	0.04	0.05	0.03	0.01
	Amano	a9	-	0.00	0.03	0.03	0.03	0.07	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02
	Amano	a10	-	-	0.01	0.01	0.03	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
	Amano	a11	-	0.01	0.04	0.04	0.04	0.03	0.05	0.03	0.04	0.03	0.01
	Amano	a12	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.08	0.08	0.05	0.05	0.06	0.02
Ishizaki	Ishizaki	IS1	0.00	0.00	0.04	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
	Ishizaki	IS2	0.00	0.00	0.03	0.01	0.02	0.08	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
	Ishizaki	IS3	-	0.00	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01

River system	River name	Loc.	Sampling day								Average	S.D.
			2015.7.23	2015.9.16	2015.12.31	2016.3.17	2016.4.30	2016.5.28	2016.6.28	2016.8.19		
Toyohira	Toyohira	T1	0.03	0.02	-	0.04	0.03	0.02	0.03	0.07	0.03	0.02
	Toyohira	T2	-	0.03	-	-	0.03	0.04	0.02	0.06	0.04	0.02
	Toyohira	T3	0.05	0.02	-	0.03	0.04	-	0.03	0.05	0.04	0.01
	Shirai	T4	0.05	0.04	-	0.01	0.03	-	0.02	0.05	0.03	0.02
	Otarunai	T5	0.02	0.02	-	0.05	0.04	0.05	0.01	0.02	0.03	0.02
	Toyohira	T6	0.03	0.04	-	0.03	0.06	0.03	0.03	0.11	0.05	0.03
	Toyohira	T7	0.05	0.02	-	0.03	0.06	0.04	0.03	0.13	0.05	0.04
	Toyohira	T8	-	0.04	-	0.12	0.09	0.05	0.04	0.12	0.08	0.04
	Toyohira	T9	0.09	0.06	0.11	0.14	0.06	0.04	0.05	0.14	0.09	0.04
	Makomanai	T10	0.06	0.07	0.05	0.08	0.05	0.03	0.07	0.10	0.06	0.02
	Toyohira	T11	-	0.05	0.08	0.19	0.08	0.03	0.07	0.14	0.09	0.06
	Toyohira	T12	0.04	-	0.04	-	0.06	0.03	0.05	0.15	0.06	0.04
	Toyohira	T13	0.08	-	-	-	0.08	0.05	0.08	0.16	0.09	0.04

存鉄濃度が低下するのは、塩分によって溶存鉄が凝集・沈殿したものと推察する。図3に示した本流の地点毎の溶存鉄濃度の標準偏差が比較的均一であることから示されるように、猿払川本流の各地点における溶存鉄濃度の季節変化は網走川に比べて小さいものの、網走川同様、8月に濃度ピークを持っている(図4)。

4-3 美々川流域

美々川の水源は湧水である。これらの湧水(Y0, Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6: 表2)の溶存鉄濃度は極めて低い。一般に地下水の溶存鉄濃度は表流水に比べて高い傾向にあるが、これらの湧水の溶存鉄濃度が低い理由について、牛(2017)は室内実験に基づいて、美々川の表層地層を構成する支笏湖由来の軽石層が地下水中の溶存鉄を吸着するため

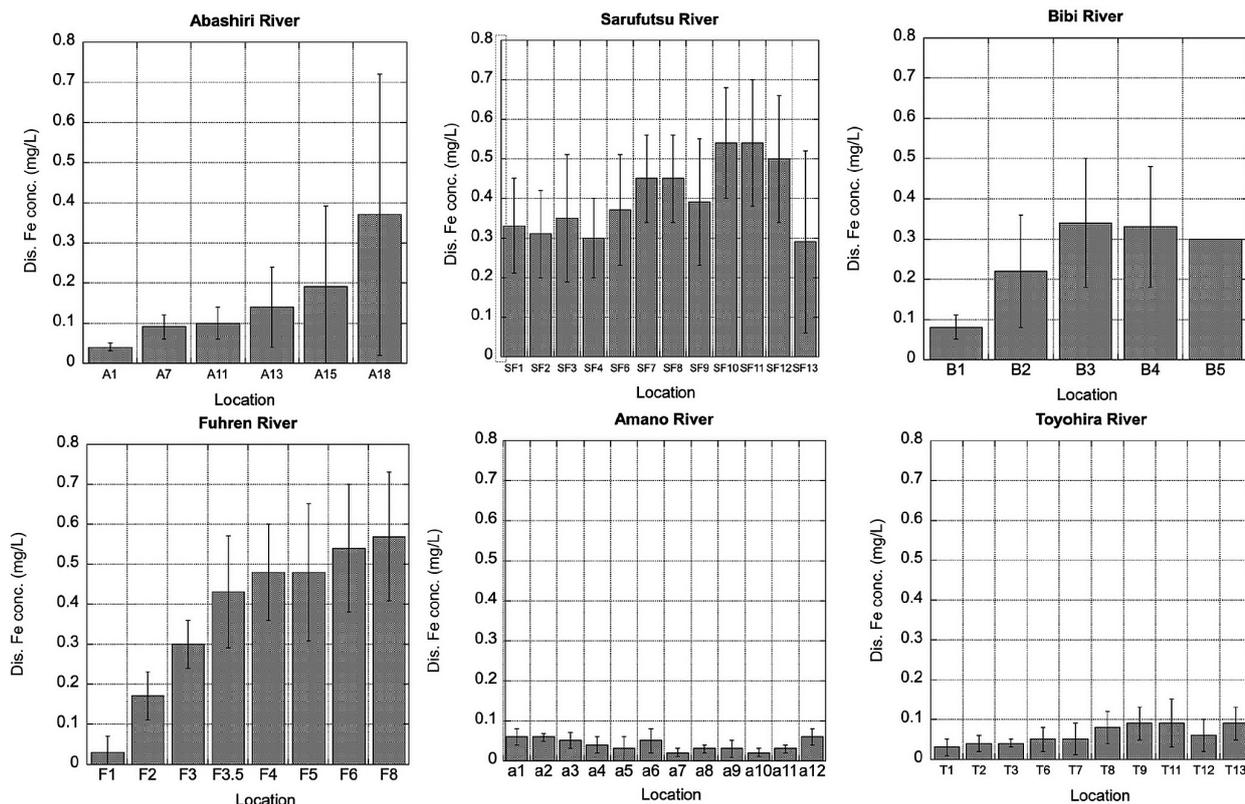


図3: 各河川流域本流における上流から下流への溶存鉄濃度の平均値の空間変化. 上下のバーは標準偏差を示す.

Figure 3: Spatial changes in averaged dissolved iron concentrations from upper to lower reaches of the main streams of each basin. Vertical bars indicate standard deviations.

あると結論した。湧水が涵養する美々川本流の最上流地点 (B1) における溶存鉄濃度も同様に低いが、下流に向かいに従い濃度が上昇した。下流域に位置するB 1 地点での季節変化は、網走川と猿払川同様、8月に濃度のピークを持っている (図4)。

4-4 風蓮湖集水河川流域

風蓮川本流では上流から下流にかけて、徐々に濃度が上昇し、最下流部では猿払川と同様の0.50mg/Lを越す高い濃度の溶存鉄が出現した (図3)。本流以外の風蓮湖集水河川の様々な地点においても総じて溶存鉄濃度は高かった (表2)。最下流域に位置するF8地点における季節変化を見ると、8月に最も高い濃度が出現することに加え、4月にもやや高い濃度のピークが出現している (図4)。

4-5 天の川・石崎川流域

天の川本流では、上流のa1地点からa6地点まで0.05mg/L程度の溶存鉄濃度を維持した後、a7地点からa11地点まで0.02-0.03mg/Lと濃度が低下する。最下流部のa12地点においてやや濃度が上昇するが、0.06mg/Lと、他の河川に

比べて低い濃度であった (図3)。上流のa6地点でやや濃度が高い理由は、この地点において湯ノ岱温泉の温泉水が本流に流入するためである可能性がある。最下流部のa12地点における溶存鉄濃度の季節変化をみると、季節を通じて変化が少なく、低濃度であることがわかった (図4)。

天の川の南側に隣接する石崎川では、下流付近の3地点でのみ試料を採水したので、他の河川のような上流から下流にかけての濃度変化を調べることは叶わなかった。これらの3地点では、一年を通じて溶存鉄濃度は極めて低く、今回調査した河川の中では最も低濃度であった。

4-6 豊平川流域

豊平川本流では、上流から下流に向かって徐々に溶存鉄濃度が上昇した。しかし、その濃度は総じて低く、本研究では石崎川に次いで低濃度であった (図3)。下流域に位置し、試料数の多いT11地点 (藻岩橋) において溶存鉄濃度の季節変化をみると、天の川同様、その変化は小さいが、3月と8月に濃度がやや上昇する現象がみられた (図4)。3月の上昇は他の河川で見られない現象である。豊平川の中流域 (T11地点) で観測された3月の溶存鉄濃度の上昇に

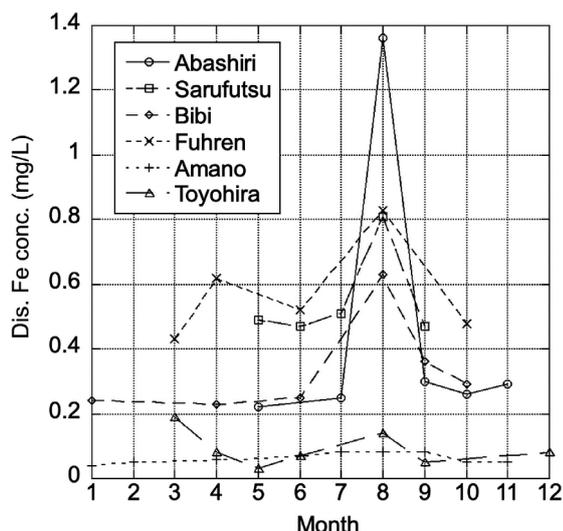


図4：各河川流域本流の最下流地点における溶存鉄濃度の季節変化。

Figure 4: Seasonal changes in dissolved iron concentrations in the lower most points at each main stream.

ついて、郭（2017）は道路から排雪された雪が融解して河川に流入する際、この雪に含まれていた鉄が一部溶出することによって河川水の溶存鉄濃度が上昇した可能性を指摘している。

5. 考察

5-1 溶存鉄濃度の空間変化

全世界の河川水の溶存鉄濃度の平均値は0.04mg/L (Martin and Meybeck, 1979) であり、森林・平野部の日本の河川では0.001mg/Lから0.1mg/Lとされる（長尾, 2011）。溶存鉄濃度の分析方法が異なるため、単純に比較することはできないが、今回観測を行った7河川流域における溶存鉄濃度は表2に示したように、流域間の違いが顕著であるものの、総じて日本の河川の中では高濃度であったといえる。猿払川流域と風蓮川をはじめとする風蓮湖集水河川流域では0.50mg/Lに達するほどの総じて高い溶存鉄濃度が観測された。この値は、アムール川の中・下流域で観測された値（長尾, 2012）に匹敵する高い濃度である。次いで湧水を起源とする美々川が約0.30mg/Lと続き、網走川では上流域で濃度が低いものの、溶存鉄濃度が相対的に高い支流が流入する下流域において、0.30mg/Lを超過値が出現した。一方、天の川、石崎川、豊平川の溶存鉄濃度はいずれも0.10mg/L以下と低かった。このように、異なる地域の異なる陸面状況を有する河川においては、溶存鉄濃度が大きく異なることが明らかとなった。

今回採水を行った7流域の河川においては、採水地点数が下流域に限られた石崎川を除き、河川の上流から下流にかけて溶存鉄濃度がどのように変化するかを追跡することができた。河川によって濃度は異なるものの、天の川を除き、溶存鉄濃度は河川の上流から下流へと上昇することが明らかになった。その理由はいくつか考えられる。網走川の場合、下流域で本流に流入する木禽川や女満別川といった高い溶存鉄濃度を有する支流が本流の溶存鉄濃度を上昇させているものと推察される。木禽川流域には集水域の3割を占める畑地が広がっており、この畑地から流出する土粒子に溶存鉄が含まれている可能性が高い。湿原などの還元的な環境を流域に有しない河川では、耕作地が溶存鉄の供給源となる可能性がある。

5-2 溶存鉄濃度の季節変化

採水を行った7河川流域においては、天の川と石崎川を除き、溶存鉄濃度に季節変化が現れた。網走川、猿払川、美々川では8月に高い濃度のピークが出現し、風蓮川では8月の高いピークと4月のやや高い濃度上昇が認められた。豊平川では季節変化は小さかったものの、8月と3月にやや濃度が上昇した。先行研究によれば、アムール川では降水によって水位が上昇する8月に季節を通じて最も高濃度の溶存鉄が出現する（長尾ほか, 2012）。この原因について、長尾ほか（2012）は、河川水位の上昇に伴い、河川水が後背湿地に流入し、腐植物質のような溶存有機物とともに鉄が溶出し、より水位が上昇した段階で河川に供給されるというプロセスを提唱している。降雨時に河川水の溶存鉄濃度が増加することは、北海道の別寒辺牛川においても観測されている（長尾ほか, 2016）。8月の溶存鉄濃度のピークが観測された5河川は、いずれも夏に降雨によって流量が増加する河川であり、アムール川や別寒辺牛川で生じたような現象と同等の理由によって濃度が極大となった可能性がある。ただし、網走川と豊平川で河川水が後背湿地に流入することは考えにくいので、これらの河川では降雨によって流域の土砂が本流に流入したために、土粒子起源の鉄が一部溶存化して濃度を上昇させたのではなかろうか。

風蓮川で観測された4月の溶存鉄濃度の上昇は、融雪洪水によって夏期の降雨時と同様な後背湿地への河川水の流出が生じ、後背湿地で鉄が付加された後に本流に戻ることによって鉄濃度を上昇させたものと考えられる。一方、豊平川の3月の溶存鉄濃度上昇は、前述したように道路から排雪した雪に含まれている都市起源の鉄が融雪に伴って河川中に流出した可能性がある。

5-3 溶存鉄濃度に与える土地被覆・土地利用の影響

表1には、天の川と石崎川を除く観測対象とした河川の土地被覆・土地利用の割合が百分率で示されている。これらの値は、本研究の下流部の採水地点であるA18（網走川）、SF10（猿払川）、B4（美々川）、F8（風蓮川）、T11（豊平川）の集水域の土地被覆・土地利用割合である。各流域の土地被覆・土地利用の特徴は、網走川が自然林（35%）、植林地（34%）、牧草地（3%）、畑地（20%）、その他（8%）と湿地を欠くものの多様性に富むのに対し、猿払川は森林（92%）、湿地（7%）、牧草地（2%）と森林の割合が高く、美々川は自然林（46%）、植林地（21%）、湿地（5%）、草地（7%）、牧草地（8%）、畑地（5%）、その他（8%）と多様性に富む。風蓮川は、自然林（19%）、植林地（6%）、湿地（13%）、草地（5%）、牧草地（53%）、畑地（1%）、その他（3%）と牧草地が集水域の半分を占めるのが特徴である。豊平川は自然林と植林地の区別がないが、森林（81%）、畑地（9%）、その他の市街地（10%）となっている。これらの流域に対し、定量的なデータはないものの、天の川は針広混合林が広く集水域を占め、河川沿いに畑地と水田が広がっている。一方、隣接する石崎川は北海道を代表する広葉樹林が流域の大部分を占める典型的な森林流域である。

表2に示した流域各所の溶存鉄濃度と採水地点の集水域における土地被覆・土地利用状況から判断すると、針葉樹であれ広葉樹であれ、森林が主体の集水域を流れる河川水中の溶存鉄濃度は極めて低いことが明瞭である。このため、最下流域においても、天の川、石崎川、豊平川の3河川水中の溶存鉄濃度は低かった。一方、森林面積が集水域の92%を占める猿払川のSF10地点では今回の観測地点の中で最も高い濃度の溶存鉄濃度が観測された。この理由としては、すでにアムール川の研究で示されてきたように、河川沿いに広がる7%の湿地が猿払川でも溶存鉄の供給源となっているためと思われる。また、Onishi et al. (2010) が明らかにしたように、流域の傾斜が生成される溶存鉄濃度に大きく関わっているとすると、猿払川流域のように起伏が小さく、低平な流域は溶存鉄の生成に有利であろう。この点は風蓮川も同様であり、集水域に占める13%の低平な湿地が存在することが本流の中・下流域において溶存鉄濃度が高い原因である。

今回の観測流域の中で特異な特徴を示したのは網走川である。中・下流域で流入するいくつかの溶存鉄濃度の高い支流が網走川本流の溶存鉄濃度を上昇させている。これらの支流の集水域には湿地は存在せず、畑地が卓越している。これらの畑地は、強度の高い降水時に支流河

川に大量の土砂を供給することが知られており、これらの土砂中に含まれる鉄粒子がなんらかの形で河川水中に溶存し、溶存鉄濃度を上昇させている可能性がある。この点については、今後の研究を待ちたい。

6. 結論

様々な土地被覆・土地利用状況にある河川流域を対象とし、河川の上流から下流にかけて河川水中の溶存鉄濃度が空間的、および季節的にどのように変化するかを明らかにすることを目的とし、北海道の7河川流域において多地点・複数回の河川水採取を行い、溶存鉄濃度の分析を行った。その結果、湿原を有する低平な猿払川流域と風蓮川流域において、アムール川流域の中・下流部で観測された溶存鉄濃度に匹敵する高い濃度の溶存鉄が検出された。一方、集水域の広い面積を森林が占める天の川、石崎川、豊平川の山岳域を有する流域では溶存鉄濃度が低かった。網走川流域は、上流域で溶存鉄濃度が低いものの、畑地を集水域にもつ支流が合流する下流域において、溶存鉄濃度が上昇した。各河川流域の溶存鉄濃度の季節変化については、濃度が高い河川において、例外なく8月に上昇することが確認された。これらの結果は、従来言われていた湿原が溶存鉄の供給源として重要であることを確認すると共に、降雨に伴う河川流量の増加が河川水中の溶存鉄濃度の上昇に関与していることを示唆する。今後は、湿原における土壌水と地下水の挙動と合わせて溶存鉄の動態を調べることで、陸面と河川をつなぐ鉄の輸送メカニズムの解明が求められよう。

謝辞

本研究を進めるにあたり、低温科学研究所の西岡純教授と村山愛子学術研究員には、溶存鉄濃度分析のご指導を賜った。現地での採水に際しては、低温科学研究所的場澄人博士にご支援いただいた。網走川流域での観測に際しては、網走漁業協同組合、西網走漁業協同組合、ならびに網走市水産課にご協力いただいた。記して感謝申し上げます。

参考文献

藤島洸(2013)流域の土地利用が河川水溶存成分に与える影響評価：網走川の事例。北海道大学大学院環境科学院修士論文, 110p.

- 郭銘玉 (2017) 都市河川・豊平川の溶存物質流出特性. 北海道大学大学院環境科学院修士論文, 41p.
- 倉野健人 (2013) 網走川流域ガバナンス, 北海道大学大学院環境科学院修士論文, 89p.
- Martin, J.M. and M. Meybeck (1979) Elemental mass-balance of material carried by major world rivers. *Mar. Chem.*, **7** (3), 173-206.
- Matsunaga, K., J. Nishioka, K. Kuma, K. Toya and Y. Suzuki (1998) Riverine input of bioavailable iron supporting phytoplankton growth in Kesenuma Bay (Japan). *Water Res.*, **32** (11), 3436-3442.
- 松永勝彦 (2012) 森が消えれば海も死ぬ—陸と海を結ぶ生態学— (第2版). 講談社, 192p.
- 長尾誠也 (2011) 河川水のDOMの特徴と生元素の運搬機構. 日本土壤肥料学会編「溶存有機物の動態と機能—土壌—河川—海を結んで—」, 博友社, 119-144.
- 長尾誠也, 寺島元基, 関宰, 川東正幸, 児玉宏樹, V.I. Kim, V.P. Shesterkin, S.I. Levshina, A.N. Makhinov (2012) 河川・汽水域における溶存鉄の挙動. *海洋と生物*, 198, **34**(1), 42-48.
- 長尾誠也, 久米川雅志, 児玉宏樹, 寺島元基 (2016) 北海道東部の湿原を流れる別寒辺牛川水系における溶存有機物と溶存鉄の流出挙動. *低温科学*, **74**, 1-12.
- 夏目奏, 澤柿教伸, 白岩孝行 (2014) 土地利用・土地被覆の違いが河川水質成分および沿岸の磯焼けに与える影響評価—道南上ノ国町を例に—. *経済学論叢*, **65**(3), 347-369.
- Nishioka, J., T. Nakatsuka, K. Ono, Yu. N. Volkov, A. Scherbinin and T. Shiraiwa (2014) Quantitative evaluation of iron transport processes in the Sea of Okhotsk. *Prog. Oceanogr.*, **126**, 180-193.
- 牛潤華 (2017) 湧水涵養域における河川溶存成分の解析. 北海道大学大学院環境科学院修士論文, 35p.
- Onishi, T., M. Yoh, H. Shibata, S. Nagao, M. Kawahigashi and V. Shamov (2010) Topography as a macroscopic index for the dissolved iron productivity of different land cover types in the Amur River Basin. *Hydrol. Res. Lett.*, **4**, 85-89.
- Onishi, T., H. Mitsudera and K. Uchimoto (2012) Numerical simulation of dissolved iron production and transport in the Amur River and the Sea of Okhotsk. In Taniguchi, M. and T. Shiraiwa (eds.) *The Dilemma of Boundaries: Toward a New Concept of Catchment*, Springer, 87-105.
- 白岩孝行 (2011) 魚付き林の地球環境学 親潮・オホーツク海を育むアムール川. 昭和堂, 226p.
- 白岩孝行 (2012) アムール・オホーツクプロジェクト 概要と成果. *海洋と生物*, **34** (1), 3-9.
- Shiraiwa, T. (2012) “Giant fish-breeding forest”: a new environmental system linking continental watershed with open water. In Taniguchi, M. and T. Shiraiwa (eds.) *The Dilemma of Boundaries: Toward a New Concept of Catchment*, Springer, 73-85.
- Stookey, L.L. (1970) Ferrozine – a new spectrophotometric reagent for iron. *Anal. Chem.*, **42** (7), 779-781.
- 高宮良樹・白岩孝行・石川靖 (2017) 第3章 陸水域-汽水域の溶存鉄の動きを追う. 長坂晶子編著「風蓮湖流域の再生 川がつなぐ里・海・人」, 北海道大学出版会, 71-114.
- 若菜博 (2001) 日本における現代魚附林思想の展開. *水資源・環境研究*, **14**, 1-9.
- 若菜博 (2004) 近世日本における魚附林と物質循環. *水資源・環境研究*, **17**, 53-62.
- Wakana, H. (2012) History of ‘Uotsukirin’ (fish-breeding forests) in Japan. In Taniguchi, M. and T. Shiraiwa (eds.) *The Dilemma of Boundaries: Toward a New Concept of Catchment*, Springer, 73-85.
- 楊宗興 (2012) 陸面における溶存鉄の溶出・流出. *海洋と生物*, 198, **34**(1), 49-58.
- 張健 (2017) 自然湿原が河川の溶存物質供給に果たす役割. 北海道大学大学院環境科学院修士論文, 46p.