

学 位 論 文 題 名

A Study on Ice-bands in the Antarctic Seasonal Ice Zone using MOS MESSR Images

(MOS MESSR 画像による南極季節海水域のアイスバンドに関する研究)

学位論文内容の要旨

南極海は、地球上で最大の季節海水域（冬季にのみ海水が出現し、夏季には消失する海域）であり、ここでの海水域の変動は地球の気候システム及びその変動にとって重要なコンポーネントをなす。従って、海水域の変動メカニズムの理解は気候変動の理解にも重要となる。南極海における季節海水は前進・後退速度が非対称であり、海水の後退速度は前進に比べて速い。この原因の一つとして融解期における海水・海洋アルベドフィードバック効果が考えられ、海水・海洋相互作用の重要性を示す良い例である。しかしながら、季節海水域での海水・海洋相互作用及びそれに伴う海水変動の理解は、海水諸現象の理解が不十分なため定量的なものに至っていない。

季節海水域の氷縁には、しばしばアイスバンド(Ice-Bands)と呼ばれる特徴的な海水野が形成される。アイスバンドとは、数m～100m程度の大きさの氷盤が集まって一つの帯状の集団を作り、それらがある間隔をもって規則的に連なった構造をしているものをいう。融解期においてアイスバンドが形成されると、氷盤を拡散させる。氷縁に形成されたアイスバンドは、風及び風波による応力を効果的に受け、氷盤のドリフトを増長させる（力学的効果）。また、アイスバンドを含む氷盤の沖への移動及び拡散は開水面を増やし、海水と海水との熱的相互作用を増加させ、海面を通しての日射の吸収による海水融解を促進させる（熱力学的効果）。このため、アイスバンドは氷縁の位置や変動を決める重要な現象である。これらのことから、アイスバンドの諸特性（分布範囲、バンドの方向、バンドスケール）を明らかにし、これらを決める要因及び形成メカニズムを解明することは、海水変動や海水・海洋相互作用の理解にとっても重要である。

アイスバンドの研究としては、ベーリング海を中心とする北極海周辺の季節海水域における観測報告がいくつかあり、その報告を受けていくつかの形成メカニズムが提案されている。しかしながら、南極海においては、その存在が報告されているものの、詳細な研究報告はほとんどない。本研究は、南極季節海水域におけるアイスバンドの諸特性を統計的手法によって定量的に明らかにし、その要因と形成メカニズムの理解をめざし、大気場、特に風との関係を明らかにすることを目的とする。解析では、南極エンダービーランド沖を対象に昭和基地で受信された1989～1993年の MOS(Marine Observation Satellite)・MESSR (Multispectral Electronic Self Scanning Radiometer) 画像データ（約60,000画像）を精査した。まず、海水研究に利用できる画像を約2,300（約3.8%）検出した。その中からアイスバンドの諸特性を計測できる155画像（全画像の約0.26%）を抽出することで、43日分（ケース）のデータセットが取得でき、詳細な解析が可能になった。解析では、南極季節海水域に形成されるアイスバンドの諸特性を定量的に示すとともに、その諸

特性を決める要因として有力と考えられる風との関係を解析した。また、これらの解析結果とこれまで提案されている形成メカニズムとの関係を考察し、今後の形成メカニズム解明に寄与すべき知見を示した。

まず、アイスバンドの形成範囲について解析した。北極周辺海域での報告では、アイスバンドの形成域は氷縁から氷野内部に向かってせいぜい150kmである。しかしながら、本研究の解析結果から、南極季節海氷域では、氷縁付近から氷野内部へ、場合によっては300km以上の範囲にまで及んで形成されていることが明らかになった。南極では海氷の分布や海流及び風の場合が周極的であることから、アイスバンドは南極海全周で見られ、なおかつどの季節においても出現すると考えられる。

次に、ECMWF(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)の再解析データを使って、アイスバンドの諸特性と風(地上風)との関係を解析した。なお、ECMWFの信頼性については砕氷船「しらせ」による航海中の観測データと比較することで検証した。その結果、アイスバンドの諸特性と風の間には高い相関が得られた。バンドスケール(バンドの幅及びバンド同士の間隔)には、アイスバンドが観測された日の過去4日間における風の履歴(平均風速、最大風速)が強く影響し、風速が大きい程バンドスケールが大きくなるという関係が得られた。アイスバンドの長軸方向も、これまでは風向に対してほぼ直角に形成されるという北極周辺海域での報告に対して、風向の右側70~90度(平均75度)に偏している結果となり、これも過去4日間における風の履歴(平均風向)が強く影響していた。

また、アイスバンド域内におけるバンドスケールの変化についても、本研究の解析から初めて明らかになった。氷野内部から氷縁へ吹き出す風の状況下では、バンドスケールは氷野内部から氷縁に向かって減少しており、定性的に考えられる氷縁に向かっての氷盤スケールの減少がその一因であることが示唆された。

さらに、バンドスケールは冬から夏にかけて減少していることが明らかになった。バンド幅については冬季2~3kmであったものが夏季には0.5~1kmに、バンド間隔については冬季4~6kmであったものが夏季には1~2kmになっていた。その原因は冬から夏に向かって生じる氷盤の融解に伴う氷盤スケールの減少と冬から夏にかけての風速の減少が関係していることが示唆された。

本研究の一連の解析結果は、アイスバンドの形成メカニズムとしては、開水面の間隔が大きいほどフェッチが増し風波が氷盤を押す力が増す作用によってアイスバンドが形成されるとする説(wave radiation theory)を支持するものである。本研究は、南極季節海氷域におけるアイスバンドの特徴と大気場との関係を、多数の衛星観測画像に基づいて、初めて定量的に記述した研究であり、アイスバンドの形成メカニズム解明にも新たな知見を示したものである。

学位論文審査の要旨

主査	教授	大島	慶一郎
副査	教授	池田	元美
副査	教授	江淵	直人
副査	助教	深町	康
副査	助教	豊田	威信
副査	教授	浮田	甚郎 (新潟大学理学部)

自然環境科学)

学位論文題名

A Study on Ice-bands in the Antarctic Seasonal Ice Zone using MOS MESSR Images

(MOS MESSR 画像による南極季節海氷域のアイスバンドに関する研究)

南極海は、地球上で最大の季節海氷域であり、ここでの海氷域の変動は地球の気候システム及びその変動にとって重要なコンポーネントをなす。従って、海氷域の変動メカニズムの理解は気候変動の理解にも重要となる。季節海氷域の氷縁には、しばしばアイスバンド(Ice-Bands)と呼ばれる特徴的な海氷野が形成される。アイスバンドとは、数m~100m程度の大きさの氷盤が集まって一つの帯状の集団を作り、それらがある間隔をもって規則的に連なった構造をしているものをいう。氷縁に形成されたアイスバンドは、風及び風波による応力を効果的に受け、氷盤のドリフトを増長させる(力学的効果)。また、アイスバンドを含む氷盤の沖への移動及び拡散は開水面を増やし、海水と海氷との熱的相互作用を増加させ、海面を通しての日射の吸収による海氷融解を促進させる(熱力学的効果)。このように、アイスバンドは氷縁の位置や変動を決める重要な現象であり、アイスバンドの諸特性を決める要因やその形成メカニズムを解明することは、海氷変動や海氷・海洋相互作用の理解にとっても重要である。

アイスバンドの研究としては、北極海周辺の季節海氷域における観測報告がいくつかあり、その報告を受けていくつかの形成メカニズムが提案されている。しかしながら、南極海においては、詳細な研究報告はほとんどない。本研究は、南極季節海氷域におけるアイスバンドの諸特性を定量的に明らかにし、その要因と形成メカニズムの理解をめざし、大気場、特に風との関係を明らかにすることを目的としている。申請者は、南極エンダービーランド沖を対象に昭和基地で受信された MOS (Marine Observation Satellite)・MESSR (Multispectral Electronic Self Scanning Radiometer) 画像データ (約60,000画

像)を精査し、その中からアイスバンドの諸特性を計測できる155画像(全画像の約0.26%)を抽出した。この43日分(ケース)のデータセットを用いて、南極季節海氷域に形成されるアイスバンドの諸特性やその気象要素との関係を定量的に示した。

まず、アイスバンドの形成範囲については、北極周辺海域での報告では氷縁から氷野内部に向かってせいぜい150kmであるとされていたが、申請者の解析結果から、南極季節海氷域では、氷縁付近から氷野内部へ、場合によっては300km以上の範囲にまで及んで形成されていることが明らかにされた。次に、申請者はアイスバンドの諸特性と風(地上風)との関係を解析し、バンドスケール(バンドの幅及びバンド同士の間隔)には、アイスバンドが観測された日の過去4日間における風の履歴(平均風速、最大風速)が強く影響し、風速が大きい程バンドスケールが大きくなるという関係を得た。アイスバンドの長軸方向も、これまでは風向に対してほぼ直角に形成されるという北極周辺海域での報告に対して、風向の右側70~90度(平均75度)に偏している結果となり、これも過去4日間における風の履歴(平均風向)が強く影響していることが明らかになった。さらに、バンドスケールは冬から夏にかけて減少していることも明らかになった。バンド幅については冬季2~3kmであったものが夏季には0.5~1kmに、バンド間隔については冬季4~6kmであったものが夏季には1~2kmになっていた。その原因は冬から夏に向かって生じる氷盤の融解に伴う氷盤スケールの減少と冬から夏にかけての風速の減少が関係していることが示唆された。

以上の申請者の解析結果は、アイスバンドの形成メカニズムとしては、開水面の間隔が大きいほどフェッチが増し風波が氷盤を押す力が増す作用によってアイスバンドが形成されるとする説(wave radiation theory)を支持する結果となっている。本研究は、南極季節海氷域におけるアイスバンドの特徴と大気場との関係を、多数の衛星観測画像に基づいて、初めて定量的に記述した研究であり、アイスバンドの形成メカニズム解明にも新たな知見を示したものである。

以上のとおり、申請者の研究は、海水変動機構にとって最重要因子の一つであるアイスバンドの理解を大いに深めるものであり、海氷・海洋相互作用研究を確実に前進させるものである。よって、申請者は博士(環境科学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。