



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Underwater frazil ice formation associated with supercooling in coastal polynyas : The role in high ice production and material cycle [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	伊藤, 優人
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第12665号
Issue Date	2017-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/65271
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Masato_Ito_review.pdf, 審査の要旨



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士（環境科学）

氏 名 伊 藤 優 人

審査委員	主査	教 授	大 島 慶 一 郎
	副査	教 授	三 寺 史 夫
	副査	准教授	深 町 康
	副査	准教授	西 岡 純
	副査	准教授	牛 尾 収 輝（国立極地研究所）

学 位 論 文 題 名

Underwater frazil ice formation associated with supercooling in coastal polynyas

—The role in high ice production and material cycle —

（沿岸ポリニヤにおける過冷却に伴う海中でのフラジルアイス生成

—高海水生産と物質循環への役割—）

海氷域内の薄氷・疎氷域である沿岸ポリニヤでは、断熱材となる厚い海氷がないため大きな熱損失が生じ、高い海水生産が維持される。高海水生産によって排出される高塩分水は高密度水を生成し、これが中深層水の起源水となり熱塩循環が駆動される。ポリニヤにおける海氷生産は、開放水面が維持される場合に最大となる。これは擾乱環境下のもとで、過冷却水が生成・沈降し、海中で大量のフラジルアイスが生成されることでなされる過程と考えられる。一方、海中でフラジルアイスが生成された場合、それが堆積物粒子と接触すると、海氷中に堆積物粒子が取り込まれうること（suspension freezing過程）が提唱されている。海氷に粒子が取り込まれると、それらは海水の漂流によって輸送され、海氷融解時に海中へと放出される。海氷から放出される粒子の中に鉄などが含まれると、それが生物生産に大きく寄与することが最近の研究から明らかになってきた。このためポリニヤは、極域海洋の物質循環や生態系にも大きな影響を与えうる。これらの過程に関しては、室内実験による報告があるものの、極域での現場観測が難しいことや、海中のフラジルアイスや堆積物粒子を検知する手法が確立されていないことなどから、現実の海におけるそれらの過程の詳細はよくわかっていなかった。

最近の研究から、ADCP（超音波流速計）により計測される反射散乱強度がフラジルアイスや堆積物粒子の検知に有効であることが示唆されてきた。本研究ではまず、今までデータとして使用されていなかった過去のADCPの散乱強度データが、フラジルアイス及び堆積物粒子に対して多くの貴重な情報を含んでいることを明らかにした。具体的には、北極チャクチ海バロー沖（2009年—現在）、オホーツク海サハリン沖（1998—2003年）、南極ケープダンレー沖（2010年—現在）の各ポリニヤにおいて蓄積されてきた係留系によるADCPデータを水温塩分計データとともに用いて解析した。海中のフラジルアイスや堆積物粒子の上方輸送に着目して解析し、気象データや衛星データも組み合わせて、沿岸ポリニヤにおける海水生

成と海氷への堆積物の取り込み過程を調べた。その結果、上記の3海域全てで、擾乱環境下でのポリニヤ形成時にフラジルアイスとみられる音響シグナルが数日- 2週間程度にわたり持続的に検知された。バロー沖およびサハリン沖のポリニヤでは、フラジルアイスが水面下 30 m程度にまで検知されたと同時に、水深 30-40 m においては過冷却またはポテンシャル過冷却が観測された。ケープダンレー沖のポリニヤでは、水深約100mにおいてポテンシャル過冷却が生じた際には水面下 80m程度にまでフラジルアイスが検知された。これらは、ポリニヤにおいて、過去の観測報告 (< ~10m程度) よりも遥かに深いところまでフラジルアイスが長時間存在することを明らかにし、海中でのフラジルアイス生成に伴う最も効率の良い海氷生成が、海域によらずに実際に生じたことを示唆している。

サハリン沖やバロー沖では、フラジルアイスの検知と同時期に、堆積物粒子の上方輸送も検知された。堆積物粒子は強い流れによって海底から巻き上げられた後、冬季混合によって海面付近にまで運ばれたことが示唆された。フラジルアイスと堆積物粒子が同時に同じ水深において検知される場合があることも見出し、*suspension freezing* によって海水中に堆積物粒子が取り込まれることを現場観測よりはじめて示唆した。堆積物粒子が海面近くまで輸送されれば、フラジルアイスが存在しなくても海氷盤への波やうねりの乗り上げや海面の再凍結によって堆積物粒子は海氷内に取り込まれうる。

以上のように本研究から、ポリニヤにおいて、冬季混合や対流などの擾乱により過冷却水が海中深くまで沈み込み、海中でフラジルアイスが生成されることで、長期に渡り開放水面を維持する効率の良い海氷生産過程が実際の海でも生じることが明らかとなった。また、これらの擾乱によって海底から堆積物が上方輸送され、海中でフラジルアイスと接触しうることにも明らかにした。このようにして鉄を含む堆積物粒子が海氷に取り込まれると、海氷が融解する際に粒子が放出され、生物生産に大きく寄与することになる。

申請者の研究は、沿岸ポリニヤにおける高海氷生産及び海氷への堆積物の取り込み過程を初めて実測に基づいて明らかにした研究であり、熱塩・物質循環の起点としての沿岸ポリニヤの重要性を明確に示したことで、この方向の研究の進展を大いに促すことが期待される。審査委員一同は、その重要度や先進性・発展性を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院博士課程における研鑽や修得単位などもあわせ、申請者が博士（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。