

学 位 論 文 題 名

Integration of Remote Sensing and Geographical
Information System (GIS) for Monitoring the Marine
Environment of Scallop Farming Area in the Okhotsk Sea

(衛星リモートセンシングと地理情報システム (GIS) のオホーツク海に
おけるホタテガイ増殖海域の環境モニタリングへの統合的利用)

学位論文内容の要旨

【序 論】

オホーツク海の北海道沿岸域は、経済的にも、生態学的にも重要なホタテガイ *Mizuhopecten yessoensis*(Jay)の増殖海域である。オホーツク海を生産性豊かな海にしている要因として、春季の海氷の後退過程、夏季の宗谷暖流(SWC)の移流、秋季の冷水性の栄養塩豊かな東サハリン海流(ESC)の貫入などが考えられる。この海域の水塊の変動や表層の流れが、この海域の生産性をどのように制御していることかを、衛星リモートセンシングや地理情報システム (GIS) を利用して評価することができる。特に、オホーツク海における生産性の時空間変動を理解することは、二枚貝の餌料環境の変動を明らかにする上で不可欠である。二枚貝に利用可能な餌料の変動は、成長に影響を与える基本的な環境要因である。本研究の目的は、衛星リモートセンシングと GIS を統合的に利用して、ホタテガイ増殖海域における、1) 海氷の経年変化とその春季ブルーム発生のタイミングとの関連を明らかにすること、2) 水塊の特性の季節変動と経年変化を明らかにすること、そして、3) 基礎生産、クロロフィル a 濃度(Chl-a)、海面温度(SST)の季節変動と経年変化を明らかにすることである。

【使用データと解析方法】

ホタテガイ増殖海域における海洋環境の季節変動と経年変化を理解するために、1998年から2004年まで7年間について、衛星情報とGISを統合的に利用した。海氷の滞在日数や海氷分布域を解析するために、日平均と週平均のDMSP SSM/Iデータを用いた。春季ブルームの経年変化を解析するため週平均および月平均 SeaWiFS Chl-a 画像を用いた。基礎生産量

は、深度方向積算 (VGPM) モデルを用いて、AVHRR SST 画像、SeaWiFS Chl-a 画像、光合成有効放射量 (PAR) データを使用して推定した。Chl-a、SST、および SST 勾配を用いて、Hierarchical Ascending Classification 手法により、水塊を分類した。風の応力は地上風データから計算した。海面データは、海面高度偏差を計算するために使用した。EOF 解析手法は、SST と Chl-a の時空間変動を理解するために用いた。

【結果と考察】

1. 海氷の経年変動と春季ブルームの発生

海氷の生成は、早ければ 1 月に始まって、海氷は沿岸域に 4 月まで残ることがあった。沿岸域における海氷滞在日数が相対的に長かった年は、1999、2001 年、および 2003 年 (4 月前半までの氷の存在) であり、短かった年は、1998、2000、2002 年、および 2004 年 (3 月前半までの氷が存在) であった。より長い海氷滞在日数量の場合、海氷融解時の塩分成層内で発生する ice-edge bloom を発達させ、より短い海氷滞在日数量の場合、日射量増加に起因した温度の成層内で発生する open-water bloom が発生した。ホタテガイ増殖海域の植物プランクトンブルームの発生と強度の変動は、海氷後退のタイミングと風の強弱の影響に起因していた。存在しているいくつかのホタテガイ増殖海域では、より高い Chl-a を伴う ice-edge bloom が発達し、そして、より低い Chl-a を伴う open-water bloom が海氷後退後に 1 回発生した。その間、いくつかのホタテガイ増殖海域では、ice-edge bloom が二次的な open-water bloom に先行して発達していた。二次的なブルームと比べて、最初のブルームは Chl-a が低い場合もあった。しかしながら、これらのブルーム発生過程の比較から、海氷が早期に後退する時と比べて、海氷後退が遅れる時の方が、初期の植物プランクトンバイオマスが、より大きかった。

2. 水塊の季節変動・経年変化

Chl-a、SST、および SST 勾配を用いた水塊の分類結果は、オホーツク海における、水塊の季節変動と経年変化を示した。水塊分類結果は、この海域における、重要な海洋循環について説明することができた。SWC の移流や ESC の貫入の変動の結果として、季節変動から経年変化へと影響を与えていることが明らかになった。これらの変化はホタテガイ増殖海域における基礎生産の経年変化をもたらしている。夏季のオホーツク海における SWC の収束・混合過程は、その前線域において高い基礎生産力に寄与している。日本海とオホーツク海との海面高低差によって影響を及ぼされる SWC の流れは、結果的にその不安定性が前線域を発達させている。よ

く発達した前線域は、ホタテガイ増殖海域に基礎生産量の蓄積に寄与する。夏季後半に発達した、比較的小さな前線域では、相対的に低い基礎生産量をもたらした。また、秋季にアムール川起源の溶存鉄を含んだ水塊を輸送する ESC の強い南向きの貫入は、オホーツク海北海道沿岸域の基礎生産増加の一因となっている。年間を通した基礎生産量に、最も寄与しているのは SWC に起因する前線域における夏季ブルームの生産量がその 50 パーセント以上を常に占めており、春季ブルームも 30-40 パーセントを占めるものの、その重要度は夏季ブルームが最も貢献していることが示唆された。

3. 基礎生産、クロロフィル a、および SST の季節変動・経年変化

主要な基礎生産の経年変化は、海氷後退、SWC の移流、ESC の貫入などの物理過程が大きく寄与していることが明らかになった。Chl-a 変動に関連したホタテガイ増殖海域における基礎生産量の時空間変動は、Chl-a および SST の月平均画像の EOF(主成分)解析の結果からも支持された。Chl-a の第 2 主成分(寄与率 14.2%)は、SWC 前線域における Chl-a の強化を示し、SST の第 2 主成分(寄与率 1.8%)が示す春季後半からの沿岸域の沿った SWC の冷水移流と一致する。Chl-a の第 3 主成分(寄与率 9.0%)および SST の第 3 主成分(寄与率 1.5%)は、秋季後半の Chl-a の増加と冷たい ESC の出現を示していた。

【おわりに】

結論として、春季ブルーム後にホタテガイ増殖海域での高い基礎生産をささえているのは、夏季に発達した SWC の前線域および秋季の ESC の貫入である。その大半は SWC の前線域の発達が担っている。1 つの物理過程が仮に弱くなっても、ホタテガイ増殖海域では他の物理過程があり、全体の基礎生産を維持している。これらの物理過程の基礎生産への寄与効果を明確にすることは、ホタテガイ増殖海域において、地球温暖化などの将来の気候変動の影響の理解や合理的なホタテガイ増殖事業管理計画の提案のために重要である。

学位論文審査の要旨

主査	教授	齊藤	誠一
副査	教授	五嶋	聖治
副査	教授	池田	勉
副査	准教授	平	譯享

学位論文題名

Integration of Remote Sensing and Geographical Information System (GIS) for Monitoring the Marine Environment of Scallop Farming Area in the Okhotsk Sea

(衛星リモートセンシングと地理情報システム (GIS) のオホーツク海におけるホタテガイ増殖海域の環境モニタリングへの統合的利用)

近年、エルニーニョなど地球規模の環境変化が沿岸域へどのような影響をあたえているか、グローバルな視点で解明する国際的なプロジェクト LOICZ(Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone)が実施されている。沿岸域は、陸域・海域の境界領域として、また陸圏・水圏・大気圏におけるいろいろな変動の相互作用の場として重要な役割を果たしていることが認識されるようになってきた。この沿岸域における環境評価や持続的な資源利用が人類の生存にとって重要な課題である。

本研究の対象としたオホーツク海沿岸域は北海道北東部に位置し、季節海氷が接岸する沿岸域として中緯度で最も南に位置する。この北海道沿岸域は、経済的にも、生態学的にも重要なホタテガイ *Mizuhopecten yessoensis* (Jay)の増殖海域である。オホーツク海を生産性豊かな海にしている要因として、春季の海氷の後退過程、夏季の宗谷暖流(SWC)の移流、秋季の冷水性の栄養塩豊かな東サハリン海流(ESC)の貫入などが考えられる。この海域の水塊の変動や表層の流れが、この海域の生産性をどのように制御していることを、衛星リモートセンシングや地理情報システム (GIS) を利用して評価することができる。特に、オホーツク海における生産性の時空間変動を理解することは、二枚貝の餌料環境の変動を明らかにする上で不可欠である。二枚貝に利用可能な餌料の変動は、成長に影響を与える基本的な環境要因である。

近年、リモートセンシングを用いた海洋環境観測技術が進歩し、それらを応用して沿岸域の流動場、物質循環、生産性、健康度をモニタリングすることに関心が高まってきた。本沿岸域において、これまでの観測は断続的、もしくは定点だけによるためそれぞれの現象の物理過程やその生物生産への影響についてすべては明らかにされていない。

本研究は、衛星リモートセンシングとGISを統合的に利用して、ホタテガイ増殖海域における、1) 海氷の経年変化とその春季ブルーム発生のタイミングとの関連を明らかに

すること、2) 水塊の特性の季節変動と経年変化を明らかにすること、そして、3) 基礎生産、クロロフィル a 濃度(Chl-a)、海面温度(SST)の季節変動と経年変化を明らかにすることを目的にしたものである。

特に審査員一同が評価した点は以下の通りである。

1. ホタテガイ増殖海域における海洋環境モニタリングへのマルチセンサーリモートセンシングの有効性を示した。特に、Hierarchical Ascending Classification 手法により、水塊を分類したり、EOF 解析手法により、SST と Chl-a の時空間変動を定量的に解析した。
2. 海氷後退時期に、ブルーム発生過程の比較から、海氷が早期に後退する時と比べて、海氷後退が遅れる時の方が、初期の植物プランクトンバイオマスが、より大きくなることを明らかにした。
3. 主要な基礎生産の経年変化には、海氷後退、宗谷暖流の前線域形成、東サハリン海流の貫入などの物理過程が大きく寄与していることを明らかにした。
4. 年間を通した基礎生産量に、海氷後退時期における春季ブルームも 30-40 パーセント寄与しているものの、最も寄与しているのは宗谷暖流に起因する前線域における夏季ブルームの生産量がその 50 パーセント以上を常に占めていることを明らかにした。

以上の諸点は、オホーツク海ホタテガイ増殖海域における基礎生産過程に関する重要な知見を得たものと認め、審査員一同は、申請者が博士（水産科学）の学位を授与される資格のあるものと判定した。