

海洋環境における微量生元素の動態と 生態系への影響

(研究課題番号 : 13440166)

平成 13 年度～平成 15 年度科学研究費補助金 (基盤研究(B)(1))
研究成果報告書

平成 16 年 4 月

研究代表者 宗林 由樹
(京都大学化学研究所)

海洋環境における微量生元素の動態と 生態系への影響

(研究課題番号 : 13440166)

平成 13 年度～平成 15 年度科学研究費補助金 (基盤研究(B)(1))
研究成果報告書

平成 16 年 4 月

研究代表者 宗林 由樹
(京都大学化学研究所)

目次

1	はじめに	1
2	研究組織	3
3	研究経費	3
4	研究航海一覧	4
5	研究発表	
	(ア) 学会誌等	5
	(イ) 口頭発表	6
	(ウ) 出版物	10
	(エ) その他	10
6	研究成果	12

1 はじめに

海洋における光合成の主役は微細な植物プランクトンであるが、それらが毎年生産する有機物量は陸上植物による生産量に匹敵する。マーチンらは南極海や太平洋のアラスカ湾、赤道域では、植物プランクトンの成長が Fe の不足によって制限されていることを示し、海洋の Fe 濃度を人工的に調節すれば植物プランクトンによる大気中二酸化炭素の吸収を促進できると主張した。生物は Fe の他にも Zn, Cu, Mn などの微量元素を必要とする。しかし、海洋における種々の微量元素の動態、および微量元素と生態系の相互作用についてはいまだ未知の点が多い。

本研究の目的は、以下の通りである。地球規模の炭素循環において大きな役割を果たしている北太平洋とその周辺海域を主なフィールドとして、(1)種々の微量元素の時空間的な分布、(2)微量元素が海洋生態系へ及ぼす影響を調査する。生産者である植物プランクトンと分解者であるバクテリアについて、現存量、群集組成、成長速度、生産力のみならず、光合成機能や酵素活性を解析する。さらに (3)培養実験を通して、微量元素の化学形と濃度が植物プランクトンやバクテリアの生理活性に及ぼす影響を調べる。

本研究で得られた主な成果は、次のようである。

- キレート吸着体カラム濃縮-ICP 質量分析法による微量元素の多元素同時分析法の改良を進めた。ブランク値と検出限界を海水濃度の 20 分の 1 以下に低減した。溶存態と酸可溶態の化学種別分析法を確立した。本法を北太平洋で採取した海水試料に適用し、溶存態 Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb の分布を求めた。Fe は溶存態に比べて酸可溶態濃度が高く、反応活性な粒子態として多く存在することがわかった。表層水の溶存 Fe, Zn は、亜寒帯北太平洋では枯渇しているが、亜熱帯北太平洋では高濃度で存在することを見出した。亜寒帯北太平洋のバクテリアの加水分解酵素活性が溶存 Zn 濃度と相関することを見出した。
- 1999 年夏期の北太平洋亜寒帯域において、植物プランクトンの光合成潜在能力および増殖速度に地理的東西差があり、その違いは海水中の鉄濃度に支配されていたことを明らかにした。また、この時の植物プランクトン群集組成を高速液体クロマトグラフィーおよびフローサイトメトリーから評価した。
- 2001 年の西部北太平洋亜寒帯域の現場鉄散布実験において、植物プランクトンの光合成潜在能力を評価し、現場海域の植物プランクトンが鉄制限環境下で生長していたこと、および鉄散布により植物プランクトンの光合成に関する生理状態が顕著に改善したことがわかった。実験海域では鉄散布前の溶存鉄濃度は 0.1 nM 以下であったが、反応性粒子態鉄濃度は約 5 nM であった。この粒子

態鉄はおそらく大気から塵として供給されたものであるが、植物プランクトンにとって利用しにくい化学形であったと考えられる。すなわち、植物プランクトンへの効果は、鉄の濃度だけでなく化学形に強く依存することがわかった。また、溶存 Co, Ni, Cu, Zn, Cd 濃度の減少を見いだした。外洋において植物プランクトンの増殖時にこれらの濃度が変化することが見いだされたのは、これが最初である。金属元素の減少量比は植物プランクトンの組成比とほぼ一致していることから、これらの金属は植物プランクトンに取り込まれたと推定される。また、実験期間における植物プランクトン群集組成の変遷を明らかにした。

- 植物プランクトンが放出する鉄運搬体の探索を目的として、キレート配位子交換/吸着カソーディックストリッピングボルタンメトリー(CLE/ACSV)を用いた高感度定量法を確立し、真核植物プランクトン由来の鉄結合配位子を見出した。
- 鉄欠乏状態における植物プランクトンから RNA を分離精製する手法を確立した。さらに、鉄欠乏下において、細胞膜で生じる外膜タンパク質の組成変化を見出した。
- 有機鉄化学種存在下における鉄取り込み機構を解明するために、培養実験を行った。その結果、植物プランクトンの増殖は、有機配位子の種類と濃度により規則的な影響を受けることが分かった。また、有機配位子の生長に対する影響や鉄が取り込まれる経路はプランクトンの種によって多様であることを明らかにした。

平成 13 年度から 15 年度までの 3 年間に得られた研究成果は、「5 研究発表」にまとめたように、原著論文 31 報、学会発表 76 件、単行本 8 冊、およびその他の総説、解説など 24 編として公表された。これらのうち代表的なものを「6 研究成果」として収録する。

本研究は、3 年間の研究期間にほぼ当初の目標を達成できたが、決してこれで完結したわけではない。本研究の成果とここで培われた手法をもとに、今後さらに観測、実験、議論を進めて、微量生元素の物質循環の時空間変動とその生態系への影響を定量的に把握することを目指す。

最後に、本研究の実施にあたりご協力頂いた皆様、とりわけ白鳳丸、淡青丸、みらい、海鷹丸、開洋丸、若鷹丸、Aurora Australis、Tangaroa の乗組員の皆様に厚く御礼申し上げます。

研究代表者 宗林 由樹

2 研究組織

研究代表者：宗林 由樹（京都大学化学研究所・教授）

研究分担者：岡村 慶（京都大学化学研究所・助手）

研究分担者：鈴木 光次（北海道大学大学院地球環境科学研究科・助教授）

研究分担者：長谷川 浩（金沢大学工学部・助教授）

研究協力者：宗林 留美（静岡大学理学部・助手）

研究協力者：則末 和宏（京都大学化学研究所・教務職員）

3 研究経費

平成13年度	9,000千円
平成14年度	3,000千円
平成15年度	3,100千円
計	15,100千円

4 研究航海一覧

1. JAMSTEC みらい, MR-01-K03, 2001 年 6 月 5 日 (関根浜) ~ 7 月 19 日 (関根浜), 北西北太平洋における微量生元素の分布に関する調査.
2. 水産庁開洋丸, KY-01-3, 2001 年 6 月 28 日 (東京) ~ 8 月 6 日 (東京), 北太平洋亜寒帯域における鉄散布に対する微量生元素濃度および海洋生物の応答に関する調査.
3. 東京大学海洋研究所淡青丸, KT-01-13, 2001 年 9 月 5 日 (名古屋) ~ 9 月 9 日 (横須賀), 生物光学的手法を用いた相模湾中央部の基礎生産力の推定.
4. オーストラリア南極局 Aurora Australis, V3, 2001 年 10 月 30 日 (ホバート) ~ 12 月 13 日 (ホバート), タスマニア島南方の南極海における微量生元素の分布に関する調査.
5. 東京大学海洋研究所白鳳丸, KH-01-3, 2001 年 11 月 27 日 (東京) ~ 2002 年 1 月 22 日 (ホバート), 南太平洋および南極海における微量金属の循環に関する研究.
6. ニュージーランド水圏大気研究所 Tangaroa, JARE43, 2002 年 2 月 6 日 (ホバート) ~ 3 月 7 日 (ホバート), タスマニア島南方の南極海における微量生元素の季節変動に関する調査.
7. 東京大学海洋研究所淡青丸, KT-02-06, 2002 年 6 月 2 日 (横須賀) ~ 6 月 7 日 (東京), 生物光学的手法を用いた相模湾中央部の基礎生産力の推定.
8. カナダ沿岸警備隊 John P. Tully, メキシコ船 El Puma および水産庁開洋丸, 2002 年 7 月 5 日 (ダッチハーバー) ~ 8 月 7 日 (バンクーバー), 北東北太平洋における鉄散布による微量生元素濃度の変化に関する調査.
9. 東京大学海洋研究所淡青丸, KT-02-12, 2002 年 8 月 30 日 (清水) ~ 9 月 4 日 (東京), 生物光学的手法を用いた相模湾中央部の基礎生産力の推定.
10. JAMSTEC みらい, MR-02-K05, 2002 年 10 月 11 日 (ダッチハーバー) ~ 11 月 6 日 (関根浜), 北西北太平洋における微量生元素の季節変動に関する調査.
11. 東京大学海洋研究所白鳳丸, KH-02-4, 2002 年 11 月 7 日 (東京) ~ 12 月 18 日 (東京), スーラー海および周辺海域における微量生元素の動態に関する調査.
12. 東京水産大学海鷹丸, 第 9 次航海, 2003 年 1 月 3 日 (ポートルイス) ~ 2003 年 2 月 12 日 (ホバート), ケルゲレン海台周辺を含む南極海における微量金属の循環に関する研究.
13. ニュージーランド水圏大気研究所 Tangaroa, JARE44, 2003 年 2 月 17 日 (ウェリントン) ~ 3 月 13 日 (ウェリントン), タスマニア島南方の南極海における生態系と微量生元素の相互作用に関する調査.
14. JAMSTEC みらい, MR-03-K01, 2003 年 2 月 20 日 (関根浜) ~ 3 月 30 日 (下関), 北西北太平洋における微量生元素の分布に関する調査.
15. 独立行政法人水産総合研究センター若鷹丸, WK-03-04, 2003 年 4 月 11 日 (塩竈) ~ 4 月 25 日 (塩竈), 親潮域春季ブルーム期鉄マッピング研究 I.
16. 独立行政法人水産総合研究センター若鷹丸, WK-03-04, 2003 年 5 月 7 日 (塩竈) ~ 5 月 19 日 (塩竈), 親潮域春季ブルーム期鉄マッピング研究 II.
17. 東京大学海洋研究所白鳳丸, KH-03-1, 2003 年 6 月 25 日 (ハワイ) ~ 8 月 11 日 (パペーテ), 東部太平洋亜熱帯域, 赤道域およびペルー沖湧昇域における微量生元素, 光合成活性および植物プランクトン群集組成に関する調査.
18. 独立行政法人水産総合研究センター若鷹丸, WK-03-09, 2003 年 9 月 2 日 (新潟) ~ 9 月 21 日 (塩竈), 北海道・東北沖における定線 (A-Line) 調査.
19. 東京大学海洋研究所白鳳丸, KH-03-2, 2003 年 9 月 30 日 (東京) ~ 10 月 17 日 (東京), 北西北太平洋における微量生元素の分布に関する調査.
20. JAMSTEC みらい, MR-04-K02, 2004 年 3 月 26 日 (横須賀) ~ 4 月 17 日 (下関), 北西北太平洋における微量生元素の分布に関する調査.

5 研究発表

(ア) 学会誌等

1. Fujishima, Y., K. Ueda, M. Maruo, E. Nakayama, C. Tokutome, H. Hasegawa, M. Matsui, and Y. Sohrin. Distribution of trace bioelements in the subarctic North Pacific Ocean and the Bering Sea (the R/V Hakuho-Maru Cruise KH-97-2). *J. Oceanogr.*, **57**, 261-273 (2001).
2. 宗林由樹, 藤島夕喜代, 千葉絢子, 石田恒己. 海水中超微量元素の多元素同時定量法の開発. *分析化学* **50**, 369-382 (2001).
3. Obayashi, Y., E. Tanoue, K. Suzuki, N. Handa, Y. Nojiri, and C. S. Wong. Spatial and temporal variabilities of phytoplankton community structure in the northern North Pacific as determined by phytoplankton pigments. *Deep-Sea Res. I*, **48**, 439-469 (2001).
4. 平澤亨, 鈴木光次, 岸野元彰, 古谷研, 田口哲, 齊藤誠一, 才野敏郎, 松本和彦, 播本孝史, 佐々木宏明, 藤木徹一, 古原慎一, 柏俊行. 植物プランクトンの光吸収スペクトル測定プロトコル. *海の研究*, **10**, 471-483 (2001).
5. Hasegawa, H., M. Matsui, M. Suzuki, K. Naito, K. Ueda, and Y. Sohrin. The possibility for regulating species composition of marine phytoplankton using organically complexed iron. *Anal. Sci.*, 209-211 (2001).
6. Hasegawa, H., Y. Sohrin, K. Seki, M. Sato, K. Naito, K. Norisuye, and M. Matsui. Biosynthesis and release of methylarsenic compounds during the growth of freshwater algae. *Chemosphere*, **43**, 265-272 (2001).
7. 長谷川浩, 篠浦美聡, 水本英伸, 上田一正. 微量鉄化学種による植物プランクトンの光合成制御. *地球環境シンポジウム講演論文集*, **9**, 223-228 (2001).
8. Mito, S., M. Kawashima, and Y. Sohrin. Characterization of suspended solids in Lake Biwa by measuring their elemental composition among Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn and Fe. *Limnology*, **3**, 11-19 (2002).
9. Nagao, S., N. Yanase, M. Yamamoto, H. Kofuji, Y. Sohrin, and H. Amano. The geochemistry of uranium in pore waters from lake sediments. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **252**, 225-232 (2002).
10. 宗林由樹. 駿河湾と北太平洋における微量元素の動態. *沿岸海洋研究* **40**, 21-27 (2002).
11. Suzuki, K., H. Liu, T. Saino, H. Obata, M. Takano, K. Okamura, Y. Sohrin, and Y. Fujishima. East-west gradients in the photosynthetic potential of phytoplankton and iron concentration in the subarctic Pacific Ocean during early summer. *Limnol. Oceanogr.*, **47**, 1581-1594 (2002).
12. Suzuki, K., C. Minami, H. Liu, and T. Saino. Temporal and spatial patterns of chemotaxonomic algal pigments in the subarctic Pacific and the Bering Sea during the early summer of 1999. *Deep-Sea Res. II*, **49**, 5685-5704 (2002).
13. Suzuki, K., A. Tsuda, H. Kiyosawa, S. Takeda, J. Nishioka, T. Saino, M. Takahashi, and C. S. Wong. Grazing impact of microzooplankton on a diatom bloom in a mesocosm as estimated by pigment-specific dilution technique. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **271**, 99-120 (2002).
14. Mino, Y., T. Saino, K. Suzuki, and E. Maranon. Isotopic composition of suspended particulate nitrogen ($\delta^{15}\text{N}_{\text{sus}}$) in surface waters of the Atlantic Ocean from 50° N to 50° S. *Global Biogeochem. Cycles*, **16**, 10.1029/2001GB001635 (2002).
15. Liu, H., K. Suzuki, and T. Saino. Phytoplankton growth and microzooplankton grazing in the subarctic North Pacific Ocean and the Bering Sea during summer 1999. *Deep-Sea Res. I*, **49**, 363-375 (2002).
16. Liu, H., K. Imai, K. Suzuki, Y. Nojiri, N. Tsurushima, and T. Saino. Seasonal variability of picophytoplankton and bacteria in the western subarctic Pacific Ocean at Station KNOT. *Deep-Sea Res. II*, **49**, 5409-5420 (2002).
17. Liu, H., K. Suzuki, C. Minami, T. Saino, and M. Watanabe. Picoplankton community structure in the subarctic Pacific Ocean and the Bering Sea during summer 1999. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **237**, 1-14 (2002).
18. Hasegawa, H., Y. Sohrin, M. Matsui, N. Takeda, and K. Ueda. Chemical speciation of

- inorganic and methylarsenic(III) compounds in aqueous solutions. *Appl. Organomet. Chem.*, **16**, 446-450, (2002).
19. Hasegawa, H., M. Shinoura, H. Mizumoto, K. Naito, Y. Sohrin, and K. Ueda. Photosynthesis regulation of phytoplankton by organic complexation of iron. *J. Global Environ. Engineer.*, **8**, 45-53 (2002).
 20. Tsuda, A., S. Takeda, H. Saito, J. Nishioka, Y. Nojiri, I. Kudo, H. Kiyosawa, A. Shiimoto, K. Imai, T. Ono, A. Shimamoto, D. Tsumune, T. Yoshimura, T. Aono, A. Hinuma, M. Kinugasa, K. Suzuki, Y. Sohrin, Y. Noiri, H. Tani, Y. Deguchi, N. Tsurushima, H. Ogawa, K. Fukami, K. Kuma, and T. Saino. A mesoscale iron enrichment in the western subarctic Pacific induces large centric diatom bloom. *Science*, **300**, 958-961 (2003).
 21. Kitazato, H., T. Nakatsuka, M. Shimanaga, J. Kanda, W. Soh, Y. Kato, Y. Okada, A. Yamaoka, T. Masuzawa, K. Suzuki, Y. Shirayama. Long-term monitoring of the sedimentary processes in the central part of Sagami Bay, Japan: rationale, logistics and overview of results. *Prog. Oceanogr.*, **57**, 3-16 (2003).
 22. Hasegawa, H., S. Mito, K. Norisuye, M. Matsui, T. Maki, and K. Ueda. Determination of minor and trace elements in biogenic carbonate minerals of coccolithophores by high-resolution inductively coupled plasma mass spectrometry. *Bull. Chem. Soc. Jpn*, **76**, 115-120 (2003).
 23. Mito, S., Y. Sohrin, K. Norisuye, M. Matsui, H. Hasegawa, M. Maruo, M. Tsuchiya, and M. Kawashima. Budget of dissolved trace metals in Lake Biwa, Japan. *Limnology*, **5**, 7-16 (2004).
 24. Hasegawa, H., T. Maki, K. Asano, and K. Ueda. Detection of iron(III)-binding ligands originating from marine phytoplankton using cathodic stripping voltammetry. *Anal. Sci.*, **20**, 89-93 (2004).
 25. Maki, T., H. Hasegawa, H. Watarai, and K. Ueda. Classification for dimethylarsenate-decomposing bacteria using a restrict fragment length polymorphism analysis of 16S rRNA Genes. *Anal. Sci.*, **20**, 61-68 (2004).
 26. Kishida, K., Y. Sohrin, K. Okamura, and J. Ishibashi. Tungsten as a unique probe into the evolution of submarine hydrothermal fluids. *Earth Planet. Sci. Lett.*, (in press).
 27. Ezoe, M., T. Ishita, M. Kinugasa, X. Lai, K. Norisuye, and Y. Sohrin. Distribution of dissolved and acid dissolvable trace metals in the North Pacific Ocean. *Geochem. J.* (submitted).
 28. Kinugasa, M., T. Ishita, Y. Sohrin, K. Okamura, S. Takeda, J. Nishioka, and A. Tsuda. Dynamics of trace metals during the subarctic Pacific iron experiment for ecosystem dynamics study (SEEDS2001). *Prog. Oceanogr.*, (submitted).
 29. Suzuki, K., A. Hinuma, H. Saito, H. Kiyosawa, H. Liu, T. Saino, and A. Tsuda. Responses of phytoplankton and heterotrophic bacteria in the northwest subarctic Pacific to in situ iron fertilization as estimated by HPLC pigment analysis and flow cytometry. *Prog. Oceanogr.*, (submitted).
 30. Saito, H., K. Suzuki, A. Hinuma, T. Ota, K. Fukami, H. Kiyosawa, T. Saino, and A. Tsuda. Responses of microzooplankton to in situ iron fertilization in the western subarctic Pacific (SEEDS). *Prog. Oceanogr.*, (submitted).
 31. Obayashi, Y., K. Suzuki, and E. Tanoue. Characterization of phytoplankton communities in and around the Kuroshio Warm-Core Ring 93A in the northwestern North Pacific in autumn 1997 by using chemotaxonomic pigments. *J. Marine Syst.*, (submitted).

(イ) 口頭発表

1. 宗林由樹, 藤島夕喜代. 北部北太平洋とベーリング海における微量生元素の分布. 第4回みらいシンポジウム, 東京, 2001年1月.
2. 宗林由樹. 微量元素と海洋生態系の相互作用. 海洋科学技術センターR&D ミーティング (招待講演), 横須賀, 2001年1月.
3. 宗林由樹. ICP-MS と ICP-AES を利用する海洋微量元素の研究. パーキンエルマーICP-MS ユーザーズミーティング (招待講演), 横浜, 2001年5月.
4. 宗林由樹. 海の微量元素は気候変動を支配するか? 第62回分析化学討論会 (特別講演), 松本, 2001年6月.

5. 岸田剛一, 岡村慶, 宗林由樹, 上妻史宜, 角皆潤, 石橋純一郎, NT0012 航海乗船研究者. 伊豆小笠原弧, 海形海山における低温熱水活動の地球化学的特徴. 地球惑星科学関連学会 2001, 東京, 2001 年 6 月.
6. 宗林由樹. 気候変動と海. 化学研究所公開講演会, 宇治, 2001 年 6 月.
7. 長谷川浩, 篠浦美聡, 水本英伸, 上田一正. 微量鉄化学種による植物プランクトンの光合成制御. 第 9 回地球環境シンポジウム, 小倉, 2001 年 7 月.
8. Norisuye, K., K. Okamura, Y. Sohrin, H. Hasegawa, and T. Nakanishi. Determination of $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ ratio in the ocean by using HR-ICP-MS. International Congress on Analytical Sciences 2001, 2001 年 8 月.
9. Sohrin, Y., M. Kinugasa, K. Okamura, K. Norisuye, T. Ishita, Y. Fujishima, H. Hasegawa, and K. Ueda. Determination of trace metals in the ocean by MAF-8HQ column extraction-ICP-MS. International Congress on Analytical Sciences 2001, 2001 年 8 月.
10. Naito, K., M. Suzuki, S. Mito, H. Hasegawa, I. Imai, Y. Sohrin, and M. Matsui. The pursuit of siderophore secreted by marine phytoplankton *Rhodomonas ovaris*. International Congress on Analytical Sciences 2001, 2001 年 8 月.
11. 宗林由樹. 駿河湾と北太平洋における微量金属の動態. 日本海洋学会創立 60 周年記念大会 シンポジウム A 駿河湾深層水の海洋学 (招待講演), 静岡, 2001 年 9 月.
12. 鈴木光次, 吉川尚, 品田晃良, 范姜文榮, 古谷研, 才野敏郎. FRRF による海洋の基礎生産力の測定とその検証. 2001 年度日本海洋学会秋期大会, 静岡, 2001 年 9 月.
13. 宗林由樹. ICP-MS と ICP-AES を利用する海洋微量元素の研究 —マトリックス除去カラムによる海水分析の実例—. プラズマ分光分析研究会第 53 回講演会 (招待講演), 大阪, 2001 年 11 月.
14. 則末和宏. Sulu 海における微量元素の動態 Sulu 海および周辺海域の生物多様性と物質循環. 東京大学海洋研究所共同利用研究集会, 東京, 2001 年 11 月.
15. 三戸彩絵子, 川嶋宗継, 土谷崇夫, 宗林由樹, 丸尾雅啓. 降水による金属類および栄養塩類の琵琶湖への負荷. 第 9 回世界湖沼会議, 滋賀, 2001 年 11 月.
16. 宗林由樹, 衣笠正敏. 微量金属元素の変化. 東京大学海洋研究所共同利用シンポジウム「鉄散布実験による海洋生態系と大気組成への影響」—開洋丸 SEEDS 航海を中心に SOLAS へ—, 東京, 2001 年 11 月.
17. 石田恒己, 長谷川浩, 上田一正, 衣笠正敏, 則末和宏, 宗林由樹. 8-ヒドロキシキノリン固定化含フッ素メタルアルコキシドガラス(MAF-8HQ)を用いた駿河湾および北太平洋における微量生元素の動態解析. 日本分析化学会第 50 年会, 熊本, 2001 年 11 月.
18. Hasegawa, H., Y. Sohrin, M. Matsui, N. Takeda, and K. Ueda. Analysis of arsenic speciation in aqueous solution using solvent extraction. 10th International Symposium on Natural and Industrial Arsenic, Tokyo (Japan), 2001 年 11 月.
19. Kinugasa, M., Y. Sohrin, T. Ishita, S. Takeda, J. Nishioka, and A. Tsuda. Dynamics of dissolved trace metals during the subarctic Pacific iron experiment for ecosystem dynamics study (SEEDS). 2002 Ocean Science Meeting, Hawaii (USA), 2002 年 2 月.
20. Saito, H., K. Suzuki, A. Hinuma, H. Kiyosawa, A. Shiimoto, and A. Tsuda. Biological processes during the subarctic Pacific iron experiment for ecosystem dynamics study (SEEDS), AGU Ocean Sciences Meeting, Hawaii (USA), 2002 年 2 月.
21. 衣笠正敏, 宗林由樹, 石田恒己, 武田重信, 西岡純, 津田敦. 鉄散布実験 SEEDS2001 における微量金属元素の動態. 2002 年度 日本海洋学会春季大会, 東京, 2002 年 3 月.
22. 鈴木光次, 日沼公, 太田純吾, 松本佳, 才野敏郎. 生物光学的手法による相模湾の基礎生産力の測定. 2002 年度日本海洋学会春季大会, 東京, 2002 年 3 月.
23. 津田敦, 武田重信, 齊藤宏明, 西岡純, 津旨大輔, 芳村毅, 野尻幸宏, 今井圭理, 工藤勲, 久万健志, 谷平八郎, 野入善史, 塩本明弘, 清沢弘志, 小笠恒夫, 嶋本晶文, 青野辰雄, 日沼公, 鈴木光次, 才野敏郎, 衣笠正敏, 宗林由樹, 鶴島修夫, 深見公雄, 小川浩史. 鉄散布実験 Subarctic Ocean Enrichment and Ecosystem Dynamics Study (SEEDS) 航海概要, 2002 年度日本海洋学会春季大会, 東京, 2002 年 3 月.
24. 日沼公, 鈴木光次, 齊藤宏明, 才野敏郎. 亜寒帯太平洋域の鉄散布に対する植物プランクトンの応答(SEEDS)—生物物理学的手法による解析—. 2002 年度日本海洋

- 学会春季大会, 東京, 2002 年 3 月.
25. 清沢弘志, 鈴木光次, 日沼公, 齊藤宏明, 津田敦. 北西太平洋亜寒帯域の鉄散布実験(SEEDS)における植物プランクトン群集の応答. 2002 年度日本海洋学会春季大会, 東京, 2002 年 3 月.
 26. 齊藤宏明, 鈴木光次, 日沼公, 津田敦, 清沢弘志, 才野敏郎. 西部亜寒帯太平洋域での鉄添加実験(SEEDS)における動物プランクトンの応答. 2002 年度日本海洋学会春季大会, 東京, 2002 年 3 月.
 27. 三野義尚, 才野敏郎, 鈴木光次. 大西洋表層における懸濁粒子の $\delta^{13}\text{C}$ から推定された植物プランクトンの無機炭素取り込み機構について. 2002 年度日本海洋学会春季大会, 東京, 2002 年 3 月.
 28. 宗林由樹. 海の微量元素は気候変動を支配するか? 九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻談話会, 福岡, 2002 年 4 月.
 29. Norisuye, K., K. Okamura, Y. Sohrin, H. Hasegawa, and T. Nakanishi. $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ isotopic ratio in the western northwest Pacific Ocean. Goldschmidt Conference, Davos (Switzerland), 2002 年 8 月.
 30. Sohrin, Y., K. Kishida, K. Okamura, and J. Ishibashi. Tungsten and molybdenum in hydrothermal fluids of the Izu-Bonin Arc and the Okinawa Trough. Goldschmidt Conference, Conference, Davos (Switzerland), 2002 年 8 月.
 31. 宗林由樹. ICP-DRC-MS と ICP-AES を利用する海洋の研究. 2002 分析展, 千葉, 2002 年 9 月.
 32. 見方美智, 則末和宏, 宗林由樹. キレートカラム濃縮-ICP-MS 法による海水中ニオブ, タンタルの定量; コンタミネーションの除去. 日本分析化学会第 51 年会, 北海道, 2002 年 9 月.
 33. 佐藤直之, 上田一正, 則末和宏, 宗林由樹. キレート吸着繊維ポリ(N-アミノエチル)アクリルアミドの合成条件と海水中白金イオン濃縮への応用. 日本分析化学会第 51 年会, 北海道, 2002 年 9 月.
 34. 浅野幸之助, 長谷川浩, 上田健太郎, 寺西啓輔, 牧輝弥, 宗林由樹, 上田一正. 海洋植物プランクトンが放出する鉄運搬体の探索と定量. 日本分析化学会第 51 年会, 北海道, 2002 年 9 月.
 35. 浅野幸之介, 長谷川浩, 上田健太郎, 寺西啓輔, 牧輝弥, 宗林由樹, 上田一正. 海洋植物プランクトンが放出する鉄運搬体の探索と定量. 日本分析化学会第 51 年会, 札幌, 2002 年 9 月.
 36. 水本英伸, 長谷川浩, 奥村真子, 牧輝弥, 上田一正. 鉄制限下における植物プランクトンの鉄取り込み機構の解析. 日本分析化学会第 51 年会, 札幌, 2002 年 9 月.
 37. 北見洋幸, 長谷川浩, 牧輝弥, 宗景志浩, 岩崎望, 上田一正. 環境試料中における水産用抗生物質の分離分析と分解菌の探索. 日本分析化学会第 51 年会, 札幌, 2002 年 9 月.
 38. Sohrin, Y. Bioactive trace metals in the North Pacific Ocean. SOCR-JOS International Symposium, Hokkaido (Japan), 2002 年 10 月.
 39. 岡村慶, 紀本英志, 丸尾雅啓, 中山英一郎, 蒲生俊敬, 角皆潤, 鶴島修夫. 海洋における CO_2 関連物質の現場分析法の開発について. 2002 年度日本海洋学会秋季大会, 北海道, 2002 年 10 月.
 40. 宗林由樹, 岸田剛一, 岡村慶, 石橋純一郎. タングステンとモリブデンの海洋化学. 2002 年度日本海洋学会秋季大会, 北海道, 2002 年 10 月.
 41. 則末和宏, 見方美智, 宗林由樹, 武田重信, Bowie, A. R., Sedwick, P. 微量栄養成分の挙動. 2002 年度日本海洋学会秋季大会, 北海道, 2002 年 10 月.
 42. Suzuki, K., H. Liu, T. Saino, H. Obata, M. Takano, K. Okamura, Y. Sohrin, and Y. Fujishima. East-west gradients in the photosynthetic potential of phytoplankton and iron concentration in the subarctic Pacific Ocean during early summer. Workshop of a Synthesis of JGOFS North Pacific Process Study, Sapporo (Japan), 2002 年 10 月.
 43. Liu, H., K. Suzuki, and A. Tsuda. Phytoplankton dynamics and iron limitation in the northwestern subarctic Pacific Ocean. Workshop of a Synthesis of JGOFS North Pacific Process Study, Sapporo (Japan), 2002 年 10 月.
 44. 長谷川浩, 水本英伸, 浅野幸之介, 牧輝弥, 上田一正. 海洋植物プランクトンの鉄取り込み機構の解析. 2002 年度日本海洋学会秋期年会, 札幌, 2002 年 10 月.

45. 佐藤直之, 上田一正, 則末和宏, 宗林由樹. キレート吸着繊維ポリ(*N*-アミノエチル)アクリルアミドの合成条件と海水中白金族元素の濃縮. 平成 14 年度北陸地区講演会と研究発表会, 富山, 2002 年 11 月.
46. 宗林由樹. 海の微量元素は気候変動を支配するか?. 高知地区化学講演会, 高知, 2002 年 11 月.
47. Suzuki, K., A. Hinuma, J. Ohta, K. Matsumoto, S. Hashimoto, N. Horimoto, T. Ishimaru, and T. Saino (2002) Estimates of daily primary production in Sagami Bay (Japan) using fast repetition rate fluorometry and their data verification. Ocean Optics XVI, Santa Fe (USA), 2002 年 11 月.
48. 則末和宏, 見方美智, 宗林由樹, 武田重信, Bowie, A. R., Sedwick, P. 南極海オーストラリアセクターの微量元素. 第 25 回極域生物シンポジウムプログラム, 2002 年 12 月.
49. 宗林由樹, 岸田剛一, 岡村慶, 石橋純一郎. 海底熱水中のタングステンとモリブデン. 京都大学化学研究所第 102 回研究発表会, 京都, 2002 年 12 月.
50. 宗林由樹, 岸田剛一, 岡村慶, 石橋純一郎. 海底熱水中のタングステン-熱水生成機構解析のための新しいプローブ. ブルーアースシンポジウム, 横浜, 2003 年 1 月.
51. 鈴木光次, 日沼公, 齊藤宏明, 清沢弘志, 才野敏郎, 津田敦. 北西太平洋亜寒帯域の鉄散布実験 (SEEDS) における植物プランクトン群集の応答 2-生物化学的手法による解析-. 2003 年度日本海洋学会春季大会, 東京, 2003 年 3 月.
52. 齊藤宏明, 鈴木光次, 日沼公, 才野敏郎, 津田敦. 西部亜寒帯太平洋鉄散布実験 (SEEDS) における海水と植物プランクトン光学特性の応答. 2003 年度日本海洋学会春季大会, 東京, 2003 年 3 月.
53. 日沼公, 鈴木光次, 才野敏郎 (2003) 相模湾における植物プランクトンの光化学系 II パラメータと栄養塩濃度. 2002 年度日本海洋学会春季大会, 東京, 2003 年 3 月.
54. 宗林由樹. 海洋微量元素の動態解析. 第 23 回石橋雅義先生記念講演会 (第 18 回海洋化学学術賞受賞記念講演), 京都, 2003 年 4 月.
55. 宗林由樹. 海水中微量元素の多元素同時分析で海洋生物生産の謎を解く. 日本分光学会平成 15 年度春季講演会・シンポジウム (招待講演), 東京, 2003 年 5 月.
56. 宗林由樹, 則末和宏, 衣笠正敏, 見方美智, 江副雅子, 頼暁東, 南知晴. キレート吸着体 MAF-8HQ カラム濃縮-ICP-MS 法による海水中微量元素の動態の研究. 第 64 回分析化学討論会, 高知, 2003 年 5 月.
57. 宗林由樹. ICP-MS と ICP-AES を利用する海洋微量元素の研究. パーキンエルマー分析シンポジウム 2003, 大阪, 2003 年 6 月.
58. Kinugasa, M., Y. Sohrin, T. Ishita, S. Takeda, J. Nishioka, and A. Tsuda. Dynamics of dissolved and dissolvable trace metals during the subarctic Pacific iron experiment for ecosystem dynamics study (SEEDS 2001). IUGG2003, Sapporo (Japan), 2003 年 7 月.
59. Tsuda, A., T. Ono, H. Saito, K. Suzuki, J. Nishioka, Y. Nojiri, I. Kudo, and S. Takeda. Iron fertilization experiment in the western subarctic Pacific (SEEDS). IUGG, Sapporo (Japan), 2003 年 7 月.
60. 宗林由樹. 植物プランクトンの増殖を利用する地球温暖化対策に関する基礎研究. 鉄鋼スラグ利用植物プランクトン増殖研究の拡大研究会, 東北, 2003 年 8 月.
61. Sohrin, Y., M. Mikata, T. Minami, and K. Norisuye. Zr, Nb, Hf, Ta, and W in the northwest Pacific Ocean. Goldschmidt Conference 2003, Kurashiki (Japan), 2003 年 9 月.
62. 江副雅子, 衣笠正敏, 則末和宏, 岡村慶, 宗林由樹, 石田恒己. 北太平洋中緯度域における微量元素元素の動態. 2003 年度 日本海洋学会秋季大会, 長崎, 2003 年 9 月.
63. Maki, T., H. Hasegawa, S. Wachi, and K. Ueda. Detection of bacterial population contributing to organoarsenic decomposition. Goldschmidt Conference 2003, Kurashiki (Japan), 2003 年 9 月.
64. 奥村真子, 長谷川浩, 野澤あゆみ, 水野香, 牧輝弥, 上田一正. 植物プランクトンの生長における微量鉄化学種の影響の解析. 日本分析化学会第 52 年会, 仙台, 2003 年 9 月.
65. 竹田教子, 牧輝弥, 長谷川浩, 上田一正. 還元気化原子吸光法によるヒ素汚染土壌

- のモニタリングおよび有機ヒ素化合物分解菌の探索. 日本分析化学会第 52 年会, 仙台, 2003 年 9 月.
66. 五艘和也, 眞田美晴, 小池啓介, 牧輝弥, 長谷川浩, 上田一正. アミノ酸修飾キトサンビーズ両性イオン交換体の開発と遷移金属及び白金族イオンの捕集と分離. 日本分析化学会第 52 年会, 仙台, 2003 年 9 月.
 67. 牧輝弥, 長谷川浩, 和地慎太郎, 渡會浩司, 上田一正. 16S rDNA の RFLP 解析を用いた有機ヒ素分解細菌群の簡易分類法. 日本分析化学会第 52 年会, 仙台, 2003 年 9 月.
 68. 高辻美和, 長谷川浩, 那須友香理, 牧輝弥, 上田一正. 河川干潮域における鉄のスペシエーションと挙動. 日本分析化学会第 52 年会, 仙台, 2003 年 9 月.
 69. Suzuki, K. Effect of iron on phytoplankton community in the western subarctic Pacific Ocean. Seoul National University - Hokkaido University symposium. Seoul (Korea), 2003 年 10 月.
 70. Hasegawa, H. Arsenic speciation and behavior in natural waters. Singapore International Chemical Conference 3, Shingapore (Shingapore), 2003 年 12 月.
 71. Sohrin, Y., M. Kinugasa, K. Okamura, S. Takeda, J. Nishioka, and A. Tsuda. Dynamics of Bioactive Trace Metals During the Subarctic Pacific Iron Experiment for Ecosystem Dynamics Study (SEEDS2001). Ocean Research Conference 2004, Hawaii (USA), 2004 年 2 月.
 72. Saito, H., K. Suzuki, A. Hinuma, T. Ota, K. Fukami, H. Kiyosawa, T. Saino, and A. Tsuda. Responses of micro grazers to the mesoscale iron fertilization in the western subarctic Pacific (SEEDS). ASLO/TOS Ocean Research Conference. Hawaii (USA), 2004 年 2 月.
 73. Kondo, Y., S. Takeda, J. Nishioka, H. Saito, K. Suzuki, and K. Furuya. Iron limitation status of phytoplankton community in the Oyashio region during spring. ASLO/TOS Ocean Research Conference. Hawaii (USA), 2004 年 2 月.
 74. 鈴木光次, 齊藤宏明, 桑田晃, 西岡純, 小埜恒夫. 春期の西部北太平洋亜寒帯域および黒潮・親潮混合域における植物プランクトンの光合成潜在能力. 2004 年度日本海洋学会春季大会, 筑波, 2004 年 3 月.
 75. 近藤能子, 武田重信, 西岡純, 齊藤宏明, 鈴木光次, 古谷研. 親潮域春期ブルーム期における植物プランクトン増殖の鉄制限の可能性. 2004 年度日本海洋学会春季大会, 筑波, 2004 年 3 月.
 76. 岩出将英, 久万健志, 吉田允彦, 工藤勲, 西岡純, 鈴木光次. 植物プランクトンの鉄摂取増殖機構 I. 初期鉄摂取及び生体内鉄利用の重要性. 2004 年度日本海洋学会春季大会, 筑波, 2004 年 3 月.

(ウ) 出版物

1. 宗林由樹. 海と環境. 日本海洋学会編, 171-180, 講談社 (2001).
2. 宗林由樹. はかつてなんぼ 環境編. 日本分析化学会近畿支部編, 70-80, 丸善 (2002).
3. 長谷川浩. 第 3 章 海水を調べる, 海の不思議を探る, 17-28, 国立室戸少年自然の家 (2002).
4. 宗林由樹. 先端化学シリーズ II. 日本化学会編, 236-242, 丸善 (2003).
5. 鈴木光次. 逆相高速液体クロマトグラフィーによるクロロフィルとカロチノイドの測定及びフィコビリタンパク質の測定. 地球環境調査計測辞典 (竹内均監修), 第 3 巻, 524-528, 株式会社フジ・テクノシステム (2003).
6. 鈴木光次. 蛍光法による基礎生産速度の測定. 地球環境調査計測辞典 (竹内均監修), 第 3 巻, 544-547, 株式会社フジ・テクノシステム (2003).
7. 長谷川浩. 3.1 章 海の水を採ろう, 3.4 章 海の水を調べよう, 海を学ぼう. 日本海洋学会編, 東北大学出版会 (2003).
8. 鈴木光次, 乗木新一郎. クロロフィル a. 新 水の分析 (仮称) 日本分析化学会北海道支部編, 株式会社化学同人 (投稿中).

(エ) その他

1. 宗林由樹. ICP-MS と ICP-AES を利用する海洋微量元素の研究. パーキンエルマー-ICP-MS ユーザーズミーティング, 37-47, 2001 年 5 月.

2. 宗林由樹, 鈴木光次, 長谷川浩, 上田一正. 北太平洋の植物プランクトン増殖による地球温暖化対策に関する基礎研究. 環境研究助成・成果報告書 (第 20 回・平成 11 年度), 財団法人鉄鋼業環境保全技術開発基金, 東京, 505-533 (2001).
3. 宗林由樹. 気候変動と海. 化学研究所公開講演会, 宇治, 10-14, 2001 年 6 月.
4. 宗林由樹. 北太平洋における鉄濃度調節実験-二酸化炭素海洋隔離の可能性を探る-. ぶんせき, 423-424 (2001).
5. Sohrin, Y., M. Kinugasa, K. Okamura, K. Norisuye, T. Ishita, Y. Fujishima, H. Hasegawa, and K. Ueda. Determination of trace metals in the ocean by MAF-8HQ column extraction-ICP-MS. *Anal. Sci.* **17**, Supplement, i1-i4 (2001).
6. Norisuye, K., K. Okamura, Y. Sohrin, H. Hasegawa, and T. Nakanishi. Determination of $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ ratio in the ocean by using HR-ICP-MS. *Anal. Sc.* **17**, Supplement, i29-i32 (2001).
7. Naito, K., M. Suzuki, S. Mito, H. Hasegawa, I. Imai, Y. Sohrin, and M. Matsui. The pursuit of siderophore secreted by marine phytoplankton *Rhodomonas ovaris*. *Anal. Sc.* **17**, Supplement, i817-i819 (2001).
8. 三戸彩絵子, 川嶋宗継, 土谷崇夫, 宗林由樹, 丸尾雅啓. 降水による金属類および栄養塩類の琵琶湖への負荷. 9th International Conference on the Conservation and Management of Lakes, 大津, 69-72, 2001 年 11 月.
9. 宗林由樹. ICP-MS と ICP-AES を利用する海洋微量元素の研究-マトリックス除去カラムによる海水分析の実際-. プラズマ分光分析研究会第 53 回講演会, 63-72, 2001 年 11 月.
10. 岸野元彰, 古谷研, 田口哲, 平澤亨, 鈴木光次, 田中昭彦. 海水の光吸収係数の測定 (総説). 海の研究, **10**, 537-560 (2001).
11. 長谷川浩. 海洋植物プランクトンが利用する亜鉛の化学形は? ファルマシア, **37**, 426-427, (2001).
12. 宗林由樹, 岸田剛一, 岡村慶, 石橋純一郎. 海底熱水中のタングステンとモリブデン. 海洋化学研究, **15**, 16-24 (2002).
13. 宗林由樹. 海水中のタングステンとモリブデン. 月刊海洋 号外, 122-126 (2001).
14. 宗林由樹. 海水の微量元素. 海の研究, **11**, 37-40 (2002).
15. 宗林由樹. 海洋中の微量金属と生物生産. 環境ケミカルサイエンス. 日本化学会, 25-30 (2002).
16. 藤島夕喜代, 宗林由樹. 北太平洋亜寒帯域およびベーリング海の溶存微量元素. 月刊海洋, **34**, 549-553 (2002).
17. 宗林由樹. 海洋への鉄散布によって大気中二酸化炭素は減らせるか? バイオサイエンスとインダストリー, **60**, 527-530 (2002).
18. Suzuki, K., A. Hinuma, J. Ohta, K. Matsumoto, S. Hashimoto, N. Horimoto, T. Ishimaru, and T. Saino. Estimates of daily primary production in Sagami Bay (Japan) using fast repetition rate fluorometry and their data verification. Ocean Optics XVI. CD-ROM paper no. 058, the Office of Naval Research (USA), Ocean, Atmosphere, and Space S&T Department (2002).
19. 鈴木光次, 吉川尚, 古谷研, 才野敏郎. クロロフィル蛍光による植物プランクトンの光合成活性の測定. *Bull. Plankton. Soc. Japan*, **49**, 27-36 (2002).
20. 長谷川浩. 海水中の鉄と結合する天然有機配位子の捕集と解析. ぶんせき, **33**, 520, (2002).
21. 長谷川浩. 琵琶湖におけるヒ素の循環と季節変化. 環境保全, **17**, 52-62, (2002).
22. 宗林由樹, 岡村慶. 海洋における微量元素の動態を探る-海洋化学研究の醍醐味. 化学, **58**, 23-27 (2003).
23. 宗林由樹. 海洋微量元素の動態解析. 海洋化学研究, **16**, 41-48 (2003).
24. Liu, H., K. Suzuki, and H. Saito. Community structure and dynamics of phytoplankton in the western subarctic Pacific Ocean - A synthesis. *J. Oceanogr.*, **60**, 119-137 (2004).
25. 長谷川浩, 牧輝弥, 上田一正. 有機ヒ素化合物のバイオレメディエーションとファイトレメディエーション. 月刊「水」, **4**, 18-25 (2004).

6 研究成果 (抜粋)

- Fujishima, Y., K. Ueda, M. Maruo, E. Nakayama, C. Tokutome, H. Hasegawa, M. Matsui, and Y. Sohrin. Distribution of trace bioelements in the subarctic North Pacific Ocean and the Bering Sea (the R/V Hakuho-Mar Cruise KH-97-2). *J. Oceanogr.*, **57**, 261-273 (2001).
- 宗林由樹, 藤島夕喜代, 千葉絢子, 石田恒己. 海水中超微量金属の多元素同時定量法の開発. *分析化学* **50**, 369-382 (2001).
- Hasegawa, H., M. Matsui, M. Suzuki, K. Naito, K. Ueda, and Y. Sohrin. The possibility for regulating species composition of marine phytoplankton using organically complexed iron. *Anal. Sci.*, 209-211 (2001).
- Suzuki, K., H. Liu, T. Saino, H. Obata, M. Takano, K. Okamura, Y. Sohrin, and Y. Fujishima. East-west gradients in the photosynthetic potential of phytoplankton and iron concentration in the subarctic Pacific Ocean during early summer. *Limnol. Oceanogr.*, **47**, 1581-1594 (2002).
- Suzuki, K., C. Minami, H. Liu, and T. Saino. Temporal and spatial patterns of chemotaxonomic algal pigments in the subarctic Pacific and the Bering Sea during the early summer of 1999. *Deep-Sea Res. II*, **49**, 5685-5704 (2002).
- Hasegawa, H., M. Shinoura, H. Mizumoto, K. Naito, Y. Sohrin, and K. Ueda. Photosynthesis regulation of phytoplankton by organic complexation of iron. *J. Global Environ. Engineer.*, **8**, 45-53 (2002).
- Tsuda, A., S. Takeda, H. Saito, J. Nishioka, Y. Nojiri, I. Kudo, H. Kiyosawa, A. Shiimoto, K. Imai, T. Ono, A. Shimamoto, D. Tsumune, T. Yoshimura, T. Aono, A. Hinuma, M. Kinugasa, K. Suzuki, Y. Sohrin, Y. Noiri, H. Tani, Y. Deguchi, N. Tsurushima, H. Ogawa, K. Fukami, K. Kuma, and T. Saino. A mesoscale iron enrichment in the western subarctic Pacific induces large centric diatom bloom. *Science*, **300**, 958-961 (2003).
- Hasegawa, H., T. Maki, K. Asano, and K. Ueda. Detection of iron(III)-binding ligands originating from marine phytoplankton using cathodic stripping voltammetry. *Anal. Sci.*, **20**, 89-93 (2004).