HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	海氷がオホーツク海の鉄供給及び植物プランクトンの増殖に果たす役割の解明［全文の要約］
Author(s)	漢那, 直也
Description	この博士論文全文の閲覧方法については、以下のサイトをご参照ください。 https://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第11986号
Issue Date	2015-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/60097
Type	doctoral thesis
File Information	Naoya_Kanna_summary.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士（環境科学）　　氏 名　漢 那 直 也

学 位 論 文 題 名

海氷がオホーツク海の鉄供給及び植物プランクトンの増殖に果たす役割の解明
（Iron supply processes associated with sea ice and their roles in stimulating phytoplankton growth in the Sea of Okhotsk）

北太平洋亜寒帯域は、微量栄養物質である鉄（Fe）の不足によって植物プランクトンの増殖が制限されており、夏季でも表層の栄養塩が残存しているHNLC（High Nutrients Low Chlorophyll）海域である。一方、北太平洋の縁辺海であるオホーツク海は、海氷が後退した直後に植物プランクトンの大増殖（春季ブルーム）が起こり、表層の栄養塩は夏季には枯渇する。このことから、オホーツク海では植物プランクトンの消費によって夏季に栄養塩が枯渇するほど表層へFeが供給されていると考えられる。近年、極域、亜極域において海氷が高濃度のFeを有していることが明らかとなり、海洋へのFeの供給源として海氷が注目されるようになった。季節海氷域であるオホーツク海では、表層へのFeの供給源としてこれまでアムール川や大気ダスト等が考えられていたが、海氷についてはほとんど議論されてこなかった。冬季には、鉱物粒子や有機物が海氷によって北部から南部へと運搬されることが実際に観測されているため、これらの粒子に由来するFeもまた沿岸域から海盆域へと輸送されている可能性がある。本研究では、海氷からの物質供給過程に着目し、海氷の融解がオホーツク海表層へのFeの供給過程として機能しているかを調べ、植物プランクトンの増殖に与える影響を評価した。

まず海氷中のFeを汚染なく分析するために、独自のクリーン技術を確立した。海氷サンプルの保存容器、分析器具の酸洗浄から始まり、サンプル採取から分析に至るまでの一連の操作を模擬したブランクテスト、使用する道具から生じる汚染の影響評価、サンプルの汚染を取り除くための氷のクリーニング操作の検討を行った。これらの予備検討を行うことによって、海氷中のFeを汚染なく分析することが可能となった。

確立したクリーン技術を海氷域のFeの研究に適用し、海氷と海氷上の雪、スラッシュ、海氷下海水中のFe濃度分布をオホーツク海で初めて明らかにした。南部オホーツク海の海氷及び雪中の全Fe濃度は、海氷下の海水に比べて数オーダー高く、海氷はオホーツク海表層へのFeの供給源となることがわかった。本研究で得た海氷及び雪中の全Fe濃度データ：740 ± 199 nM（mean ± 95% confidence level）と、南部海域で報告されている淡水輸送量から、海氷によって北部から南部へ輸送されるFeの総量を~1.2−3.0×10^7 kg、海氷から表層へ供給される全Feフラックスを~740 μmol m^{-2} yr^{-1}と見積もった。本研究で求め

た海氷からの全Feフラックスは、これまで西部北太平洋で報告された大気ダストからの全Feフラックス（267－929 μmol m^{-2} yr^{-1}）に匹敵するものであり、海氷は融解期の短期間で、ダストの年間供給量に値するFe量を表層へ供給することがわかった。

冬季の海氷融解によって、実際にオホーツク海表層のFe濃度がどれだけ高められるかを検証するため、海氷到来前（11月）及び到来期（2月）に海洋観測を実施した。11月から2月までに混合層内の塩分が低下し、低塩分化した混合層内でFe濃度が増加する様相を捉えた。11月から2月までに、全Fe及び溶存Fe（< 0.2 μm）濃度はそれぞれ~56 nM、~2.4 nM増加した。また、2月に現場で採取した海氷と海水の全アルカリ度の解析結果から、観測海域へ流入した低塩分水の起源として、アムール川に比べて海氷融解水の寄与が大きかったことがわかった。従って、海氷からのFe供給が実際にオホーツク海表層のFe濃度を高めたことを現場の海洋観測から実証した。また2月と11月の海水中のFe濃度分布を比較することで、海氷によって高められた全Feのインベントリーを7407 μmol m^{-2}と見積もった。

次に、海氷中に存在するFeの9割以上は粒子態の画分であったことに着目し、海氷に含まれる粒子態のFe（PFe）の生物利用性（bioavailability）を評価するためにボトル培養実験を行った。海氷の添加に対する植物プランクトンの増殖応答を調べた結果、海氷から試水へ供給されたFeは高いbioavailabilityを有しており、特にFe要求量の大きい10 μm以上の大型植物プランクトンの増殖を促進したことがわかった。また、試水中で増殖した大型植物プランクトンは、海氷から供給されたPFeを何らかのプロセスを経て利用したことがわかった。

さらに、海氷に含まれる粒子から海水中へ溶出可能なFeの画分を見積もった。48時間のFe溶出実験で、海氷中の粒子から溶出可能なFeの画分の割合は、1.0~7.6 %であった。これは、例えば北太平洋で報告された大気由来Feの溶解量1.2~13.1%と比較して同程度の範囲内にあった。海氷に含まれるPFeは、海水中でその存在状態を変化させることで、植物プランクトンのFe利用に影響を与えていると考えられた。

オホーツク海実海域の表層海水を用いて、現場の植物プランクトンのFeに対する生理状態を、船上ボトル培養実験によって調べた。培養実験の結果、試水内の植物プランクトンは増殖応答を示し、培養最終日には試水中に存在した硝酸塩をほとんど消費した。また培養最終日にはFe要求量の大きい大型植物プランクトンが優占した。試水内で増殖した大型植物プランクトンは、生理的にFeが不足した状態ではなく、実験に使用した実海域の表層海水中には、bioavailabilityの高いFeが存在していたことがわかった。

本研究の結果から、海氷の輸送及び融解過程は、オホーツク海表層へのFe供給過程として機能していたことが明らかとなった。融解後に海氷から放出されるFeは、植物プランクトンの増殖に寄与する可能性を示した。またオホーツク海だけでなく、極域・亜極域の季節海氷域においても同様に、海氷の融解は表層への主要なFeの供給源になっている可能性がある。極域・亜極域の海氷域面積の経年変動また長期的変動は、海洋表層へのFe供給量を変化させ、これらの海域で起こるFeが制御する生物地球化学諸過程に大きな影響を及ぼしている可能性がある。本研究成果は、従来知られていた海洋表層へのFe供給メカニズムに、海氷の輸送・融解過程がその一つとして機能していることを新たに示すものである。