

平成22年4月1日現在

研究種目：基盤研究(A)
 研究期間：2006～2009
 課題番号：18201001
 研究課題名（和文） 縁辺海（ベーリング海、オホーツク海、日本海）の基礎生産を支える鉄の挙動とその起源
 研究課題名（英文） Iron behavior and sources regulating primary production in marginal seas (Bering Sea, Okhotsk Sea, Japan Sea).
 研究代表者
 久万 健志 (KUMA KENSHI)
 北海道大学・大学院水産科学研究院・教授
 研究者番号：30205158

研究成果の概要(和文):南東部ベーリング海海盆域及び陸棚斜面域について、海盆域表層では、栄養塩は豊富に存在しているが、大気からの鉄供給が少ないため基礎生産が低く抑えられている典型的な鉄欠乏型海域である。しかし、陸棚斜面域では長期間植物プランクトンブルームが維持されており、海盆域の栄養塩と陸棚底層の鉄の表層への供給があるためと考えられた。オホーツク海では千島列島海峡における潮汐混合による鉄及び栄養塩の北西部北太平洋へ供給が明らかになり、親潮域での高い基礎生産を支える大きな役割を果たしている。また日本海表層では栄養塩濃度が低く大気からの鉄供給量が多いため、表層における鉄濃度が高い栄養塩欠乏型海域であることが明らかになった。

研究成果の概要(英文): Surface mixed layer of the basin region in the Bering Sea is under a typical iron-deficient and nutrient-rich condition with low primary production because of low atmospheric iron input. However, phytoplankton bloom (Green Belt) is observed at the shelf break region of the Southeastern Bering Sea for a long period in summer. It is suggested that the Green Belt is maintained by the supply of nutrient-rich basin water and iron-rich shelf deep water to the surface water of the shelf break. The tidal mixing in the straits of the Kuril Islands is an important role on supplying nutrient and iron to the surface water of the northwestern North Pacific Ocean and maintaining the high primary production in the Oyashio region. On the contrary, the surface mixed layer in the Japan Sea is characterized by low nutrient and high iron concentrations, resulting from high atmospheric iron input to nutrient-depleted surface water of the Japan Sea close to the Asian continent.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	13,700,000	4,110,000	17,810,000
2007年度	11,600,000	3,480,000	15,080,000
2008年度	7,300,000	2,190,000	9,490,000
2009年度	6,100,000	1,830,000	7,930,000
年度			
総計	38,700,000	11,610,000	50,310,000

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：化学海洋、微量金属、鉄、栄養塩、基礎生産、縁辺海

1. 研究開始当初の背景

海洋における鉄と基礎生物生産との関連性についての研究は、主に北太平洋亜寒帯域、太平洋赤道海域、南極海、カルフォルニア沿岸の湧昇域等に限られており、高い基礎生物生産を示す亜寒帯縁辺海域（ベーリング海盆、大陸棚及び陸棚斜面域、オホーツク海陸棚周辺）での鉄と植物プランクトンブルームの発生メカニズムについて、また鉄並びに溶存有機錯体鉄を形成する有機リガンドの起源及び詳細な鉄分布についての研究がほとんどなされていないため、全く明らかになっていないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、高い生物生産縁辺海海域であるベーリング海及びオホーツク海について、鉄の挙動と基礎生物生産との関連性、鉄及び溶存有機錯体鉄を形成する有機リガンドの起源、並びに植物プランクトンブルームの発生メカニズムを、低生物生産縁辺海海域であると考えられる日本海及び高生物生産海域である北太平洋高緯度域と比較検討し、地球規模で起っている基礎生物生産過程を明らかにすることである。

3. 研究の方法

(1)調査海域は、低生物生産縁辺海である日本海、及び高生物生産縁辺海であるベーリング海とオホーツク海を中心に、縁辺海と比較するため北太平洋高緯度域である。
(2)化学及び生物成分分析として、溶存鉄、全可溶性鉄、栄養塩、溶存酸素、クロロフィル a 濃度、3 価鉄と溶存有機錯体鉄を形成する有機配位子としてのフミンタイプ蛍光強度を表層から鉛直的に測定した。
(3)物理環境分析として、水温及び塩分濃度の鉛直及び 3 次元分布を CTD 及び XCTD・XBT で測定し、それぞれの海域の物理環境を調べた。また衛星画像（クロロフィル a、海面温度データ）解析から現場海域の生物・物理環境を調べた。
(4)表層混合層海水を採取し、鉄、栄養塩、及び DFB(海水中に存在する生物利用可能な鉄をマスキングする有機配位子)添加船上培養実験を行ない、鉄豊富な栄養塩欠乏型低クロロフィル海域または栄養塩豊富な鉄欠乏型クロロフィル{High nutrient low chlorophyll (HNLC)}海域であるかを検証した。

4. 研究成果

(1)南東部ベーリング海海盆域及び陸棚斜面域：海盆域表層では、栄養塩は豊富に存在しているが、基礎生産が低く抑えられている典型的な鉄欠乏型海域であり、大気からの鉄供給が非常に少ない。しかし、陸棚斜面域では長期間植物プランクトンブルームが維持されており、海盆域表層の栄養塩と陸棚底層の鉄の表層への供給があることが明らかになった。またベーリング海峡を含む東部ベーリング海大陸棚域での鉄は高濃度存在しており、堆積物由来である。このことは、この海域での基礎生産は栄養塩により支配されていることが明らかになった。
(2)オホーツク海：アムール川、東部サハリン大陸棚からの鉄供給及び千島列島海峡における潮汐混合による鉄及び栄養塩の北西部北太平洋へ供給が明らかになり、親潮域での高い基礎生産を支える大きな役割を果たしていることが明らかになった。
(3)日本海：大気からの鉄供給量が多いため、表層における鉄濃度が高い栄養塩欠乏型海域であることが、明らかになった。日本海表層の全鉄濃度の積算値は西部北太平洋及び中央部北太平洋中緯度域に比べ、それぞれ約 2-3 倍、6-7 倍程度高いことも明らかとなった。また日本海盆深層での全鉄濃度は、中層での濃度に比べ低く、冬季の冷却により全鉄濃度の低い表層水の潜り込みと深層での循環を示していると考えられた。
(4)北太平洋：北太平洋の鉄に関する東西比較を行ない、東西では鉄の供給源及び供給量が大きく異なることが明らかになり、東西での基礎生産の違いとして現れていると推定される。北西部北太平洋では、オホーツク海及び大気からの鉄供給量が高いが、北東部北太平洋への鉄供給は、大気からが主であり、その供給量も少ないことが明らかとなった。このことが、3 価鉄の溶解度レベルと鉛直分布は東西ともほぼ同じであるが、西部での溶存鉄濃度は溶解度より 1.5 倍程度高く、また全鉄濃度は溶存鉄濃度より 1.5~2 倍程度高い。しかしながら、東部での溶存鉄濃度は、溶解度とほぼ同じ程度であり溶解平衡状態にある。また全鉄濃度と同程度であり、粒状鉄濃度が極端に少なく、スキャベージングにより除去されている。3 価鉄の溶解度は海洋における溶存フミン物質によって決定され、溶存鉄濃度を支配する重要な要因である。

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 15 件)

- (1) Nakayama, Y., K. Kuma, S. Fujita, K. Sugie and T. Ikeda. Temporal variability and bioavailability of iron and other nutrients during spring phytoplankton bloom in the Oyashio region. *Deep-Sea Res. Part II*, in press (2010). 査読有
- (2) Sugie, K., K. Kuma, S. Fujita, Y. Nakayama and T. Ikeda. Estimation of nutrient dynamics during winter and spring in the Oyashio region of the western subarctic Pacific Ocean. *Deep-Sea Res. Part II*, in press (2010). 査読有
- (3) Sugie, K., K. Kuma, S. Fujita and T. Ikeda. Increase in Si:N drawdown ratio due to resting spore formation by spring bloom-forming diatoms under Fe- and N-limited conditions in the Oyashio region. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 382, 108–116 (2010). 査読有
- (4) Kitayama, S., K. Kuma, E. Manabe and others (8). Controls on iron distributions in the deep water column of the North Pacific Ocean: Iron (III) hydroxide solubility and humic-type dissolved organic matter. *J. Geophys. Res.*, 114, C08019, doi:10.1029/2008JC004754 (2009). 査読有
- (5) Takata, H., K. Kuma, Y. Isoda and others (6). Iron in the Japan Sea and its implications for the physical processes in deep water. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L02606, doi:10.1029/2007GL031794 (2008). 査読有
- (6) Saitoh, Y., K. Kuma, Y. Isoda, H. Kuroda, H. Matsuura, T. Wagawa, H. Takata, N. Kobayashi, S. Nagao and T. Nakatsuka. Processes influencing iron distributions in the coastal waters of the Tsugaru Strait, Japan. *J. Oceanogr.*, 64, 815–830 (2008). 査読有
- (7) Sugie, K. and K. Kuma. Resting spore formation in the marine diatom *Thalassiosira nordenskiöldii* under iron- and nitrogen-limited conditions. *J. Plankton Res.*, 30, 1245–1255 (2008). 査読有
- (8) Ushizaka, S., K. Sugie, M. Yamada, M. Kasahara and K. Kuma. Significance of Mn and Fe for the growth of a coastal marine diatom, *Thalassiosira weissflogii*. *Fish. Sci.*, 74, 1137–1145 (2008). 査読有
- (9) 中嶋與文、磯田豊、松浦宏美、和川拓、

相木智一、矢部いつか、高田兵衛、久万健志、小林直人、矢幅寛。津軽海峡に流入する対馬暖流水。海と空、84 巻、1 号:1–16 (2008)。査読有

(10) 久万健志、松村由起子、千木良充、齋藤誠一。南東部ベーリング海陸棚斜面域における夏季植物プランクトンブルームを支える鉄と栄養塩。月刊海洋 号外 No.50, 138–143 (2008)。査読無

(11) Nishioka, J., T. Ono, H. Saitoh, T. Nakatsuka, S. Takeda, T. Yoshimura, K. Suzuki, K. Kuma, S. Nakabayashi, D. Tsumune, H. Mitsudera, K. W. Johnson and A. Tsuda. 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 (2007)。査読有

(12) 松浦宏美、磯田豊、黒田寛、久万健志、齋藤雪美、小林直人、相木智一、和川拓、矢部いつか、干場康博。津軽海峡通過流の水塊変質過程。海と空、83 巻、1 号:21–35 (2007)。査読有

(13) Takata, H., K. Kuma, Y. Saitoh, M. Chigira, S. Saitoh, Y. Isoda, S. Takagi, and K. Sakaoka. Comparing the vertical distribution of iron in the eastern and western subarctic North Pacific Ocean. *Geophys. Res. Lett.*, 33: L02613, doi:10.1029/2005GL024538 (2006)。査読有

[学会発表] (計 22 件)

- (1) 石川聡子、久万健志、西村将太郎、磯田豊、高木省吾、亀井佳彦、坂岡桂一郎、西部北太平洋および南部ベーリング海海盆域における鉄の挙動。日本海洋学会春季大会、2009年4月6日、東京大学本郷キャンパス (東京)
- (2) 西村将太郎、久万健志、松村由起子、石川聡子、齋藤誠一、ベーリング海峡における鉄・栄養塩と植物プランクトンブルーム。日本海洋学会春季大会、2009年4月6日、東京大学本郷キャンパス (東京)
- (3) 中山雄太、藤田聡志、杉江恒二、久万健志、親潮域春季ブルーム期における鉄と栄養塩の短期変動。日本海洋学会春季大会、2009年4月6日、東京大学本郷キャンパス (東京)
- (4) 杉江恒二、久万健志、池田勉、沿岸性珪藻の細胞内貯蔵鉄による増殖。日本海洋学会春季大会、2009年4月6日、東京大学本郷キャンパス (東京)
- (5) Kuma, K., K. Sugie, S. Fujita and Y. Nakayama. Temporal variability and bioavailability of iron and nutrient during spring phytoplankton bloom in

the Oyashio region. PICES Seventeenth Annual Meeting, BIO Workshop, October 26, 2008, Dalian, China.

- (6) Nishioka, J., T. Nakatsuka, K. Kuma, Y. W. Watanabe, T. Ono and K. I. Ohshima. The importance of sea-ice formation in the Sea of Okhotsk for supplying iron to the western subarctic Pacific. PICES Seventeenth Annual Meeting, MONITOR/ESSAS Workshop, October 24, 2008, Dalian, China.
- (7) 久万健志、松村由起子、千木良充、東部ベーリング海大陸棚斜面域における植物プランクトンブルームと鉄の挙動。 東京大学海洋研究所共同利用研究集会「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22-23日、東京大学海洋研究所(東京)
- (8) 久万健志、藤田聡志、杉江恒二、中山雄太、親潮域春季ブルーム期における栄養塩と鉄の挙動-シンポジウム「高頻度連続観測による親潮生態系の動態解明」、 日本海洋学会、2008年3月30日、東京海洋大学(東京)
- (9) 松村由起子、久万健志、他(6)、東部ベーリング海大陸棚斜面域における鉄の挙動と植物プランクトンブルーム。 日本海洋学会春季大会、2008年3月29日、東京海洋大学(東京)
- (10) 西岡純、久万健志、真鍋絵理、渡辺豊、小野数也、中塚武、西部オホーツク海における鉄の供給と移送。 日本海洋学会春季大会、2008年3月27日、東京海洋大学(東京)
- (11) 杉江恒二、芳村毅、西岡純、久万健志、中塚武、アムール河口から親潮域にかけての鉄の生物学的利用性。 日本海洋学会春季大会、2008年3月27日、東京海洋大学(東京)
- (12) 北山紗織、久万健志、高田兵衛、真鍋絵理、齋藤誠一、磯田豊、他(8)、北太平洋における鉄の東西比較。 日本海洋学会春季大会、2007年3月23日、東京海洋大学(東京)
- (13) 高田兵衛、久万健志、磯田豊、西岡純、他(8)、日本海大和海盆及び日本海盆における鉄の挙動。 日本海洋学会秋季大会、2006年9月27日、名古屋大学(名古屋)

[その他]

- (1) 久万健志、海洋における鉄の化学とその挙動、環オホーツクセミナー、 2009年12月22日、北海道大学低温科学研究所(札幌)。

- (2) 久万健志、化学の眼で見る肥沃な海-平成21年度(第23回)北海道大学水産学部公開講座、「世界に広がる日本の水産」-平成21年度北海道大学水産学部公開講座テキスト、 p. 9-13 (2009), 2009年11月7日(函館)。
- (3) Nishioka, J., T. Nakatsuka, K. Kuma, Y. Volkov and A. Scherbinin, Importance of tidal mixing process at Kuril strait for iron supply to western subarctic Pacific, Oyashio region. Report on Amur-Okhotsk Project No. 5, p. 11-19, September, 2008, Research Institute for Humanity and Nature.
- (4) 久万健志、海洋植物プランクトン増殖と微量金属元素。 話題、ぶんせき、4、p. 202-203 (2007)。
- (5) 久万健志、海洋における藻類増殖と金属-平成18年度北海道大学公開講座、「くらしを守る-安全と安心の科学」-平成18年度北海道大学公開講座予稿集、 p. 15-20 (2006), 2006年7月10日(札幌)。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久万 健志 (KUMA KENSHI)

北海道大学・大学院水産科学研究院・教授
研究者番号：30205158

(2) 研究分担者

齋藤 誠一 (SAITOH SEIICHI)

北海道大学・大学院水産科学研究院・教授
研究者番号：70250503

磯田 豊 (ISODA YUTAKA)

北海道大学・大学院水産科学研究院・准教授
研究者番号：10193393

長尾 誠也 (NAGAO SEIYA)

金沢大学・環日本海域環境研究センター・教授
研究者番号：20343014

中塚 武 (NAKATSUKA TAKESHI)

名古屋大学・大学院環境学研究科・教授
研究者番号：60242880

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：40283452

渡辺 豊 (WATANABE YUTAKA)

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：90333640

西岡 純 (NISHIOKA JUN)

北海道大学・低温科学研究所・准教授
研究者番号：90371533