

学 位 論 文 題 名

HF 海洋レーダと NOAA/AVHRR による

噴火湾内表層流の観測

－沿岸親潮流入期における物理過程と
そのホタテガイ幼生分布解析への応用－

学位論文内容の要旨

【はじめに】

冬季噴火湾において沿岸親潮が表層から流入してくることが知られている。沿岸親潮は噴火湾内の植物プランクトンブルームに影響を与えている。これまで船舶観測により沿岸親潮は密度流として流入すると考えられていた。しかし数値モデルにより湾内の流速場は風によって誘起される渦対が支配的であることが示唆されている。湾内の流速場と沿岸親潮の流入または流入後の分布・輸送過程との関係は明らかになっていない。その理由として流入の発生を予測することが困難であるため、船舶観測では流入や流入後の移流過程を捉えることができなかったからである。そこで本研究では湾内表層流の空間構造を長期間連続して観測することができる陸上設置型リモートセンシングセンサである HF 海洋レーダをもちいて観測をおこない、湾内表層流において支配的な流速成分を明らかにすること、観測された表層流と衛星リモートセンシングデータである NOAA/AVHRR 熱赤外画像とを組み合わせる解析をおこない沿岸親潮の分布・輸送と湾内表層流との関係を明らかにすることを目的とする。

HF 海洋レーダの水産生物資源管理への応用例として、近年大きな問題となっているホタテガイ幼生の採苗不良を取り上げる。HF 海洋レーダにより観測された表層流をもちいてホタテガイ幼生の輸送実験をおこない、不良要因の一つと考えられている幼生の湾外または採苗場所以外への移流により採苗不良が発生するのかどうかを明らかにすることを目的とする。

【使用データ】

①HF 海洋レーダ

HF 海洋レーダは陸上設置型の表層流観測装置である。観測諸性能はレンジ解像度 1.5km、2 時間で 40×40km の海域を観測することができる。本研究では 1999 年 12 月 24 日から 2000 年 5 月 27 日にかけて噴火湾内の豊浦と八雲に設置し表層流の観測を行った。観測された表層流から 3×3km 格子データセットを作成し解析にもちいた。

②NOAA/AVHRR

HF 海洋レーダ観測期間内において NOAA 衛星 AVHRR センサ 4 channel(10.3-11.3 μ m)により観測された熱赤外面像データをもちいた。

③風向風速データ

室蘭の AMeDAS によって観測された 1 時間毎の風向風速データをもちいた。

④ホタテガイ幼生分布データ

ホタテガイ幼生の輸送実験の検証データとして 5 月 15 日から 5 月 17 日にかけて噴火湾内各漁協がおこなったホタテガイ種苗調査データから幼生分布データをもちいた。ホタテガイ幼生は海底からの鉛直曳きネットにより採集された。

【解析方法】

①湾内表層流に含まれる各流速成分の評価

潮流成分、慣性振動流、北西風によって誘起される渦対などの吹送流を分離するために次の解析処理をおこなった。4 大分潮流(K1,M2,O1,S2)を分離するために調和解析、慣性振動成分を分離するためにバンドパスフィルタ処理、吹送流成分をそれぞれ分離するために EOF 解析をおこなった。なお、潮流・慣性振動などの短周期成分を除去するために 24 時間タイド・キラー・フィルタ処理をおこなった後、EOF 解析をおこなった。

②沿岸親潮の流入と流入後の移流過程

噴火湾内に流入する沿岸親潮の分布・移動を連続的に判読することのできる熱赤外面像の選別をおこなった。3 月 2 日から 3 月 4 日にかけて観測された熱赤外面像によって沿岸親潮の湾内への流入、流入後の湾内での分布を連続的に判読することが可能であった。そこで該当期間内の熱赤外面像に HF 海洋レーダで観測された表層流ベクトルを重ね合わせた合成画像を作成し、沿岸親潮の分布・移動と表層流との関係を解析した。

③ホタテガイ幼生分布解析

ホタテガイ幼生が湾内表層流によりどの様に輸送されているのかを検証するために HF 海洋レーダにより観測された表層流をもちいて幼生の輸送実験をおこなった。実験期間は 4 月 1 日から 5 月 10 日までとし、4 月 1

日から5月1日にかけて1日1回幼生に模したモデル粒子を湾内沿岸より投入し、オイラー・ラグランジェ法をもちいてモデル粒子の追跡をおこなった。

【結果と考察】

①湾内表層流に含まれる各流速成分の評価

平均流は南西流が卓越しており、その平均流速は 6.71cm s^{-1} であった。主にエクマン吹送流を捉えていると考えられる。潮流は K1 分潮流と M2 分潮流が潮流の卓越成分であり、噴火湾内表層流における潮流の影響は約 3% である。しかし大潮時の強流時において潮流の影響は 25% に及び、大潮時の上げ潮、下げ潮時には潮流の影響が無視できない。慣性振動流は湾内表層流の 20-45% を占めており、胆振側で比率が小さく、渡島側で比率が大きくなる傾向があった。EOF 解析の結果、第 1 モードは風下に向かう吹送流、第 2 モードは反時計回りの循環流、第 3 モードはエクマン吹送流であると考えられる。数値モデルにより冬季噴火湾において支配的であると示唆した北西風によって誘起される渦対は第 4 モードで寄与率は 5.0% であり表層流において支配的ではなかった。

②沿岸親潮の流入と流入後の移流過程

沿岸親潮の分布と表層流ベクトルの空間構造とを解析することにより、沿岸親潮の噴火湾への流入を引き起こしている流速成分は大島・三宅 (1990) らが数値モデルで示した北西風により誘起される湾北側に時計回りの循環流、南側に反時計回りの循環流をもつ渦対であることが明らかになった。北西風が強く吹いている場合に渦対が誘起しており、湾口中央部に形成された北西流により湾口部外側に分布する沿岸親潮が渦対に取り込まれるように湾内に流入していた。流入した沿岸親潮水塊は渦対内において 2 つの循環流によりマッシュルーム型に分布していた。HF 海洋レーダが観測した表層流データは北西風が弱まると渦対が反時計回りに回転していることを明瞭に示した。この結果は北西風が弱まると渦対が地形性ロスビー波として湾内を反時計回りに回転するという数値モデルの結果を支持している。さらに、流入した沿岸親潮は渦対内においてマッシュルーム型の分布域を広げながら、渦対の回転とともに湾北側に輸送され分布することが明らかとなった。

③ホタテガイ幼生分布解析

ホタテガイ幼生輸送実験により、ホタテガイ幼生の約 85% が湾内に滞留し、渡島沿岸と湾奥沿岸に集積することが明らかとなった。この結果、ホタテガイ幼生の表層流による湾外への流出は採苗不良の主要因とはなり得ないと考えられる。実験結果と実測データとを比較した結果、相違点

は胆振沿岸に全く分布していないことと、湾奥において高濃度に分布することであった。胆振沖に分布しなかった理由は HF 海洋レーダで捉えた表層流ではエクマン吹送流の影響が大きいいため渡島沿岸に輸送されてしまうと考えられる。また湾奥で高濃度に分布した理由は本研究のモデル粒子では幼生の死亡・沈降を考慮していないため、輸送中に死んでしまう幼生が含まれているためと考えられる。より精度の高い輸送実験をおこなうためには、幼生の死亡率や沈降率を明らかにし実験条件に組み込む必要がある。

【おわりに】

本研究では、HF 海洋レーダにより観測された表層流ベクトルの空間構造と NOAA 熱赤外面像による水塊分布とを組み合わせることで解析することにより、沿岸親潮の噴火湾への流入と流入後の移流における物理過程を明らかにすることができた。この成果は空間構造を連続的に観測できる陸上設置型リモートセンシングと衛星リモートセンシングを組み合わせるマルチリモートセンシング手法をもちいた解析により得られた。沿岸域における海洋環境モニタリングにおいて陸上設置型リモートセンシングと衛星リモートセンシングを組み合わせるマルチリモートセンシングの有効性を示した。さらに水産生物への応用として HF 海洋レーダで観測された表層流をもちいたホタテガイ幼生輸送実験を行い、集積する海域を明らかにし、今後の水産海洋学的応用の方向性を示した。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	齊 藤 誠 一
副 査	教 授	三 浦 汀 介
副 査	教 授	飯 田 浩 二
副 査	教 授	三 宅 秀 男
副 査	助教授	米 田 國三郎
副 査	助教授	磯 田 豊

学 位 論 文 題 名

HF 海洋レーダと NOAA/AVHRR による 噴火湾内表層流の観測

－沿岸親潮流入期における物理過程と
そのホタテガイ幼生分布解析への応用－

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噴火湾は北海道南西部に位置し、西部亜寒帯循環を形成する親潮を起源とする沿岸親潮が流入する。噴火湾は、東京湾、伊勢湾、大阪湾などと同規模の半閉鎖系湾であるが、他の湾は暖流の黒潮の影響を受けているのに対して、唯一、寒流である親潮の影響を直接受けている。寒流である沿岸親潮が噴火湾周辺の沿岸域にどのような影響を与えているかを明らかにすることは西部亜寒帯循環流と沿岸域との相互作用を理解する上で重要である。

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。噴火湾において、これまでの観測は断続的、もしくは定点だけによるため親潮系水の湾内への流入条件、流入時の流動構造、流入後の湾内での流動構造など、その物理過程についてすべては明らかにされていない。

本研究は、これらの流動構造を解明するために、広く2次元的な流れや水塊配置を連続して捉えられるHF海洋レーダと衛星を同時に用いて、流動構造の総合的な解析をおこ

なった。さらに、HF海洋レーダにより観測された表層流をもちいてホタテガイ幼生の輸送実験をおこない、採苗不良発生への物理的要因を解析しその影響を考察したものである。

特に審査員一同が評価した点は以下の通りである。

1. 過去の数値モデルで示された北西風により湾北側に時計回りの循環流、南側に反時計回りの循環流をもつ渦対が誘起されることを海洋 HF レーダ観測で確認できた。さらに、その渦対に沿岸親潮が引き込まれていく過程をはじめて明らかにした。
2. 渦対は北西風が弱まると地形性ロスビー波として湾内を反時計回りに回転するという数値モデルの結果を、HF 海洋レーダを用いることによりはじめて確認できた。
3. ホタテガイ幼生輸送実験により、ホタテガイ幼生の約 85%が湾内に滞留し、渡島沿岸と湾奥沿岸に集積することを明らかにした。この結果、ホタテガイ幼生の表層流による湾外への流出は採苗不良の主要因とはなり得ないことを示唆した。
4. 沿岸域における海洋環境モニタリングにおける陸上設置型リモートセンシングと衛星リモートセンシングを組み合わせたマルチセンサーリモートセンシングの有効性を示した。

以上の諸点は、噴火湾内表層流の動態とそのホタテガイ幼生分布への影響に関する重要な知見を得たものと認め、さらに HF 海洋レーダデータを解析してその結果を輸送実験へ応用する新しい手法による水産科学研究であるとして高く評価できる。

よって審査員一同は、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。