

オホーツク海南部氷縁域の氷盤分布観測にはじめて成功

～季節海氷域の融解過程の理解と変動予測への貢献に期待～

ポイント

- ・ドローンを用いて氷縁域における細かな氷盤の大きさや形状分布の観測に成功。
- ・氷縁域の氷盤分布には自己相似性の特徴があることや融解過程の仕組みを解明。
- ・季節海氷域の融解過程の理解と定量化を通して気候変動の予測への応用に期待。

概要

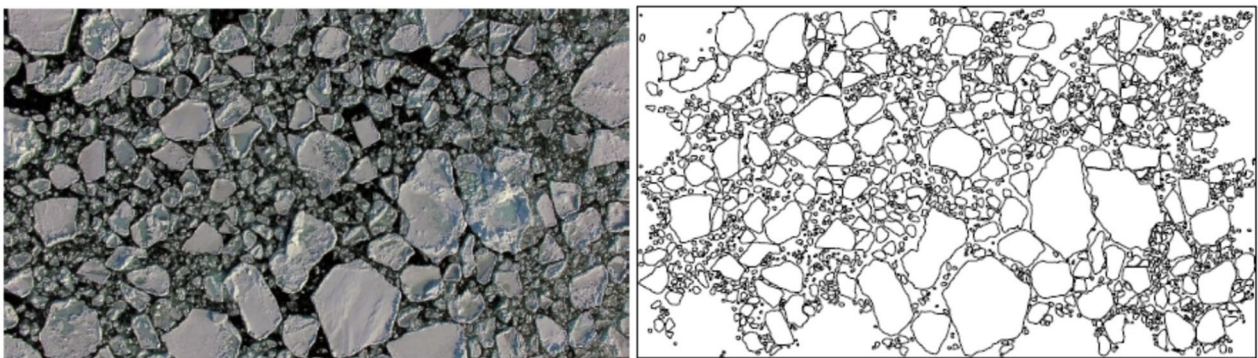
北海道大学低温科学研究所の豊田威信助教、西岡 純教授、東京大学大学院新領域創成科学研究科の早稲田卓爾教授、国立極地研究所の伊藤優人研究員らの研究グループは、オホーツク海南部海氷域氷縁域^{*1}の氷盤分布の特徴を明らかにして氷縁域における融解過程の仕組みを解明しました。

現在、オホーツク海を含む世界の海氷域は減少傾向にあります。気候変動予測を行うためには、気候モデルの中で海氷融解を正しく再現する必要があるのですが、海氷の融解過程は未だに十分理解されておらず、最新の気候モデルでも融解期の海氷域の再現性は低い状況にありました。

オホーツク海のような季節海氷域の後退を制御するのは氷縁域の融解速度です。氷縁域には波によって破碎された氷盤が数多く存在し、これらの氷盤が春先の日射により温められた氷盤間の海水から熱を効率よく吸収して一気に消失します。同じ海氷面積に対して氷盤が小さいほど海水に接する面積が大きいため、氷縁域の融解過程を理解するうえで氷盤の大きさや形状の実態把握が鍵となります。

本研究では、ドローンを用いてオホーツク海南部氷縁域の氷盤の統計的な性質を調べることで、大きさ約 1m以上の氷盤には自己相似性^{*2}の特性があること、それ以下の氷盤は熱力学的な破碎効果が融解を促進する様子などの実態を明らかにしました。これらの結果は汎用性があり、数値モデル化することにより融解期の季節海氷域の変動予測の改善に貢献することが期待されます。

なお、本研究成果は、2025年5月31日（土）公開の Polar Science 誌にオンライン掲載されました。



オホーツク海南部氷縁域のドローンによる氷況写真と画像解析により抽出した氷盤分布（84×47m）

【背景】

ここ数十年にわたって北極海全体の海氷域面積は減少傾向にあり、季節海氷域の割合が増加傾向にあります。季節海氷域であるオホーツク海でも海氷域面積の減少は著しい状況にあります。一方、長らく微増傾向にあった南極海氷域でも 2016 年以降は減少傾向に転じており、気候変動予測を行う際に季節海氷域の融解を気候モデルの中で正しく表現することは重要な課題です。しかしながら、これまで観測データが少ないため未だに十分に理解されておらず、最新の気候モデルにおいても融解期の海氷域の再現性は低い状況にありました。

季節海氷域の融解期の面積縮小は氷縁の後退によって起こるため、氷縁域における融解速度に制御されます。氷縁域には波によって破碎された小さな氷盤が数多く存在します。これらの氷盤が春先に日射により暖まった海面から熱を吸収して一気に融解して面積が縮小していきます。同じ海氷面積であっても氷盤の大きさが小さいほど海水に接する面積が大きいため、融解速度を決める鍵は特に小さな氷盤の大きさ分布の把握と言えます（図 1）。

氷盤分布を定量的に捉える手段として、これまでもオホーツク海や北極海などで衛星画像データが活用されてきましたが、分解能の限界から氷盤の大きさは約 10m 以上に限られ、融解の最終段階にあたる大きさ数 m 以下の氷盤については実態がよく分かっていない状況にありました。

以上の背景から、氷縁域の現場で小さな氷盤分布の観測を実施してその特徴を把握することは季節海氷域の融解過程を理解するうえで重要な課題とされていました。

【研究手法】

様々な海氷の実態を把握するために、北海道大学低温科学研究所は砕氷型巡視船「そうや」を有する第一管区海上保安本部と共同で 1996 年以来、毎年 2 月上旬～中旬にこの海域における海氷観測を実施してきました。過去にこの海域で得られたビデオ画像、それに衛星画像を組み合わせた解析から、数 m 以上の氷盤は基本的には自己相似性の特性をもつこと、大きさ約 40m を境に二つのレジームが存在することを見出しました。しかしながら、当時は数 m 以下の氷盤については対象外でした。

そこで今回の観測では特に数 m 以下の大きさをもつ氷盤が卓越する氷縁域の海域に焦点をあてて、高分解能（解像度 2cm）の画像をドローン観測から取得しました。海面高 50m を飛行するドローンから直下の海氷域の氷況をビデオに収録し、画像解析ソフトを用いて輝度の違いから海面と氷盤を区別して氷盤を抽出し、各々の大きさや形状を計測しました。そして、融解過程の熱力学的な特性を探るために気象の再解析データセットを用いて表面熱収支の解析を行いました。

【研究成果】

航海期間中、比較的穏やかで温かな天候のもと 6 か所でドローン観測を実施しました。本研究では氷縁域に位置して比較的小さな氷盤が卓越する No.6 のサイトに焦点を絞りました（図 2）。0.2m～10m の大きさをもつ 12,100 個の氷盤を抽出して解析を行った結果、大きさが 0.9m 以上の氷盤には大きさ分布にも形状にも自己相似性（フラクタル）の特性があることが分かりました（図 3、図 5）。大きさ分布のフラクタル次元は 1.51、氷盤の平均アスペクト比は 1.73 と見積もられ、これらの値はこれまでに様々な海域で約 10m 以上の大きさをもつ氷盤に対して見積もられた値とほぼ合致していることから、海氷一波相互作用の影響を強く受けたものと推察されます。一方、大きさが 0.9m 以下の氷盤は大きさ分布も形状も自己相似性の分布からは幾分外れて 0.9m 以上の氷盤とは異なる特性があることを見出しました（図 3、図 4、図 6）。表面熱収支の解析からは、日中氷盤間の海面に吸収された熱の約 9割は氷盤が海面に接する側面の融解（5mm/day）というよりは海氷に吸収されて内部融解に用いられる

と見積もられました。海氷内部融解により海氷の強度が低下することによる氷盤の破碎（熱力学破碎作用）を促進していると考えられます。

以上の結果から、オホーツク海氷縁部における融解過程は、波による破碎作用によって細かな氷盤が生み出される過程と、大きさ1m以下の融解の最終段階で熱力学的な破碎作用が融解促進に重要な役割を果たす過程の二段階があることが見出されました。

【今後への期待】

本研究を通して見出されたオホーツク海南部氷縁域における融解過程の二段階の特徴を数値モデルに組み入れることにより、この海域の融解期の海氷面積の変動特性の予測の精度を向上させると同時に、春先の海氷融解により生じる春季ブルーム^{*3}の予測、それに伴う生態系の変化の将来予測の進展が期待されます。また、海氷域変動は船舶航行にとっても重要な情報であるため、海難防止に繋がります。本研究で見出された融解過程の特徴は、海氷の本性に基づくため海域によらず汎用性があると考えられます。世界の季節海氷域に適用することにより、広く季節海氷域を対象とした数値海氷モデルの精度改善に反映されることが期待されます。

【謝辞】

本研究は、科学研究費補助金（基盤研究 C (JP19K12304)）「北極海の長期包括的観測データに基づく海氷変形過程のパラメタリゼーションの開発」、科学研究費補助金（基盤研究 C (JP22K12341)）「季節海氷域における力学的変形過程が海氷域経年変動に及ぼす影響に関する研究」、などの助成を受け、北海道大学と第一管区海上保安本部との業務協力のもとで実施されました。

論文情報

論文名	Melting processes of the marginal ice zone inferred from floe size distributions measured with a drone in the southern Sea of Okhotsk（オホーツク海南部のドローン観測により得られた氷盤サイズ分布から推測される氷縁域の融解過程）
著者名	豊田威信 ¹ 、在原百合子 ¹ 、早稲田卓爾 ² 、伊藤優人 ³ 、西岡 純 ¹ （ ¹ 北海道大学低温科学研究所、 ² 東京大学大学院新領域創成科学研究科、 ³ 国立極地研究所）
雑誌名	Polar Science（極域科学の専門誌）
DOI	10.1016/j.polar.2025.101215
公表日	2025年5月31日（土）（オンライン公開）

お問い合わせ先

北海道大学低温科学研究所大気海洋相互作用分野 助教 豊田威信（とよたたけのぶ）
TEL 011-706-7431 FAX 011-706-7142 メール toyota@lowtem.hokudai.ac.jp
URL <https://www2.lowtem.hokudai.ac.jp/climbsd/group/toyota/index.html>

配信元

北海道大学社会共創部広報課（〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目）
TEL 011-706-2610 FAX 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

【参考図】

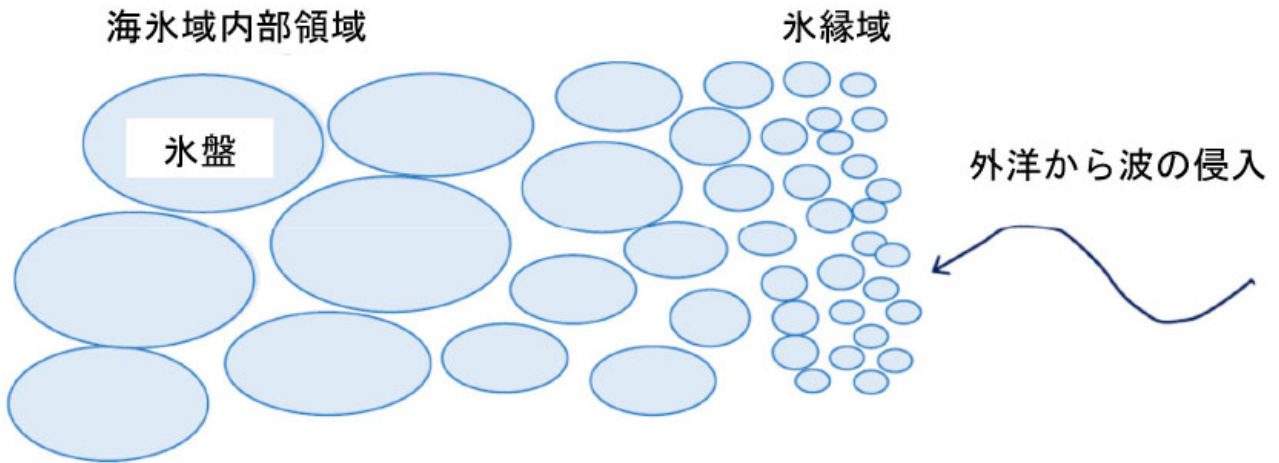


図1. 波による破碎作用により氷縁域（MIZ）で小さな氷盤が形成されることを示す概念図

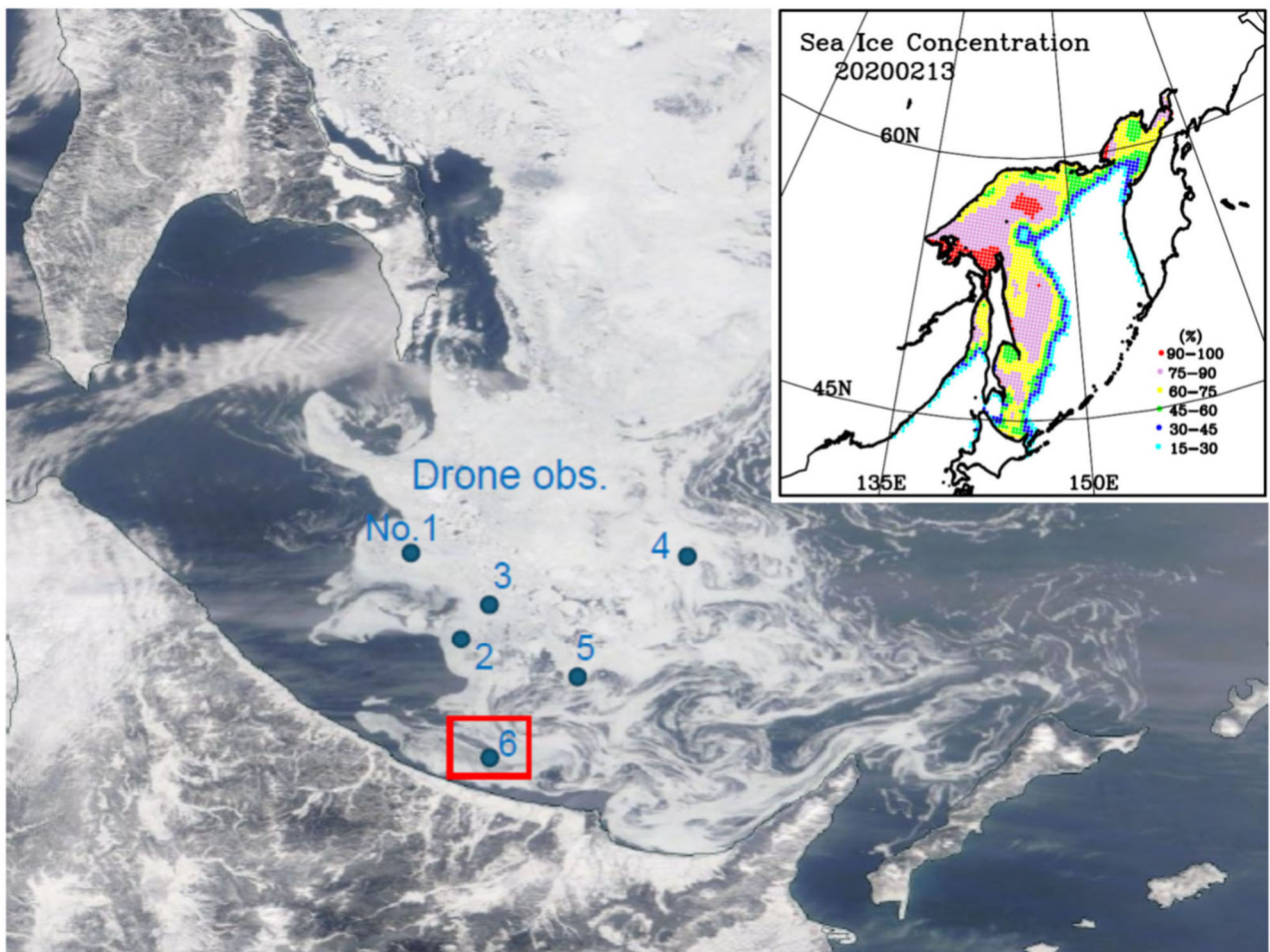


図2. オホーツク海南部で観測を実施した海域
(挿入図は No.6 のドローン観測当日の海水氷密接度分布図)

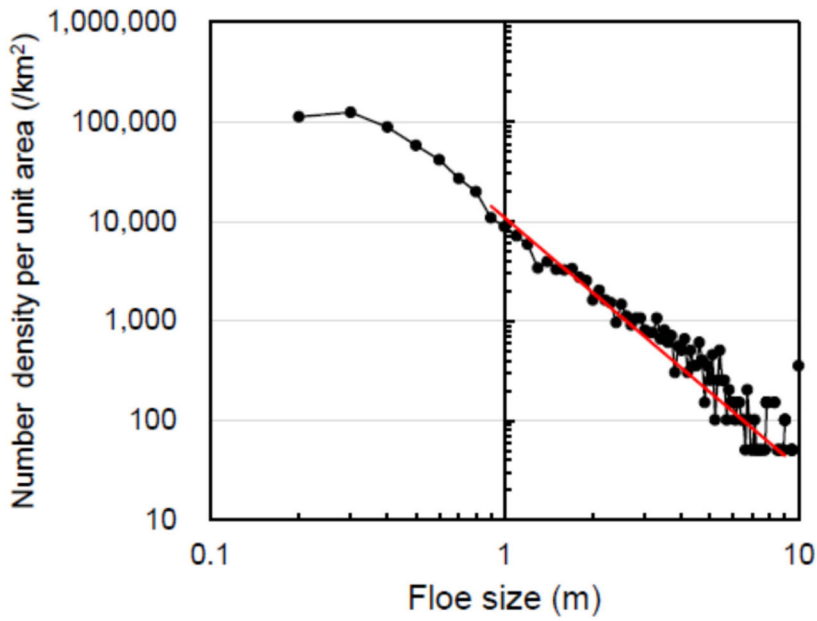


図 3. 氷盤の大きさの数密度分布

赤線はべき乗関数を表し、この線上にあれば自己相似性があることを示す。
 大きさ 0.9~9m の範囲ではほぼ直線上に乗っていることに注目。

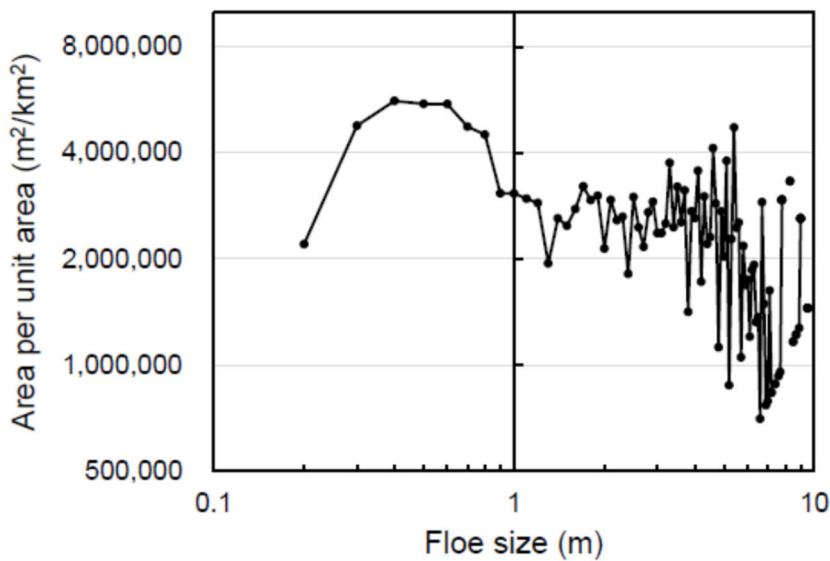


図 4. 各々の氷盤の大きさが占める表面積

大きさ 0.9m 以下で急激に面積が増えていることに注目。
 破碎作用が促進されていることを示す。

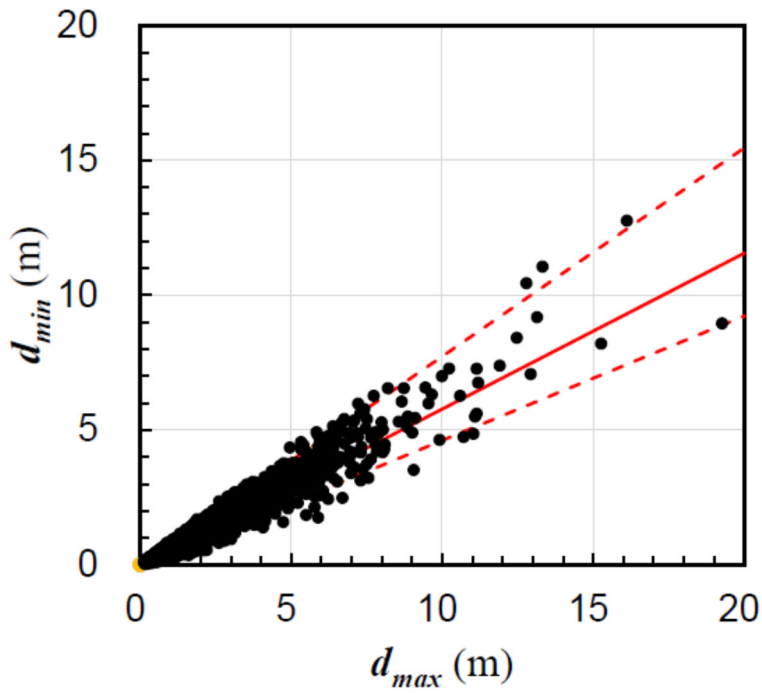


図 5. 個々の氷盤の最大幅と最小幅をプロットしたものの
 両者の比が個々の氷盤のアスペクト比に相当する。
 ほぼ一様のアスペクト比をもつことから形状の自己相似性が認められる。

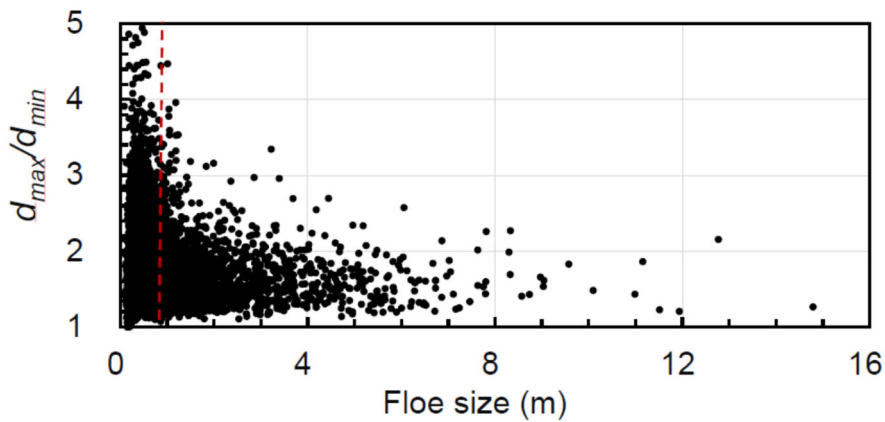


図 6. 個々の氷盤のアスペクト比を氷盤の大きさの関数としてプロットしたもの
 大きさ 0.9m (破線) 以下の氷盤でアスペクト比のばらつきが大きくなっていることに注目。

【用語解説】

- *1 氷縁域 … 海氷域内の氷縁近くで外洋から侵入する波やうねりの影響が大きい海域のこと。
- *2 自己相似性 … 小さい部分も大きな部分も同じ特徴が宿っている性質のこと。
- *3 春季ブルーム … 春季に海洋で植物プランクトンが大増殖する現象のこと。