

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H00801

研究課題名(和文) 海洋波による海水形成から崩壊における構造化の解明

研究課題名(英文) Investigation on the role of ocean waves in sea ice structuring from formation to break up stages

研究代表者

早稲田 卓爾 (Waseda, Takuji)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：30376488

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,500,000円

研究成果の概要(和文)：力学的な波浪海水相互作用が活発に起こる氷縁域における、海水の形成と崩壊、海水下の波浪の伝搬減衰に関する、波浪海水相互作用機構を解明し、モデル化することを目的とする。そのために、新造した氷海波浪水槽を活用し、新たに開発した造波製氷技術を用いて異なる氷塊を製氷し、海水下波浪の伝搬と減衰、氷群の形成、非線形発達を計測した。そしてオホーツク海、北極海、南極海での極域海洋観測を実施し、特異なスペクトルダウンシフトなど新たな知見を得た。広域波浪モデルのサブグリッドスケールモデルとして海水下波浪の非線形相互作用を直接計算する位相解像モデルを構築し、氷海波浪水槽と対になる数値氷海波浪水槽の構築に着手した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国内には現在稼働中の氷海水槽は一つしかなく、民間企業にて砕氷船の設計のために用いられている。本研究では海洋研究開発機構が建造した水槽に造波機を設置し、国内唯一の氷海波浪水槽を東京大学柏キャンパスに構築した。水槽実験や、北極・南極・オホーツク海での観測は教育効果も高く、北極海航路開発、北極域研究船による観測研究につながる。

研究成果の概要(英文)：The aim of the research is to investigate and model the dynamical processes of wave-ice interactions in the marginal ice zone from the generation to the breakup of the sea ice by waves, and the propagation and attenuation of waves under ice. For that, the new wave ice tank and the newly developed method to create frazil ice under waves were used to create different types of freshwater ice. Wave propagation and attenuation under different ice field, the resulting ice group formation process, and the nonlinear wave evolutions were studied. Field expeditions were conducted in the Okhotsk Sea, Arctic Ocean and Antarctic Ocean where an anomalous spectral downshift was observed in the Okhotsk Sea. Finally, a subgrid scale model to estimate the nonlinear wave-wave interactions under ice was developed. Also, a numerical wave-ice tank is being developed to mimic the physical wave-ice tank.

研究分野：Ocean Information

キーワード：海水波浪相互作用 氷海水槽実験 マージナルアイスゾーン 氷盤フラクタル 波浪方向スペクトル

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

北極海では地球温暖化により 1980 年代から海氷が減少しはじめ、現在では夏期に海氷の全くない開放水面が北極圏沿岸に広がり、秋から冬にかけて再び結氷するという季節海氷域が形成されるようになった。そして、開放水面では、風により波浪が生成され、その波浪の大きさが、温暖化による開放水面の広がりに伴い増大していることがわかってきた (Waseda et al. 2018)。その波浪は夏期に形成される氷縁域から多年氷の広がる海域へと数 100 km も伝搬し、時には海氷を破壊することがわかっている (Asplin et al. 2012)。破壊された海氷は、海水との接面積が増大し、融解が促進される可能性もある。このような波浪による正のフィードバックによる海氷域減退が危惧されていた。

このような夏期の北極海を海運に利用すべく、北極航路の開発が進んでいる。北極航路を利用した輸送量は、2024 年までに 80Mt まで増やすことがロシア政府の目標として設定され、2030 年には 160Mt まで増えると予想されていた。一方、2018 年北極サークル (Arctic Circle) にて、当時の河野太郎外務大臣が、我が国の北極政策に関する基調講演を行い、わが国が考える望ましい北極の実現のための科学研究の推進が必要であると宣言している。北極域研究の要は海洋観測船による調査である。このような北極域を航行する商船や調査船の安全かつ効率的な運航が望まれる。そのためには、氷縁域の波浪・海氷予測精度の向上が必要である。

海氷・波浪相互作用研究にはそれぞれのスケールに近い領域があり、氷縁域における予測が難しい要因となっている。波浪スペクトル (WSPD)、氷板サイズ分布 (FSD) はともに平衡領域を持ち、統計的には平均波高・波長、平均氷盤サイズで代表することができる。一方、氷板サイズ分布の平衡領域にはキंकがあり、崩壊過程 (Toyota et al. 2011) と形成過程 (Alberllo et al. 2019) ではそれぞれ数 m と数 10m とキंकの位置が異なる。前者は波浪の代表スケールが氷板代表スケールより小さい場合、後者は波浪の代表スケールが氷板代表スケールより大きい場合に相当し、波浪・海氷相互作用の複雑さを示唆している。

このような観測結果は限られており、そのため、系統的な研究には十分に制御された水槽での実験が有効である。しかしながら、氷海を模擬しかつ造波が可能な水槽はわが国には存在していなかった。世界的にも氷海水槽は限られており、多くは砕氷船の開発が目的で造波機を有しないなど波浪との相互作用の研究には適していない。

- Alberllo, A., Onorato, M., Bennetts, L., Vichi, M., Eayrs, C., MacHutchon, K., & Toffoli, A. (2019). Brief communication: Pancake ice floe size distribution during the winter expansion of the Antarctic marginal ice zone. *The Cryosphere*, 13(1), 41-48.
- Asplin, M. G., Galley, R., Barber, D. G., & Prinsenberg, S. (2012). Fracture of summer perennial sea ice by ocean swell as a result of Arctic storms. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C6).
- Toyota, T., Haas, C., & Tamura, T. (2011). Size distribution and shape properties of relatively small sea-ice floes in the Antarctic marginal ice zone in late winter. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 58(9-10), 1182-1193.
- Waseda, T., Webb, A., Sato, K., Inoue, J., Kohout, A., Penrose, B., & Penrose, S. (2018). Correlated increase of high ocean waves and winds in the ice-free waters of the Arctic Ocean. *Scientific reports*, 8(1), 1-9.

2. 研究の目的

結氷・融解過程を支配する氷縁域では、波浪と海氷が活発に相互作用し、氷盤分布をはじめとして波浪が海氷の構造に重要な役割を果たす。しかし、力学的な波浪海氷相互作用の詳細は未だ解明されていない。そこで本研究では、氷縁域における、海氷の形成と崩壊、海氷下の波浪の伝搬減衰に関する、波浪海氷相互作用機構を解明し、モデル化することを目的とする。

3. 研究の方法

氷板の形成と崩壊の水槽実験を繰り返し、波浪と海氷の相互作用、様々な形態の海氷下の波浪の伝搬・減衰(散乱/摩擦)過程、海氷分布の形成過程を解明する。オホーツク海、北極海及び南極海にてステレオカメラ等により観測を行い、海氷・波浪統計量を取得する。そして、水槽実験や観測により得られた知見をモデル化するために、位相解像波浪モデルを利用したサブグリッドスケールモデル化を行う。

以下、

- 1) 氷海造波水槽実験
- 2) 極域波浪海氷観測
- 3) サブグリッドスケールモデリング

について研究成果を報告する

4. 研究成果

1) 氷海造波水槽実験

氷海造波水槽

東京大学柏キャンパスに、海洋研究開発機構が2020年3月に氷海造波水槽を建造した。マイナス15℃まで室温を下げることのできる低温室(10m×4m×2.76m)に長さ8m、幅1.5m、高さ1m(水深0.6m)のFRP製の水槽を設置した。本研究では、この氷海造波水槽に造波機を増設し(プランジャー型、任意時系列造波)、海水の成長過程における波浪の役割、海水下波浪の伝搬、そして波浪による氷板の破壊などの実験を行った。

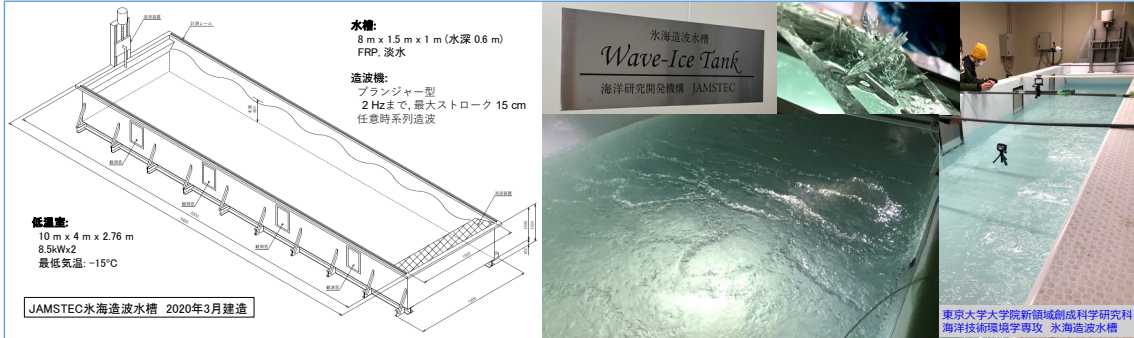


図1：JAMSTEC 氷海造波水槽：

造波製氷

淡水による実験を行った。当初は、不凍液(プロピレングリコール)を混入することで、模型氷(ブライン排出に伴う柱状氷など)を生成することを想定したが、新たに開発した造波製氷技術により、晶氷が形成し、さらに蓮葉氷状の晶氷群を形成できることが分かった。

造波製氷手順：

初めに水槽内に小型ポンプを設置し、鉛直攪拌しつつ全体を0℃まで下げる。その後造波装置を連続的に動かしつつ室温をマイナス5℃~10℃の一定温度に維持することで、厚さ1mm~数mm、大きさ1cm~数cm程度の淡水晶氷群が形成されることが分かった。造波し続けることで晶氷群は蓮葉氷状の構造をつくり、これがやがて結氷して氷盤が形成される。

晶氷群の形成(成果1)

波浪中での結氷により氷盤が形成される。これまでその過程は波の軌道運動による引張破砕により支配されると考えられてきたが、その裏付けとなる実験・観測の報告はごく少数であった。本研究の中で様々な波長の単色波のもと氷盤を形成し、その径を測定したところ、軌道運動による引張破砕に加えて波から氷への運動量伝達が氷盤形成に重要な役割を果たしている可能性が示唆された(Fujiwara et al. 2022JpGU)。

海水下波浪伝搬(成果2)

海水存在下の波浪伝搬特性についてエネルギー減衰の観点から自作超音波高度計を用いて計測を行った。造波製氷により形成された晶氷群や、整形した板氷など数種類の模型氷を用いて実験を行い、推定した減衰係数の周波数依存性につき、振動境界層理論に基づくエネルギー減衰モデルとの比較を行った。結果として模型氷の種類により適用すべき減衰モデルが異なることや、これまで考案されていた振動境界層理論に基づく減衰モデルでは説明できない減衰プロセスが実験において支配的となるケースがあることが分かった(勝野卒業論文 2021)。

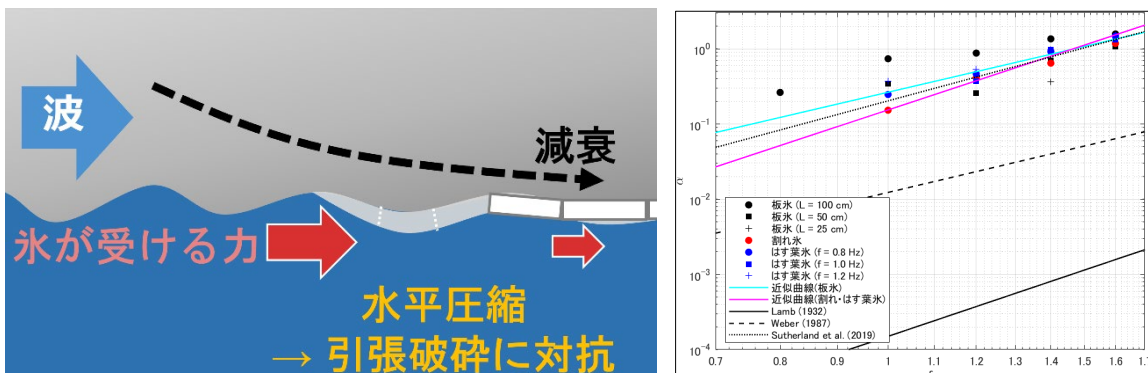


図2：淡水晶氷群の形成メカニズム(左)、波浪減衰係数の周波数依存性(右、勝野卒業論文)

海氷下波浪非線形発達（成果3）

造波製氷により形成された淡水晶氷群下での波浪の発達について、変調不安定波列を用いて計測を行った。有限振幅の単色一方向波（Stokes 波）は準共鳴相互作用により変調に対して不安定であることが知られている。本実験では擾乱を側帯波として与え、その発達を波高計で計測した。波は晶氷下で大きく減衰するが、それに伴い、スペクトルピークが低周波側にシフトすることを発見した（佐藤卒業論文、2023）。変調不安定波列は 100 波長程度で変調の度合いが増減することがわかっているが、この水槽の長さでは（8 波長程度）変調は弱いと考えられていた。このことから、波浪スペクトルが大きくダウンシフトした理由として、晶氷下での強い減衰に伴い非線形相互作用が促進された可能性が示唆される。

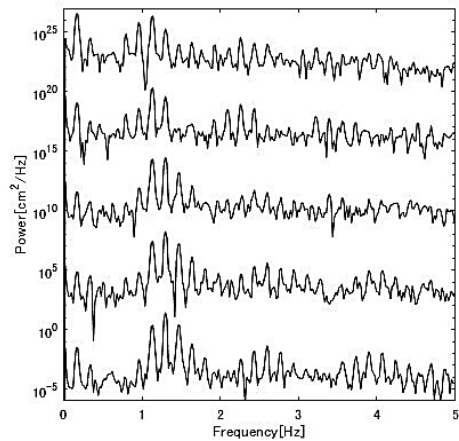


図3：変調不安定波のスペクトル発達

2) 極域波浪海氷観測

海氷が形成される海域での波浪計測を、オホーツク海、北極海、南極海で実施した。それぞれ特徴があり、オホーツク海は最も季節性が強く、日本沿岸では1月から3月の間の数か月しか海氷が存在しない。海氷は東サハリンで形成され南下し、日本沿岸に流氷帯を形成する。波浪はオホーツク海南東の開放水域で発生し流氷帯に侵入する。一方、北極海は過去には常に海氷に覆われていた。しかしながら、地球温暖化に伴い夏季に開放水面が形成されると、そこで波浪が発生し氷縁が作られるようになってきた。そのため、夏季北極海では、北極点周辺の多年氷を氷縁が囲うことになる。南極海は強い季節性を持つことが知られている。実質的には夏期には南極海を覆う広大な海氷が融解するが、一部湾内などに定着氷が残ることが知られている。特に昭和基地のあるリュッツォ・ホルム湾では、年度を越えて定着氷が存在する海域があり、その北に流氷帯、そして氷縁域が存在する。これらの海域での観測を、関連プロジェクトでの乗船機会を利用して行った。表1に観測概要に実施観測項目をまとめる。

表1：観測機会

	海域	観測船	時期	関連プロジェクト
1	オホーツク海	そうや	2020年2月	北海道大学低温科学研究所共同研究
2			2022年2月	なし
3			2023年2月	なし
4	北極海	みらい	2019年10月-11月	ArCS 北極域研究推進プロジェクト
5			2020年9月-10月	ArCSII 北極域研究加速プロジェクト
6			2021年9月-10月	
7		2022年8月-9月		
8	南極海	しらせ	2021年-2022年	極地研 公開利用研究
9			2022年-2023年	極地研 一般研究観測

これらの観測機会を利用し、本研究で準備を行った計測機器を使用し、また、それぞれの観測で得られたデータの解析を行った。波浪計測には船上に設置したステレオカメラを用いて海面の3次元計測を行った。また、投棄式の波浪ブイを氷板上に設置もしくは水面に投入して、波浪の計測を行った。

オホーツク海観測：成果4

2020年2月オホーツク海にて波浪ブイを氷板上に設置し波浪計測を行った。2月12日に波浪ブイが波浪イベントを検出したが、その時ちょうどそうやが波浪の上流側に停泊していた。そのため、ステレオカメラ画像から入射波のスペクトルを推定することができた。2点でのスペクトルの変化を見ると、低周波側の波エネルギーが増大していることがわかる。周波数依存の波浪エネルギーの減衰ではこの成長は説明できない。水槽実験から考察された、強い散逸に伴う非線形相互作用と類似している。このような現象は、変調不安定に代表される非線形相互作用が起きていることを示唆している。

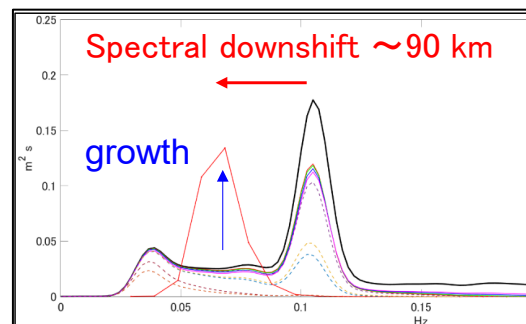


図4：観測されたスペクトルダウンシフト例

北極海観測：成果5

2019年10月の海洋地球研究船「みらい」による北極航海では、グリーンアイスや蓮葉氷が存在する氷縁域に漂流波浪ブイを展開し、また、入射する波浪の条件を観測するため、開放水面にも漂流波浪ブイを展開した。衛星画像も活用し、グリーンアイス下での周波数ごとに波の減衰係数を推定したところ、観測結果と Weber (1987) の粘性モデルの減衰率の周波数依存性には良好な一致が示された。そのため、グリーンアイス下の粘性減衰によってエネルギーが失われたことが示唆された。一方、観測された減衰率は先行研究よりも低かった。そのため、風によるエネルギー供給や減衰率の推定における不確かさなどが原因として挙げられた (Kodaira et al. 2021)。

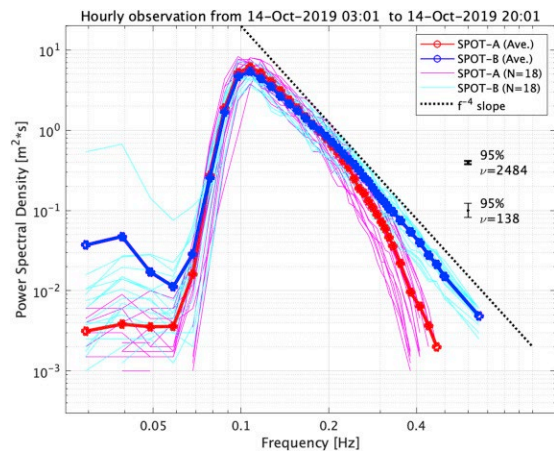


図5：海水下波浪スペクトルの変化

南極海観測：成果6

第63次および第64次南極地域観測機会を利用して、波浪ブイ観測やステレオカメラ計測を行っている。本研究の成果が十分活かされている。今後のデータ解析により、氷縁から流氷帯、そして定着氷に侵入する波浪と海氷との相互作用について新たな知見が得られることを期待する。

3) サブグリッドスケールモデリング

位相解像海水下波浪非線形モデル：成果7

氷海造波水槽および観測結果から得られた新たな知見として海水下の非線形相互作用があげられる。そのため、高次スペクトル法を用いた位相解像非線形波浪モデルに氷盤の影響を新たに追加した。氷盤の影響は二つあり、一つ目は海氷の慣性に起因する反力としての圧力場、それから、二つ目として氷盤の曲げに起因する圧力場である。これらを導入し不規則方向波の時間発展を計算した。その結果、氷盤が存在していても、非線形伝達が起こりえることが示された。氷板の慣性に起因する Mass Loading の影響は比較的小さく、非線形伝達関数は氷が無い場合と大きくは変わらない。一方、氷盤の曲げは大きく分散関係を変えるため、非線形伝達の形状も変わる可能性がある。これらをモデル化して広域スペクトルモデルに導入する。

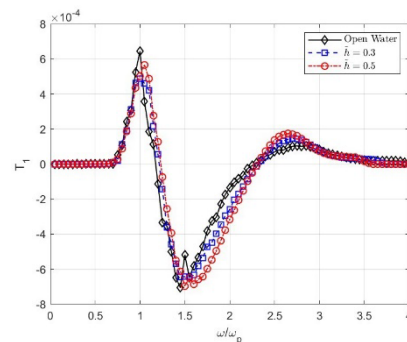


図6：非線形伝達関数の比較（海氷有無）

数値水槽：成果8

氷海造波水槽を模擬した数値水槽を構築した。造波機、消波板など備えた2次元モデルである。波浪場はポテンシャル理論に基づき境界要素法により数値的に解く。この数値水槽を用いてブランジャー形状の設計を行った。また、晶氷形成過程を再現するために熱力学モデルと晶氷モデルを構築している (Zijing 2021, Master's thesis)。

まとめ

氷縁域における海氷波浪相互作用の解明のため、氷海造波水槽における実験、様々な海域における海洋観測を行った。海水下波浪の減衰については、実験、観測ともに定性的には既存理論の範疇で説明できることが分かった。一方、その周波数依存の波浪減衰では説明できない波浪のスペクトルダウンシフトが、観測と実験ともに計測され、エネルギー散逸とは分離できない波浪の非線形発達が海水下で起こりうるということが分かった。そして、新生氷の氷板形成過程としての晶氷の形成過程に関する知見が水槽実験から得られた。これらの知見を数値的に再現するサブグリッドスケールモデルの構築に着手し、非線形伝達関数の推定を行った。

参考文献リスト

- 勝野智高、2021年、造波氷海水槽実験による氷縁域の再現と波浪減衰特性に関する研究、東京大学卒業論文
- 佐藤公哉、2022年、海水下における変調波列の発達とスペクトルダウンシフト、東京大学卒業論文
- Jin Zijing, 2021, Coupled Model for Simulating the Interaction of Waves and Ice Particles, Master's thesis, the University of Tokyo

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 11件 / うちオープンアクセス 14件）

1. 著者名 Kodaira, T., Waseda, T., Nose, T., Inoue, J.	4. 巻 10
2. 論文標題 Record high Pacific Arctic seawater temperatures and delayed sea ice advance in response to episodic atmospheric blocking	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Report	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-77488-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nose, T., Waseda, T., Kodaira, T., and Inoue, J.	4. 巻 14
2. 論文標題 Satellite-retrieved sea ice concentration uncertainty and its effect on modelling wave evolution in marginal ice zones	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Cryosphere	6. 最初と最後の頁 2029-2052
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/tc-14-2029-2020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kodaira, T., Waseda, T., Nose, T., K. Sato, Inoue, J., Voermans, J., Babanin, A.	4. 巻 27
2. 論文標題 Observation of on-ice wind waves under grease ice in the western Arctic Ocean	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 100567
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polar.2020.100567	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Nose, T., Waseda, T., Kodaira, T., Inoue, J.	4. 巻 27
2. 論文標題 On the coagulated pancake ice formation: Observation in the refreezing Chukchi Sea and comparison to the Antarctic consolidated pancake ice	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 100622
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polar.2020.100622	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Waseda, T., Nose, T., Kodaira, T., Sasmal, K., Webb, A.	4. 巻 27
2. 論文標題 Climatic trends of extreme wave events caused by Arctic Cyclones in the western Arctic Ocean	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 100625
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polar.2020.100625	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Waseda, T., S Watanabe, W Fujimoto, T Nose, T Kodaira, A Chabchoub	4. 巻 127
2. 論文標題 Directional Coherent Wave Group From an Assimilated Non-linear Wavefield	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphy.2021.622303	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Voermans, J., Q. Liu, A. Marchenko, J. Rabault, K. Filchuk, I. Ryzhov, P. Heil, T. Waseda, T. Nose, T. Kodaira, J. Li, A. V Babanin	4. 巻 15
2. 論文標題 Wave dispersion and dissipation in landfast ice: comparison of observations against models	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Cryosphere	6. 最初と最後の頁 5557-5575
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/tc-15-5557-2021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Rabault, J., T. Nose, G. Hope, M. Muller, O. Breivik, J. Voermans, L. R. Hole, P. Bohlinger, T. Waseda, T. Kodaira, T. Katsuno, M. Johnson, G. Sutherland, M. Johanson, K. H. Christensen, A. Garbo, A. Jensen, O. Gundersen, A. Marchenko, A. Babanin	4. 巻 12
2. 論文標題 OpenMetBuoy-V2021: an easy-to-build, affordable, customizable, open source instrument for oceanographic measurements of drift and waves in sea ice and the open ocean	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geosciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/geosciences12030110	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Fujimoto Wataru, Waseda Takuji	4. 巻 37
2. 論文標題 Ensemble-Based Variational Method for Nonlinear Inversion of Surface Gravity Waves	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Atmospheric and Oceanic Technology	6. 最初と最後の頁 17 ~ 31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/JTECH-D-19-0072.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Cavaleri Luigi, Barbariol Francesco, Benetazzo Alvisè, Waseda Takuji	4. 巻 100
2. 論文標題 Ocean Wave Physics and Modeling: The Message from the 2019 WISE Meeting	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bulletin of the American Meteorological Society	6. 最初と最後の頁 ES297 ~ ES300
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/BAMS-D-19-0195.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Babanin Alexander V., Rogers W. Erick, Waseda Takuji, and 19 authors	4. 巻 6
2. 論文標題 Waves and Swells in High Wind and Extreme Fetches, Measurements in the Southern Ocean	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Marine Science	6. 最初と最後の頁 0
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmars.2019.00361	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Chabchoub A., Hoffmann N., Tobisch E., Waseda T., Akhmediev N.	4. 巻 90
2. 論文標題 Drifting breathers and Fermi-Pasta-Ulam paradox for water waves	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Wave Motion	6. 最初と最後の頁 168 ~ 174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.wavemoti.2019.05.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Waseda Takuji, Fujimoto Wataru, Chabchoub Amin	4. 巻 4
2. 論文標題 On the Asymmetric Spectral Broadening of a Hydrodynamic Modulated Wave Train in the Optical Regime	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Fluids	6. 最初と最後の頁 84 ~ 84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/fluids4020084	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Chabchoub Amin, Mozumi Kento, Hoffmann Norbert, Babanin Alexander V., Toffoli Alessandro, Steer James N., van den Bremer Ton S., Akhmediev Nail, Onorato Miguel, Waseda Takuji	4. 巻 116
2. 論文標題 Directional soliton and breather beams	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 9759 ~ 9763
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1821970116	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Fujimoto, W., Waseda, T., & Webb, A.	4. 巻 69(1)
2. 論文標題 Impact of the four-wave quasi-resonance on freak wave shapes in the ocean	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ocean Dynamics	6. 最初と最後の頁 101-121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10236-018-1234-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計37件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 22件)

1. 発表者名 藤原泰、勝野智嵩、早稲田卓爾、野瀬毅彦、小平翼
2. 発表標題 氷海造波水槽における波浪・海水相互作用の実験
3. 学会等名 名古屋大学宇宙地球環境研究所共同利用研究集会「海洋波および大気海洋相互作用に関するワークショップ」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takehiko Nose, Takuji Waseda, Tsubasa Kodaira, and Yasushi Fujiwara
2. 発表標題 Analysing trend of MIZ fraction and largest waves in the Arctic Ocean and the Antarctic
3. 学会等名 Joint Seminar on Mombetsu Sea Ice Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nose, T., J. Rabault, T. Waseda, T. Kodaira, T. Katsuno, N. Kanna, K. Tateyama, J. Voermans
2. 発表標題 Ocean wave observation in the Arctic Ocean north of the Laptev Sea
3. 学会等名 The 12th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小平翼、麻崎和、勝野智嵩、野瀬毅彦、藤原泰、内_亮介、Jean Rabault、Joey Voermans、早稲田卓爾
2. 発表標題 小型海洋ドリフター及び小型波浪観測ブイ開発の試み
3. 学会等名 海洋調査技術学会第33 回研究成果発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小平翼、麻崎和、勝野智嵩、野瀬毅彦、藤原泰、内_亮介、Jean Rabault、Joey Voermans、早稲田卓爾
2. 発表標題 MEMSセンサを_いた波浪計測機器開発の試み
3. 学会等名 令和3年日本船舶海洋工学会 秋季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Alekseeva, T., Sokolova, J., Afanasyeva, E., Tikhonov, V., Raev, M., Waseda, T., Nose, T., Sharkov, E.
2. 発表標題 Peculiarities of using the data of sea ice concentration derived from satellite microwave radiometry for navigational tasks
3. 学会等名 The 36th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fujiwara, Y., Kodaira, T., Waseda, T., Nose, T., Nishizawa, K., Uchiyama R.
2. 発表標題 Lagrangian observation of sea ice drift
3. 学会等名 The 36th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤原泰、小平翼、早稲田卓爾、野瀬毅彦、西澤啓太、内山亮介
2. 発表標題 海水漂流のラグランジュ的観測
3. 学会等名 J-ARCNet共同研究集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fujiwara, Y., Katsuno, T., Waseda, T., Nose, T., Kodaira, T
2. 発表標題 Laboratory experiments of ice floe formation under wave motions
3. 学会等名 Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Katsuno, T., Fujiwara, Y., Waseda, T., Nose, T., Kodaira, T.
2. 発表標題 Experimental research on wave attenuation in the Marginal Ice Zone
3. 学会等名 Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kodaira, T., Waseda, T., Nose, T., Inoue, J.
2. 発表標題 Record high Pacific Arctic seawater temperatures and delayed sea ice advance in response to episodic atmospheric blocking
3. 学会等名 Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kodaira, T., Waseda, T., Nose, T., Fujiwara, Y.
2. 発表標題 Interannual variation of sea ice concentration over the Canada Basin
3. 学会等名 The 36th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kodaira, T., Waseda, T., Nose, T., Inoue, J.
2. 発表標題 Record high Pacific Arctic seawater temperatures and delayed sea ice advance in response to episodic atmospheric blocking
3. 学会等名 Ocean Sciences Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 Nose, T., Rebault, J., Waseda, T., Kodaira., T., Katsuno, T., Kanna, N., Tateyama, K., Voremans, J., Alekseeva, T.
2 . 発表標題 Observation and model comparison of surface ocean waves in the Laptev Sea
3 . 学会等名 The 36th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Nose, T., Rabault, J., Waseda, T., Kodaira., T., Katsuno, T., Kanna, N., Tateyama, K., Voremans, J.
2 . 発表標題 Ocean wave observation in the Arctic Ocean north of the Laptev Sea
3 . 学会等名 the 12th Symposium on Polar Science (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Tateyama, K., Timofeeva, A., Kanna, N., Waseda, T., Enomoto, H.
2 . 発表標題 Sea ice observation using a portable and satelliteborne passive microwave radiometers in 2021 NABOS expedition
3 . 学会等名 The 36th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Uchiyama R., Waseda, T., Ozeki, T., Kodaira, T., Fujiwara,Y., Yamaguchi, H.
2 . 発表標題 Analysis on long-term trend of vessel icing predictor in the Arctic Ocean and measurement of sea spray and waves on R/V Mirai
3 . 学会等名 The 36th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Waseda, T., Matsuzawa T., Tateyama K., Kodaira, T., Fujiwara, Y., Katsuo T., Nose, T., Nishizawa, K., Sato K., Uchiyama, R
2 . 発表標題 Radar observation of sea-ice and waves in a controlled laboratory environment
3 . 学会等名 The 36th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Jin, Z., Waseda, T., Fujiwara, Y., Katsuo T.
2 . 発表標題 Coupled model for simulating the interaction of wave and ice particles
3 . 学会等名 The 36th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Watanabe, S., W. Fujimoto, T. Nose, T. Kodaira, G. Davies, D. Lechner, T. Waseda
2 . 発表標題 Data Assimilation of the Stereo Reconstructed Wave Fields to a Nonlinear Phase Resolved Wave Model
3 . 学会等名 ASME 2019 38th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Waseda, T., T. Nose, T. Kodaira, A. Kohout, J. Gemmrich, H. Shen, and J. Inoue
2 . 発表標題 Waves in the refreezing eastern Chukchi Sea during 2018 Mirai Cruise
3 . 学会等名 Pacific Congress on Marine Science and Technology (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Waseda, T. , T. Kodaira, T. Nose, K. Nakano, K. Sasmal, K. Sato, and J. Inoue
2. 発表標題 Trends and uncertainties of ocean waves in the Northern Sea Routes
3. 学会等名 ISAR-6 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 WASEDA, T., T. NOSE, T. KODAIRA, A. KOHOUT, J. GEMMRICH, H. SHEN, J. INOUE
2. 発表標題 Observed Waves in the refreezing eastern Chukchi Sea during 2018 Mirai Cruise
3. 学会等名 JpGU 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 WASEDA, T., T. NOSE, T. KODAIRA, A. KOHOUT, J. GEMMRICH, H. SHEN, J. INOUE
2. 発表標題 Observed Waves in the refreezing eastern Chukchi Sea during 2018 Mirai Cruise
3. 学会等名 第3 4回北方圏国際シンポジウム「オホーツク海と流氷」(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Babanin, A. and 21 authors, T. Waseda
2. 発表標題 Waves and Swells in High Wind and Extreme Fetches, Measurements in the Southern Ocean
3. 学会等名 Ocean Obs'19 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 早稲田卓爾
2. 発表標題 海洋における波群の形成 ~海洋波は非線形か?~
3. 学会等名 九州大学応用力学研究所共同利用研究集会非線形波動研究の多様性(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nose T, Waseda T, Kodaira T, Inoue J
2. 発表標題 Sea ice observations along a fixed Marginal Ice Zone transect in the refreezing eastern Chukchi Sea
3. 学会等名 The 34th Symposium of the Okhotsk Sea and Polar Oceans (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nose T, Waseda T, Kodaira T, Inoue J
2. 発表標題 Waves in ice-covered water along an MIZ transect
3. 学会等名 WISE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nose T, Waseda T, Kodaira T, Inoue J
2. 発表標題 Marginal ice zone sea ice observations in the refreezing Chukchi Sea along R/V Mirai (MR18-05C) fixed transect
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nose T, Waseda T, Kodaira T, Inoue J
2. 発表標題 Sea ice observations along a fixed MIZ transect in the refreezing Chukchi Sea: Sea ice concentration uncertainty in MIZ
3. 学会等名 ECMWF observational campaigns for better weather forecasts
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nose T, Waseda T, Kodaira T, Inoue J
2. 発表標題 Predictability of waves near marginal ice zones during R/V Mirai observational campaign
3. 学会等名 2nd International workshop on waves, storm surges, and coastal hazards
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nose T, Waseda T, Kodaira T, Inoue J, Sato K, Babanin A, Voermans J
2. 発表標題 Observation and modelling of marginal ice zone waves in the refreezing Beaufort Sea
3. 学会等名 The 35th Symposium of the Okhotsk Sea and Polar Oceans (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kodaira T, T. Nose, T. Waseda, J. Inoue
2. 発表標題 Oceanographic observation of refreezing warm Chukchi sea during 2018 Mirai Cruise
3. 学会等名 The 34th Symposium of the Okhotsk Sea and Polar Oceans (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kodaira T, T. Nose, T. Waseda, J. Inoue
2. 発表標題 Waves and Ocean Currents Observed in the Refreezing Warm Chukchi Sea during 2018 Mirai
3. 学会等名 WISE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kodaira T, T. Nose, T. Waseda, J. Inoue
2. 発表標題 Oceanographic Observation in the Refreezing Warm Chukchi Sea during 2018 Mirai Cruise
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小平翼、野瀬毅彦、早稲田卓爾、猪上淳
2. 発表標題 2018年北極域チュクチ海における結氷進行の遅延について
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会令和元年秋季講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kodaira T, T. Nose, T. Waseda, J. Inoue
2. 発表標題 Delayed Chukchi Sea Ice Advance by the Anomalous Warm SST in November 2018
3. 学会等名 Ocean Science Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2019年～2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	松沢 孝俊 (Matsuzawa Takatoshi) (00443242)	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局 等・研究員 (82627)	
研究 分担者	小平 翼 (Kodaira Tsubasa) (60795459)	東京大学・大学院新領域創成科学研究科・助教 (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計1件

国際研究集会 26th Waves In Sea Environment	開催年 2019年～2019年
---	--------------------

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------