

オホーツク海南部冬期の海氷体積量の年々変動を解明

～気候変動に伴うオホーツク海海氷の変動予測への貢献に期待～

ポイント

- ・世界で最も低緯度に位置するオホーツク海南部の海氷体積量の年々変動を捉えることに成功。
- ・氷盤同士の力学的な乗り重なりが海氷体積量を顕著に増加させる主要因であることを解明。
- ・気候変動による季節海氷の面積と体積の変化やそれに伴う生態系変化の将来予測の進展に期待。

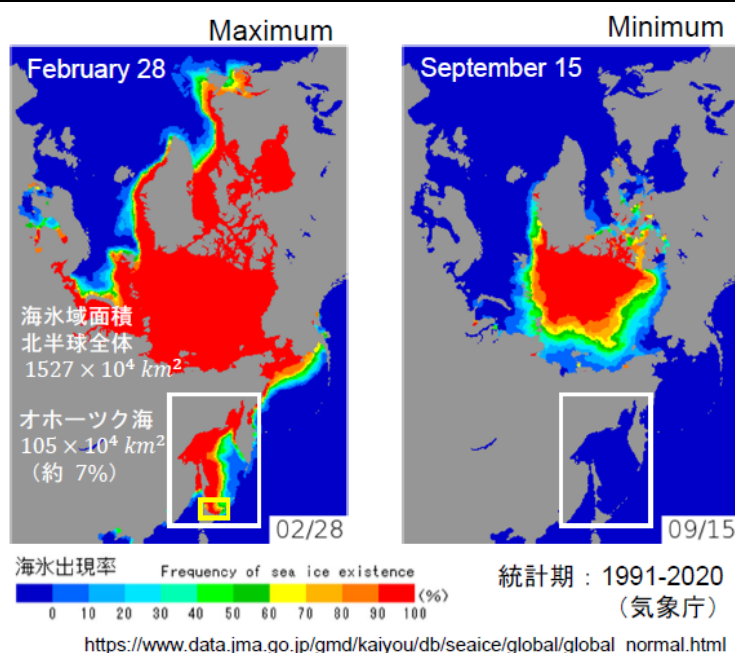
概要

北海道大学低温科学研究所の豊田威信助教、西岡 純教授、三寺史夫教授、同大学北方生物圏フィールド科学センターの野村大樹准教授らの研究グループは、オホーツク海南部（北緯 46 度以南）の海氷域の海氷面積・氷厚・海氷体積量の年々変動の特性を解明しました。

オホーツク海南部は、沿岸結氷を除けば世界で最も低緯度に位置する海氷域として知られ、その海氷域の概況は主に防災の観点から、航空機や衛星で以前より観測が行われてきました。しかし、その面積や氷厚の経年変動はこれまで統計的に十分には解析されてきませんでした。特に、氷厚の長期間に渡る体系的な観測がなかったため、海氷体積量の経年変動は全く知られていませんでした。

本研究は現場で得られた氷厚などのデータを衛星データと組み合わせて解析を行い、オホーツク海南部海域の海氷面積は、その北部・中部とは顕著に異なる変動特性を持つこと、海氷体積量の年々変動は大きく熱力学的な結氷条件よりも力学的な氷盤の積み重なりが重要であること、顕著な氷盤の積み重なりは現在多くの気候モデルで用いられている海氷レオロジーの理論でおおよそ説明が可能なことが分かりました。これらの結果は他の季節海氷域の数値モデル化にも適用可能と考えられます。

なお、本研究成果は、2022 年 12 月 2 日（金）公開の Journal of Geophysical Research: Oceans 誌に掲載されました。



北半球の平年（1991 - 2020 年）の海氷出現率分布（気象庁作成の資料による）

【背景】

オホーツク海南部（北緯 46 度以南）は、沿岸結氷を除けば冬期に世界で最も低緯度に位置する海氷域として知られています（p1 図）。この海域はオホーツク海北方から東樺太海流に乗って海氷が流れ着く終着点であり、春先に海氷が融解することにより、大量の淡水を供給して海洋構造に影響を与えると同時に、海氷中に含まれる微量栄養物質である鉄分を供給することで春季ブルームをもたらし、知床周辺の豊かな生態系を支える要因の一つと考えられています。しかし、海氷面積は衛星から高い精度でデータが得られるのに対し、海氷の厚さ（氷厚）は衛星からは推測が困難である上に、現場での組織的観測が不足していたため、海氷体積量の年々変動の実態は未知でした。したがって、上記の海氷融解が海洋構造や知床周辺の生態系へ及ぼす影響は、推測の域を出ていない状況にありました。

この海域の海氷体積量を見積もる別の手段として、数値海氷モデルにより海氷面積と氷厚を推定し、両者を掛け合わせることによって体積量を見積もることも考えられます。その場合、過去のこの海域での海氷サンプリング観測から、海氷の氷厚発達過程には氷盤同士が乗り重なる力学過程（リッジング）が重要であることが分かっていたため（図 1）、モデルで如何にこの力学過程を再現するかが決め手となります。しかし観測データの不足から、リッジングをモデルで再現するのは現在においても大変困難な課題とされていました。

以上の背景から、現場で長期間に渡る氷厚データのモニタリング観測を実施し、そこから得られる実態と理論に基づく海氷のリッジングの取り扱いを検討することが重要な課題とされていました。

【研究手法】

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。各年の航海観測期間は一週間程度で、海洋情報部の定点測点に合わせた航路に沿って、毎正時に国際的に定められた海氷目視観測プロトコルに従って氷厚やリッジなどの状況を記録しました（図 2）。検証のため、同時にビデオを用いた氷厚測定も実施し、これらのデータを基に各年の平均氷厚やリッジの厚さなどを統計的に見積もりました。得られた平均氷厚に衛星データによるこの海域の海氷面積を乗じて海氷体積量を求め、その年々変動を調べました。

そして、得られた年々変動の力学的な要因を探るため、衛星データから見積もった海氷速度のデータセット、熱力学的な要因を探るため気象の再解析データセットを用いて解析を行いました。

【研究成果】

まず、オホーツク海を6つの海域に分けて各海域の海氷面積の経年変動の解析を行いました（図3）。その結果、オホーツク海全体の海氷面積は10年間で約7%の割合で減少傾向がありますが、この傾向を支配しているのは主に北部（水色）と中部（青色）の海域であり、北海道沖合の最南部（赤色）はむしろ微増の傾向があって他海域とは異なる変動特性があることが分かりました。

また、巡視船を用いた現場観測から、この海域の平均氷厚は $0.64 \pm 0.38\text{m}$ であること（図4）、リッジの部分が海氷表面の面積に占める割合は約20%に過ぎないものの、海氷全体の体積に占める割合は約70%に達し（図5）、平均氷厚や海氷体積量（図6）の年々変動を支配するのはリッジの度合いであることが初めて明らかになりました。このように、この海域では力学的な過程が氷況に及ぼす影響が大きいので、温暖化傾向があるにも関わらず海氷面積は微増傾向を示したと考えられます。

以上の結果から、この海域における海氷面積・氷厚・体積量を予測するためには、リッジの生成を正しく再現する海氷モデルが必須となります。本研究では、海氷域のふるまいを塑性体として扱った

従来の海氷力学理論に基づきリッジングの度合いを見積もった結果、海氷体積量が顕著であった年を明瞭に特徴づけることに成功しました（図7）。

【今後への期待】

本研究を通して解明されたオホーツク海南部（北緯 46 度以南）の平均的な氷厚の変動特性は、気候変動によるこの海域の海氷面積や体積量変化の見積もりを可能とし、春先の海氷融解により生じる春季ブルームの予測、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、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。一方、リッジングに関わる海氷力学理論は季節海氷域に共通しているため、オホーツク海南部に限らず、南極を含め世界の季節海氷域に適用可能と考えられ、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（22K12341））「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」、環境研究総合推進費（JPMEERF20214002）「世界自然遺産・知床をはじめとするオホーツク海南部海域の海氷・海洋変動予測と海洋生態系への気候変動リスク評価」、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	The interannual variability of sea ice area, thickness, and volume in the southern Sea of Okhotsk and its likely factors（オホーツク海南部の海氷面積・氷厚・体積量の年々変動特性およびその要因について）
著者名	豊田威信 ¹ 、木村詞明 ² 、西岡 純 ¹ 、伊藤優人 ³ 、野村大樹 ^{4,5,6} 、三寺史夫 ¹ （ ¹ 北海道大学低温科学研究所、 ² 東京大学大気海洋研究所、 ³ 国立極地研究所、 ⁴ 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター、 ⁵ 北海道大学水産科学研究所、 ⁶ 北海道大学北極研究センター）
雑誌名	Journal of Geophysical Research: Oceans（海洋学の専門誌）
DOI	10.1029/2022JC019069
公表日	2022年12月2日（金）（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 <http://climbsd.lowtem.hokudai.ac.jp/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】

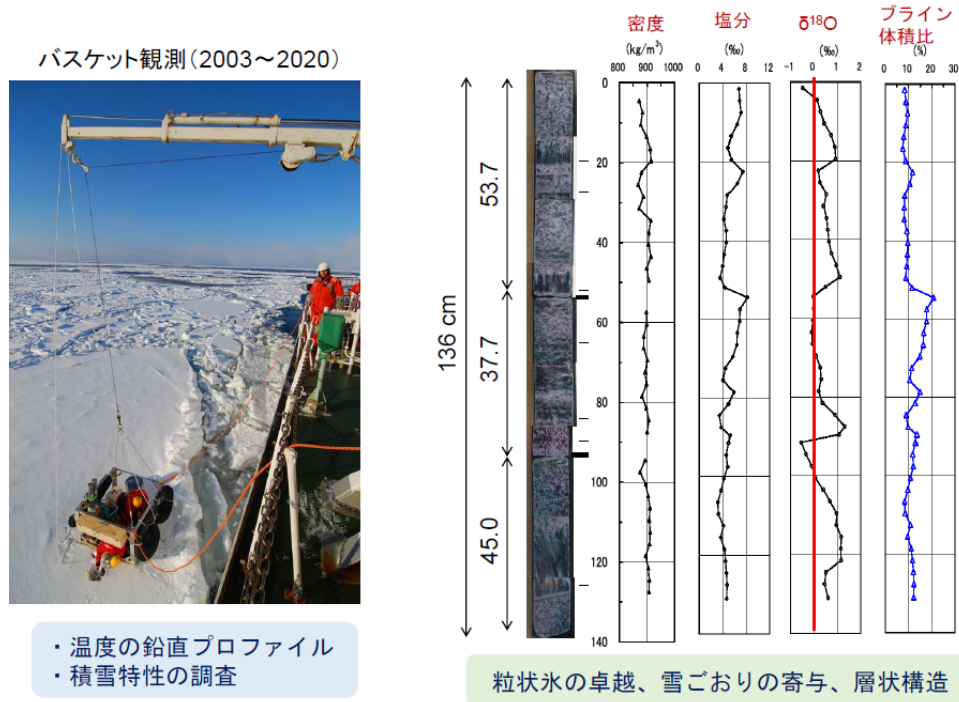


図 1. オホーツク海海氷の典型的な鉛直構造（層状構造に注目）

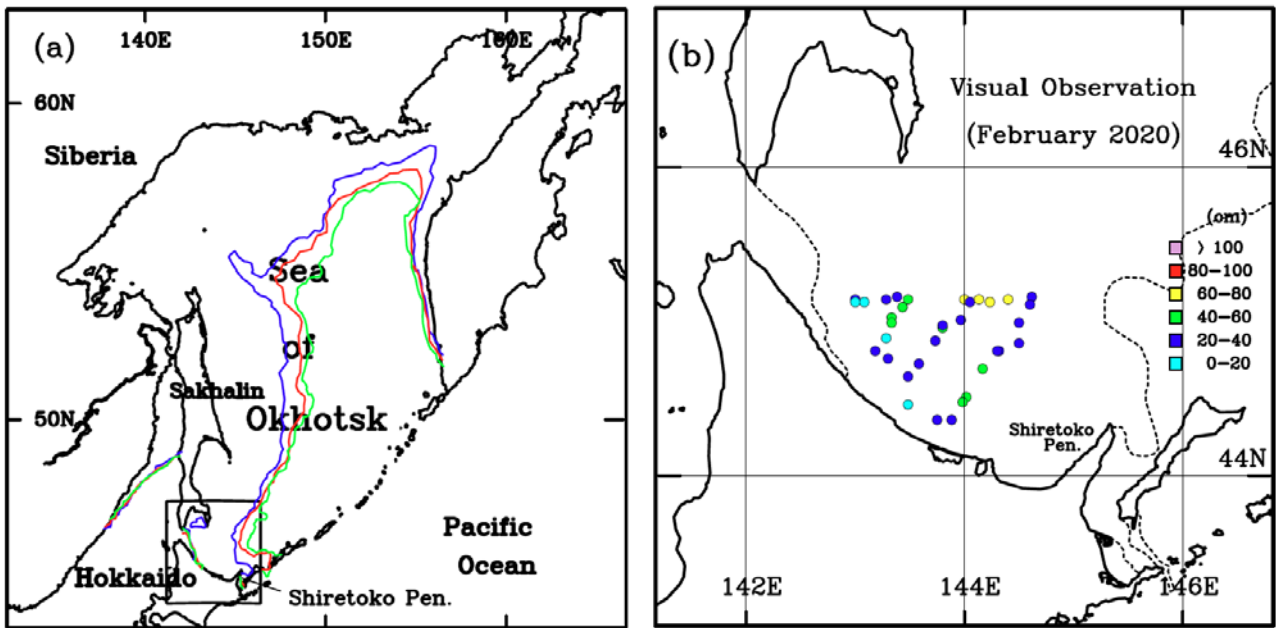


図 2. 観測を実施した海域。

- (a) オホーツク海全域（平年氷縁位置：紫 2/05、赤 2/15、緑 2/25）
- (b) 観測航路及び目視観測の位置（2020年2月の例）

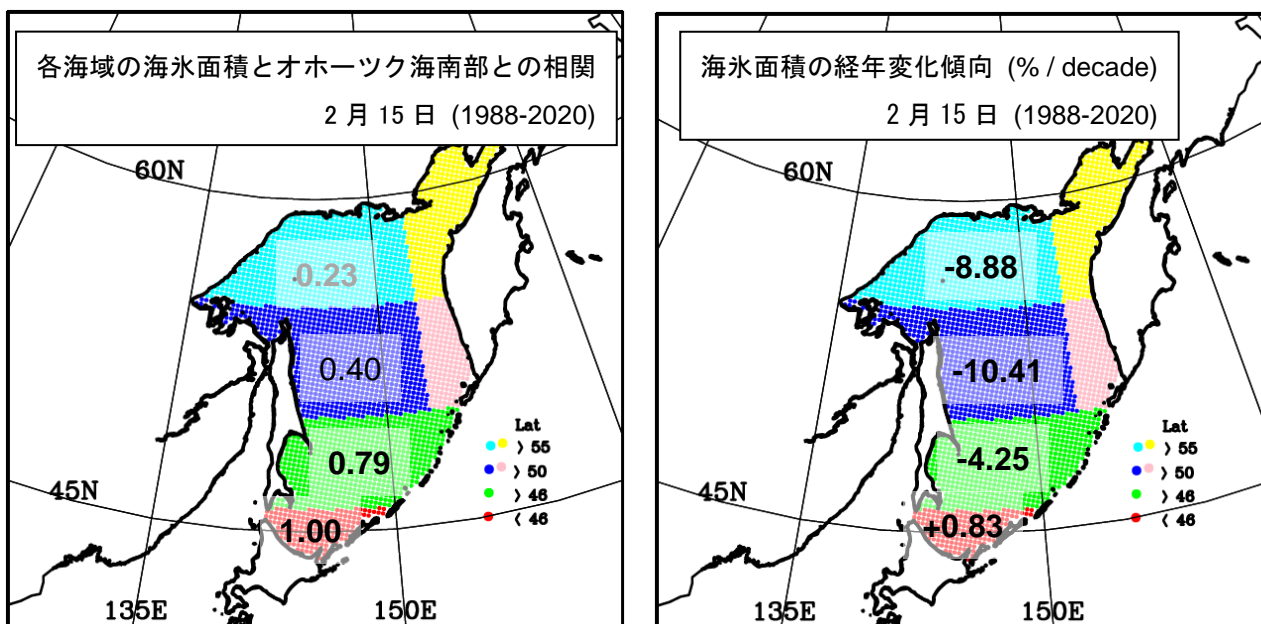


図 3. オホーツク海各海域の変動特性。

左図：南部（赤色）と各海域の海氷面積の変動の相関係数（有意水準 99%: > 0.45）

右図：各海域の平年に対する海氷面積の経年変化傾向（オホーツク海全体では-7.13%/ decade）

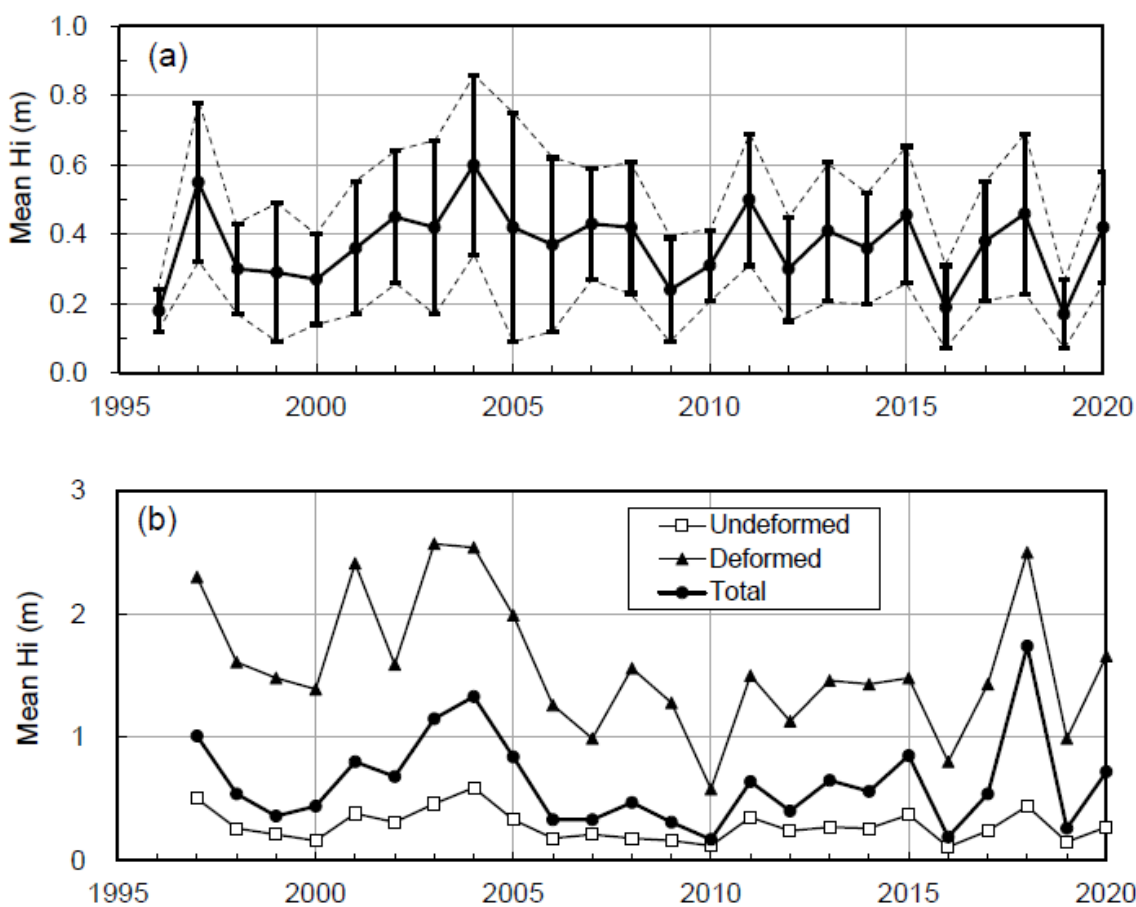


図 4. オホーツク海南部（北緯 46 度以南）の氷厚の経年変動。

(a) ビデオから測定された平均氷厚±標準偏差の経年変動

(b) 目視観測から見積られたリッジ、平均、平坦氷の氷厚の経年変動

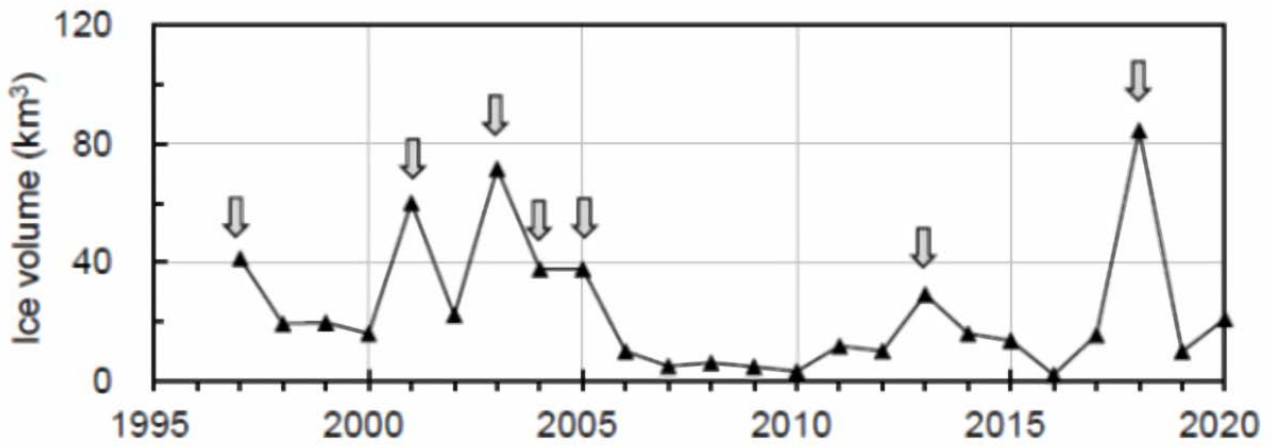


図5. リッジが占める表面積の割合 (Area) と体積量の割合 (Volume) の経年変動。

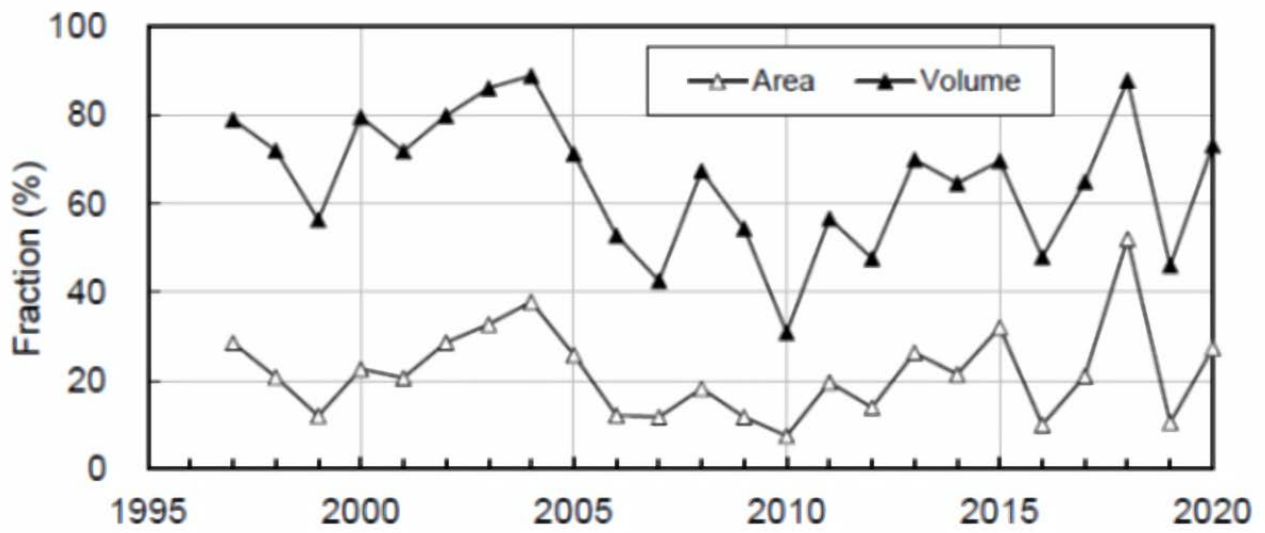


図6. 各年の海水体積量の経年変動 (特に顕著な年を矢印で表出)

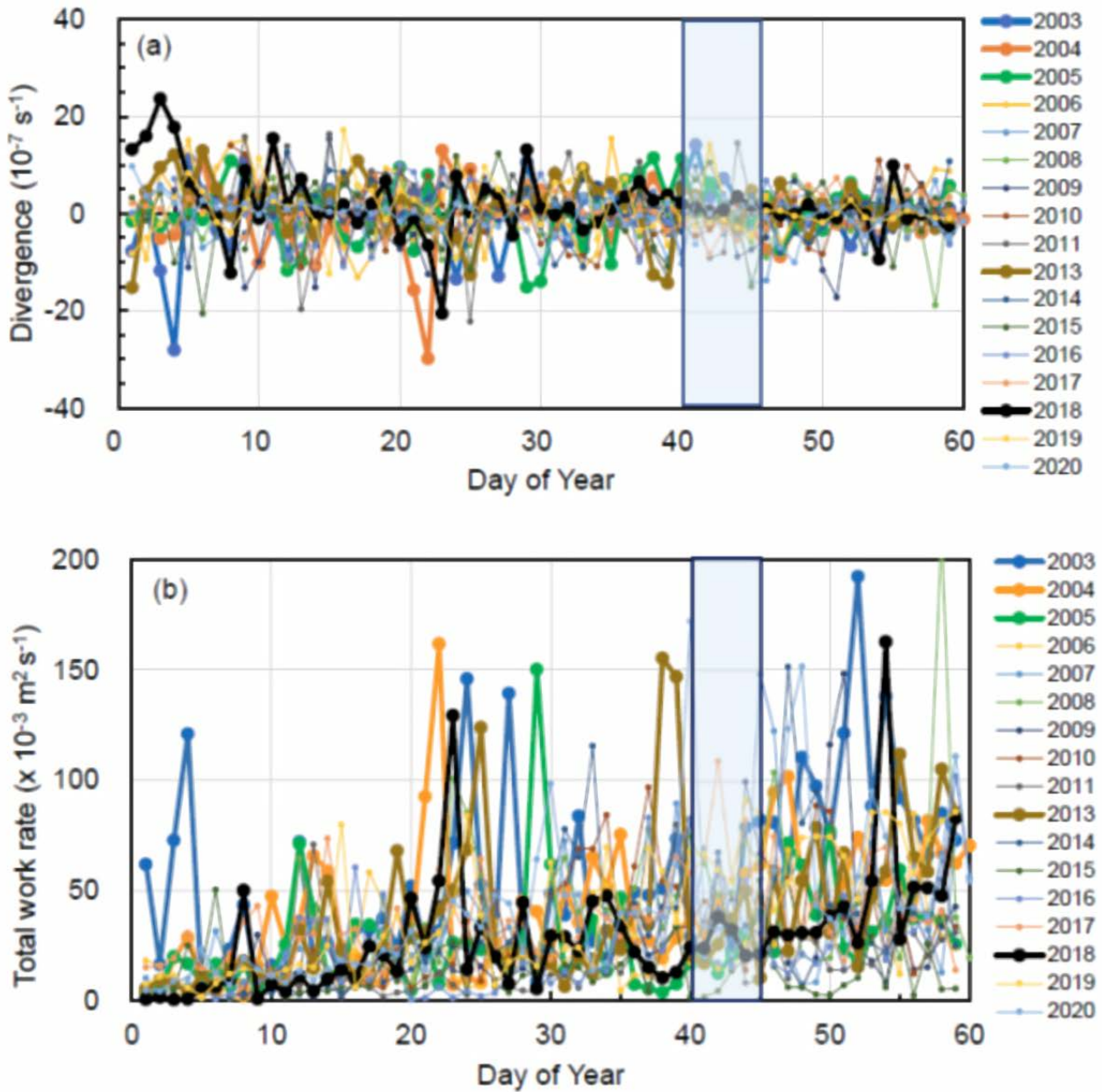


図7. リッジングの度合いを(a) 漂流速度の収束で表現した場合、(b) 海氷を塑性体として扱った力学理論に基づいて表現した場合。(b)が的確に顕著な海氷体積量の年(太線)を表していることに注目。