

平成 22 年 4 月 17 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19510001

研究課題名 (和文) 春季親潮珪藻ブルームの基礎生産特性とその生理機構の解明

研究課題名 (英文) Clarifying the characteristics of primary production and their physiological mechanisms during spring Oyashio diatom blooms

研究代表者

鈴木 光次 (SUZUKI KOJI)

北海道大学・大学院地球環境科学研究院・准教授

研究者番号：402834252

研究成果の概要 (和文)：春季親潮珪藻ブルームに注目した海洋観測において、植物プランクトンの光合成および海水中の鉄に関わるデータを取得した。比較的多量の鉄を含むと考えられる沿岸親潮水がブルームを形成する植物プランクトンの光合成活性を大きく刺激すること、また、ブルーム期間中においても珪藻種が鉄欠乏ストレスを受けていたことを明らかにした。さらに、春季親潮ブルームを形成する代表的な珪藻種を用いて、室内培養実験を行うことにより、親潮珪藻種の光合成特性に対する水温、光および鉄との関係を定量的に解明した。

研究成果の概要 (英文)：We obtained the data of phytoplankton photosynthesis and iron in the Oyashio region of the NW Pacific during the spring blooms. Coastal Oyashio waters, which contained relatively high amount of iron, stimulated the photosynthetic activity of phytoplankton, especially diatoms. However, diatoms were generally stressed by low iron availability even in the spring blooms. We also determined the effects of temperature, light, and iron availability on photosynthetic features of the representative bloom-forming diatom species isolated from Oyashio waters, through batch culture experiments.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2008 年度	700,000	210,000	910,000
2009 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：植物プランクトン、基礎生産、光合成、春季ブルーム、親潮、西部北太平洋

1. 研究開始当初の背景

(1) 親潮域での高い生物生産および二酸化炭素吸収力の基盤は、植物プランクトンによる基礎生産 (光合成) であり、その中でも、毎年、春季に大增殖 (ブルーム) する珪藻類

が特に重要な役割を果たしている。これらの事から、今後の地球環境および我が国の水産資源の変化を予測する上で、親潮珪藻ブルームの基礎生産過程を評価することは非常に重要である。

(2) 親潮域の春季珪藻ブルームの基礎生産過程に関する情報が未だ極めて限られており、ブルームの盛衰を支配する因子に関しても十分な理解が得られていなかった。

(3) 親潮ブルームを形成する珪藻の基礎生産機構を理解するためには、珪藻の光合成装置とその機能を分子レベルで明らかにする必要があるが、その知見は皆無であった。

2. 研究の目的

(1) 春季親潮珪藻ブルームに注目した海洋観測において、ブルーム発達期から衰退期にかけての基礎生産（光合成）に関わるデータを取得し、親潮珪藻ブルーム期の基礎生産特性およびそれを支配する外的要因の効果を定量的に明らかにする。

(2) 春季親潮ブルームを形成する珪藻種を用いて、様々な制御環境下で室内培養実験を行うことにより、外的要因と親潮珪藻種の基礎生産特性との関係をより詳細に明らかにする。

(3) 珪藻種の光合成装置（集光装置および光化学系反応中心）の同定とその機能解析を世界に先駆けて行い、親潮珪藻種の基礎生産特性を分子レベルで解明する。

3. 研究の方法

(1) 2007年4月3日から5月4日にかけて（独）海洋研究開発機構白鳳丸KH-07-1次研究航海（以下、OECOS航海）に参加した。さらに、（独）水産総合研究センター若鷹丸WK0705航海（2007年5月9日～5月21日）およびWK0706航海（2007年6月4日～6月14日）に参加した（以後、両航海をBLOSSOM航海）。ブルームの発達期から衰退期までの基礎生産特性の変化を多角的に評価するため、基礎生産に関わるパラメータを測定した。また、海洋物理・化学データと基礎生産パラメータとの関係を調査した。

(2) 春季親潮ブルームの海水から単離された、代表的なブルーム形成珪藻種 *Thalassiosira nordenskiöldii*、*Chaetoceros debilis* をバッチ培養し、光合成-光曲線実験を行った。光合成速度と水温、光強度、鉄利用性との関係を調査した。

(3) 全ゲノムが解読された珪藻種 *Thalassiosira pseudonana* (CCMP1335)の光合成装置をショ糖勾配密度超遠心、HPLCによる色素分析、ウェスタンブロッティング、質量分析を用いて調査した。

4. 研究成果

(1) 2007年4月のOECOS航海のA5観測点（図1。北緯42度、東経145度25分）における表層の植物プランクトンの現存量指標であるクロロフィル *a* 濃度は海表面（2～5m深）で1～18 mg m⁻³を維持し、常にブルームが形成されていた。5月および6月のBLOSSOM航海においても、高いクロロフィル *a* 濃度が維持されていたが、A5観測点近くのA4観測点ではクロロフィル *a* 濃度が1 mg m⁻³未満であった。

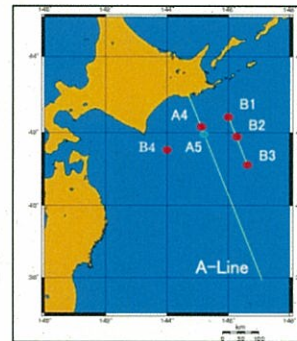


図1 本研究で実施した海洋観測点。

有光層内の深度積算基礎生産は、OECOS航海で541～3231 mg C m⁻² d⁻¹、BLOSSOM航海では、328～2839 mg C m⁻² d⁻¹であった。また、海表面における基礎生産力は、OECOS航海で34～602 mg C m⁻³ d⁻¹、BLOSSOM航海では、17～391 mg C m⁻³ d⁻¹であった。両航海とも海表面のクロロフィル *a* 濃度と基礎生産力に有意な線形関係が見られた。すなわち、海表面の基礎生産力が植物プランクトンの現存量に依存していたことを示唆している。5、6月のBLOSSOM航海では、海表面のクロロフィル *a* 濃度と基礎生産力との間の決定係数 (R²) が低かったことから、さらに重回帰分析を使って、基礎生産力の支配因子を調査した結果、最大光合成速度 (P_{max}^{*}) とも有意な相関が見られた (p<0.002)。すなわち、OECOS航海の海表面の基礎生産力は、植物プランクトンの現存量だけでなく、光合成の生理状態に依存していたことが示唆された。また、4月のOECOS航海では、海表面の基礎生産力と水温の間に逆相関の関係がみられたが、5月および6月のBLOSSOM航海では、海表面の基礎生産力と水温の間に有意な相関関係は見られなかった。両航海において、海表面の基礎生産力と光強度（1日当たりの光合成有効放射）あるいは海水中の硝酸塩濃度との間に有意な相関関係が見られなかったことから、調査期間中、光および硝酸塩は基礎生産力に対して、重要な因子では無いことが推測された。一方、4月のOECOS航海で見られた低水温における高いクロロフィル *a* 濃度

および礎生産力は、オホーツク海起源の沿岸親潮水が観測点に流入したことによりもたらされたことが考えられ、実際、MODIS/Aquaによる海色人工衛星画像においてもその様子が確認された(図2)。沿岸親潮水は、本来、多量の鉄が海水に含まれていることが期待されるが、実際の海水では既に植物プランクトンの増殖により消費されたことから、顕著な高い溶存鉄濃度は確認されなかった。

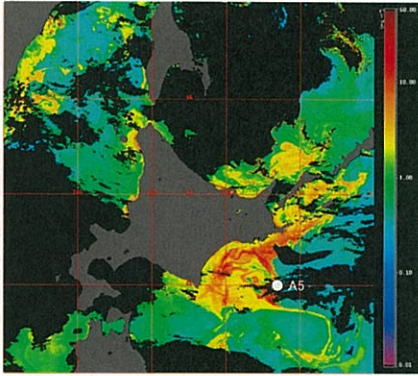


図2 2007年4月7日におけるMODIS/Aqua衛星によるクロロフィルa画像。

(2) 親潮産珪藻単離株 *Thalassiosira nordenskiöldii* および *Chaetoceros debilis* を用いた室内培養実験を実施した。*T. nordenskiöldii* は、函館海洋気象台が1972年から1999年までに実施した親潮域のPH観測線において、春季植物プランクトンブルーム期に観察された全珪藻種の中で最も高い頻度で見られた種である。しかしながら、親潮産 *T. nordenskiöldii* の光合成生理を調べた研究は過去に報告されていない。一方、*C. debilis* は、2001年夏季に西部北太平洋亜寒帯循環域(親潮系水の源流の1つ)で実施された現場鉄散布実験において、鉄添加後、大規模な植物プランクトンブルームを形成した最優占種である。しかし、この *C. debilis* についても、*T. nordenskiöldii* 同様、光合成生理を調べた研究は過去に報告されていない。本研究結果から、*T. nordenskiöldii* 細胞は5°Cおよび10°Cで増殖したが(増殖速度=0.3~0.7 d⁻¹)、15°Cでは細胞の増殖が見られず、細胞は死滅した。一方、*C. debilis* 細胞は5°C、10°C、15°Cにおいて、*T. nordenskiöldii* とほぼ同じ増殖速度で増殖した。これら結果から *C. debilis* は *T. nordenskiöldii* よりも高い温度耐性を持っていることが明らかとなった。光合成光曲線実験から、*T. nordenskiöldii* は水温10°Cで、*C. debilis* は水温10°C~15°Cで光合成活性が比較的高くなることが明らかとなった。また同じ環境条件で培養しても、*T. nordenskiöldii* の方が低照度環境により適応していることが明らかとなった。さらに、初期鉄濃度に対して10倍量の desferrioxamine B (DFB) を加

えて、生物利用可能鉄を低下させると、両株とも光合成活性が数日以内に顕著に低下することが明らかとなった。即ち、親潮産 *T. nordenskiöldii* および *C. debilis* は、海水中の鉄欠乏に鋭敏に反応し、二酸化炭素固定能力が大きく低下することを定量的に示すことが出来た。

(3) 培養した *T. pseudonana* から、光合成色素タンパク質複合体を含むチラコイド膜の単離を行うため、グラスビーズ法、凍結融解法およびバイオネビュライズ法を用いて、細胞の破碎を試みた。結果、グラスビーズ法を用いた場合、熱の発生により光合成色素タンパク質複合体に含まれるフコキサンチンと呼ばれる色素が破壊および分解される事が明らかとなった。また、他の珪藻種で有効とされる凍結融解法では、ほとんど細胞が破碎しない事が明らかとなった。これは、原因は特定できていないが、珪藻の細胞サイズにも依存している可能性がある。バイオネビュライズ法は、これまで単細胞緑藻クラミドモナスを用いた研究において、細胞の穏やかな破碎に適している方法として認識されているものの、現在までにこの方法を用いて珪藻の細胞を破碎した報告は皆無であった。しかし、いくつかの条件検討を経ることで、*T. pseudonana* の細胞を効率良く破碎することに成功した。細胞の破碎後、これまで報告されていない *T. pseudonana* からのチラコイド膜の単離に初めて成功した。

また、得られたチラコイド膜を様々な界面活性剤(ドデシルマルトシド、オクチルグルコオキシド、ジギトニン、トライトンなど)を用いて可溶化した後、光化学系タンパク質複合体の精製を行ったところ、ドデシルマルトシドによる可溶化が最も適していることを見いだした。更に、可溶化条件を検討することで集光アンテナタンパク質、光化学系2複合体、光化学系1超複合体の単離および精製が可能となった。精製により得られた光合成タンパク質複合体は、HPLCによる色素分析、ウェスタンブロット解析、質量分析により、複合体中に含まれる色素やタンパク質の詳細を決定した。

これら一連の生化学的解析は、モデル珪藻では初となる報告であり、今後の珪藻を用いた研究のモデルとなる可能性がある。また、現在、モデル珪藻の1種である、羽状目珪藻 *Phaeodactylum tricoratum* を用いて同様の実験を進めており、中心目珪藻と羽状目珪藻の光化学系の違いとその生態学的な違いを関連づける議論を展開する予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に

は下線)

〔雑誌論文〕 (計 24 件)

1. Isada, T., K. Suzuki (最後), 他 3 名 (in press) Primary productivity and its bio-optical modeling in the Oyashio region, NW Pacific during the spring bloom 2007. *Deep-Sea Res. II*, doi:10.1016/j.dsr2.2010.03.009, 査読有.
2. Liu, H., K. Suzuki (3 番目), 他 3 名 (in press) Mesozooplankton selective feeding in subtropical coastal waters revealed by HPLC pigment analysis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 査読有.
3. Hattori-Saito, A., K. Suzuki (最後), 他 3 名 (2010) Fe deficiency in micro-sized diatoms in the Oyashio region of the western subarctic Pacific during spring. *J. Oceanogr.*, **66**, 117-132, 査読有.
4. Yoshie, N., K. Suzuki (2 番目), 他 3 名 (2010) Temporal and spatial variations of phytoplankton photosynthetic physiology during the spring bloom in the western subarctic Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **399**, 39-52.
5. Kurihara, K. Suzuki (7 番目), 他 10 名 (2010) Linkage between ocean and air in short-lived iodocarbons and oceanic distributions of biogenic trace gases in the Western North Pacific. *Mar. Chem.*, **118**, 156-170, 査読有.
6. Konno, U., K. Suzuki (最後), 他 7 名 (2010) Significance of N₂ fixation in dissolved fractions of organic nitrogen. *Biogeosciences Discuss.*, **7**, 765-786, 査読無.
7. Suzuki, K., 他 8 名 (2009) Community structure and photosynthetic physiology of phytoplankton in the northwest subarctic Pacific during an in situ iron fertilization experiment (SEEDS-II). *Deep-Sea Res. II*, **56**, 2733-2744, 査読有.
8. Kataoka, T., K. Suzuki (2 番目), 他 3 名 (2009) Temporal changes in community composition of heterotrophic bacteria during in situ iron fertilization experiment in the western subarctic Pacific (SEEDS-II). *Deep-Sea Res. II*, **56**, 2779-2787, 査読有.
9. Kudo, I., Y. K. Suzuki (4 番目), 他 5 名 (2009) Primary production, bacterial production and nitrogen assimilation dynamics during the SEEDS-II experiment. *Deep-Sea Res. II*, **56**, 2755-2766, 査読有.
10. Lizotte, M., K. Suzuki (4 番目), 他 5 名 (2009) Iron-induced alterations of bacterial DMSP metabolism during SEEDS II. *Deep-Sea Res. II*, **56**, 2889-2898, 査読有.
11. Nagao, I., K. Suzuki (3 番目), 他 9 名 (2009) Responses of DMS in the seawater and atmosphere to iron enrichment in the subarctic western North Pacific (SEEDS-II). *Deep-Sea Res. II*, **56**, 2899-2917, 査読有.
12. Hashimoto, S., K. Suzuki (3 番目), 他 10 名 (2009) Production and air-sea flux of methyl halides in the western subarctic Pacific in relation to phytoplankton pigment concentrations during iron fertilization experiment. *Deep-Sea Res. II*, **56**, 2928-2935, 査読有.
13. Saito, H., K. Suzuki (11 番目), 他 10 名 (in press) Biogeochemical cycling of N and Si during the mesoscale iron-enrichment experiment in the western subarctic Pacific (SEEDS-II). *Deep-Sea Res. II*, doi:10.1016/j.dsr2.2009.06.010, 査読有.
14. Isada, T., K. Suzuki (2 番目), 他 3 名 (2009 press) Primary productivity and photosynthetic features of phytoplankton in the Sea of Okhotsk during late summer. *PICES Scientific Report*, **36**, 72-75, 査読無.
15. Isada, T., A. K. Suzuki (最後), 他 5 名 (2009) Photosynthetic features and primary productivity of phytoplankton in the Oyashio and Kuroshio-Oyashio transition regions of the northwest Pacific. *J. Plankton Res.*, **31**, 1009-1025, 査読有.
16. Liu, H., K. Suzuki (2 番目), 他 3 名 (2009) Phytoplankton growth and microzooplankton grazing in the Sea of Okhotsk during late summer of 2006. *Deep-Sea Res. I*, **56**, 561-570, 査読有.
17. Jing, H., H. Liu, K. Suzuki (2009) Phylogenetic diversity of marine *Synechococcus* in the Sea of Okhotsk. *Aquat. Microbial Ecol.*, **56**, 55-63, 査読有.
18. Kataoka, T., K. Suzuki (3 番目), 他 3 名 (2009) Tempo-spatial patterns of bacterial community composition in the western North Pacific Ocean. *J. Mar. Sys.*, **77**, 197-207, 査読有.
19. Kataoka, T., K. Suzuki (3 番目), 他 3 名 (2009) Detection of UVBR-sensitive and -tolerant bacteria in surface waters of the western North Pacific. *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.*, **95**, 108-116, 査読有.
20. Yoshimura, T., K. Suzuki (3 番目), 他 4 名 (2009) Impacts of elevated CO₂ on phytoplankton community composition and organic carbon dynamics in nutrient-depleted Okhotsk Sea surface waters. *Biogeosciences Discuss.*, **6**, 4143-4163, 査読無.
21. Hayakawa, M., K. Suzuki (2 番目), 他 3 名 (2008) Differences in cell viabilities of

- phytoplankton between spring and late summer in the northwest Pacific Ocean. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **360**, 63-70, 査読有。
22. 鈴木光次, 他 3 名 (2008) 夏季のオホーツク海および千島列島海域における基礎生産過程の特徴, 月刊海洋号外, **50**, 99-106, 査読無。
 23. Nishioka, J., K. Suzuki (7 番目), 他 9 名 (2007) Iron supply to the western subarctic Pacific: Importance of iron export from the Sea of Okhotsk. *J. Geophys. Res.*, **112**, C10012, doi:10.1029/2006JC004055, 査読有。
 24. Tsuda, A., K. Suzuki (7 番目), 他 39 名 (2007) Evidence for the grazing hypothesis: Grazing reduces phytoplankton responses of the HNLC ecosystem to iron enrichment in the western subarctic Pacific (SEEDS II). *J. Oceanogr.*, **63**, 983-994, 査読有。

[学会発表] (計 24 件)

1. 齊藤愛, 鈴木光次 (最後), 他 4 名, 夏季のオホーツク海における珪藻類の鉄ストレス評価, 2010 年度日本海洋学会春季大会, 2010 年 3 月 27 日, 東京海洋大学 (東京)。
2. 野坂裕一, 鈴木光次 (最後), 他 4 名, 2008 年夏季の西部北太平洋亜寒帯域における植物プランクトンによる水柱の光合成光利用効率の特性, 2010 年度日本海洋学会春季大会, 2010 年 3 月 27 日, 東京海洋大学 (東京)。
3. 伊佐田智規, 鈴木光次 (2 番目), 他 6 名, 2007 年親潮域春季ブルーム期における植物プランクトンの光合成特性, 2010 年度日本海洋学会春季大会, 2010 年 3 月 27 日, 東京海洋大学 (東京)。
4. N. Yoshie, K. Suzuki (2 番目), 他 3 名, Temporal and spatial variations of phytoplankton photosynthetic physiology during the spring bloom in the western subarctic Pacific, 2010 Ocean Sciences Meeting, 2010 年 2 月 22 日, ポートランド (米国)。
5. I. Kudo, K. Suzuki (4 番目), 他 5 名, Fate of carbon production in SEEDS II experiment, exported or respired?, 2010 Ocean Sciences Meeting, 2010 年 2 月 23 日, ポートランド (米国)。
6. K. Suzuki, 他 6 名, Primary productivity and photosynthetic physiology of phytoplankton in the Sea of Okhotsk and the Oyashio region of the NW Pacific, Closing Symposium on the Amur Okhotsk Project 2005-2009, 2010 年 1 月 19 日, 総合地球環境学研究所 (京都)。
7. 鈴木光次, 他 2 名, 西部北太平洋亜寒帯域における植物プランクトンの光合成生理特性, 東京大学海洋研共同利用研究集会「新しい海洋区分の創設に向けた生物地球化学と生態学の統合研究」, 2010 年 12 月 22 日, 東京大学海洋研究所 (東京)。
8. 鈴木光次, 他 6 名, 西部北太平洋域における植物プランクトンの群集組成と生産力, 東京大学海洋研共同利用研究集会「白鳳丸航海KH-08-02 データシンセシス」, 2009 年 12 月 11 日, 東京大学海洋研究所 (東京)。
9. 柴田直弥, 鈴木光次 (最後), 他 7 名, 西部北太平洋亜寒帯域における微量金属元素の分布とスペシエーション, 東京大学海洋研共同利用研究集会「白鳳丸航海KH-08-02 データシンセシス」, 2009 年 12 月 11 日, 東京大学海洋研究所 (東京)。
10. A. Hattori-Saito, K. Suzuki (最後), 他 6 名, Fe nutritional status in micro-sized diatoms in the Oyashio region of the NW subarctic Pacific during spring 2007, PICES 2009 Annual Meeting, 2009 年 10 月 25 日, 済州 (韓国)。
11. H. Saito, K. Suzuki (最後), 他 8 名, Factors controlling the spatial variability of spring bloom dynamics in the Oyashio region, PICES 2009 Annual Meeting, 2009 年 10 月 25 日, 済州 (韓国)。
12. 服部愛, 鈴木光次 (2 番目), 他 5 名, 2007 年春季親潮ブルームにおける珪藻種組成の特徴, 2009 年 4 月 6 日, 東京大学本郷キャンパス (東京)。
13. 伊佐田智規, 鈴木光次 (2 番目), 他 5 名, 2007 年親潮域春季ブルーム期における衛星リモートセンシングを用いた基礎生産の推定, 2009 年度日本海洋学会春季大会, 2009 年 4 月 8 日, 東京大学本郷キャンパス (東京)。
14. T. Isada, K. Suzuki (3 番目), 他 3 名, Community structure, productivity and photosynthetic physiology of phytoplankton in the Oyashio region of the NW subarctic Pacific during spring 2007, PICES 17th Annual Meeting, 2008 年 10 月 25 日, 大連 (中国)。
15. T. Isada, K. Suzuki (2 番目), 他 3 名, Primary productivity and photosynthetic features of phytoplankton in the Sea of Okhotsk during late summer, 東京農業大学網走キャンパス (北海道)。
16. 伊佐田智規, 鈴木光次 (2 番目), 他 3 名, 2007 年 4 月から 6 月における親潮域の基礎生産過程の時空間変化, 東京大学海洋研共同利用研究集会「水塊構造の時空間変動と高頻度連続観測による親潮生態系の動態解明」, 2008 年 8 月 4 日, 東京大

- 学海洋研究所（東京）。
17. K. Suzuki, 他 4 名, Characteristics of phytoplankton productivity in the Sea of Okhotsk during late summer, AOGS 2008, 釜山（韓国）。
 18. 鈴木光次, 他 4 名, オホーツク海および千島列島海域における基礎生産過程の特徴, 東京大学海洋研共同利用研究集会「潮汐混合とオホーツク海・ベーリング海の物理・化学・生物過程, 2008 年 5 月 22 日, 東京大学海洋研究所（東京）。
 19. 鈴木光次, 他 5 名, 2006 年夏季のオホーツク海における植物プランクトン群集の動態, 2008 年度日本海洋学会春季大会, 2008 年 3 月 27 日, 東京海洋大学（東京）。
 20. 伊佐田智規, 鈴木光次（2 番目）, 他 6 名, 2006 年夏季におけるオホーツク海の光合成光利用特性と基礎生産力, 2008 年度日本海洋学会春季大会, 2008 年 3 月 27 日, 東京海洋大学（東京）。
 21. 服部愛, 鈴木光次（2 番目）, 他 5 名, 春季親潮ブルームにおける珪藻類の鉄ストレス評価, 2008 年度日本海洋学会春季大会, 2008 年 3 月 28 日, 東京海洋大学（東京）。
 22. 木村匡恵, 鈴木光次（7 番目）, 他 10 名, 西部北太平洋春季ブルームにおける海水中の微量ガスの分布特性, 2008 年度日本海洋学会春季大会, 2008 年 3 月 28 日, 東京海洋大学（東京）。
 23. 鈴木光次, 他 5 名, 2007 年春季親潮珪藻ブルームにおける基礎生産過程の特徴, 2008 年度日本海洋学会春季大会シンポジウム G「高頻度連続観測による親潮生態系の動態解明」2008 年 3 月 30 日, 東京海洋大学（東京）。
 24. 鈴木光次, 北太平洋亜寒帯域における植物プランクトン群集の鉄増殖制限と光合成特性, 第 7 回日本光合成研究会シンポジウム, 2007 年 5 月 25 日, 岡山大学（岡山）。

〔図書〕（計 5 件）

1. 鈴木光次（印刷中）植物プランクトン・環境分析ガイドブック（日本分析化学会編）, 丸善株式会社, 査読無。
2. 鈴木光次, 濱健夫（2007）植物プランクトン。第 5 版 実験化学講座（日本化学会編）, 319-323, 丸善株式会社。
3. 鈴木光次（2007）地球温暖化による海洋生態系の変化。地球温暖化の科学（北海道大学大学院環境科学院編）, 169-175, 北海道大学出版会。
4. 鈴木光次（2007）紫外線による海洋生態系への影響。オゾン層破壊の科学（北海道大学大学院環境科学院編）, 342-352,

北海道大学出版会。

5. 鈴木光次（2007）水中の放射伝達。オゾン層破壊の科学（北海道大学大学院環境科学院編）, 236-240, 北海道大学出版会。

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等
<http://geos.ees.hokudai.ac.jp/kojis>
<http://ps.lowtem.hokudai.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 光次 (SUZUKI KOJI)
北海道大学・大学院地球環境科学研究所・准教授
研究者番号：40283452

(2) 研究分担者

皆川 純 (MINAGAWA JUN)
北海道大学・低温科学研究所・准教授
研究者番号：80280725

(3) 連携研究者

()

研究者番号：