

令和 2 年 6 月 1 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03493

研究課題名(和文) 次世代の船舶運航・操船支援システムの研究開発

研究課題名(英文) R&D of Next Generation Support System for Ship Operation/Handling

研究代表者

橋本 博公 (Hashimoto, Hirotada)

神戸大学・海洋底探査センター・准教授

研究者番号：30397731

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,200,000円

研究成果の概要(和文)：人工衛星で受信したAIS(船舶自動識別装置)データと波浪推算データを組み合わせることで、大洋航行を行う船舶の荒天回避基準を明らかにし、これを組み込んだ実航海シミュレーションを開発した。また、拘束模型実験にもとづき、空中露出度合いを変数とするプロペラ推力と舵力のモデル化を行った。これをGPGPU粒子法ベースの波浪中操縦シミュレーションに組み込むことにより、荒天遭遇時の操船指針を議論することを可能とした。さらに、深層強化学習として知られるdeep Q-learningを応用し、目的地へ向かいつつ自動的に衝突回避を行う自動避航操船技術を開発し、複数の自走式模型船を用いた模型実験により実証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

熟練船長が行っている大洋航行時の荒天回避基準のモデル化、荒天遭遇時の操船指針の検討に耐える操縦性シミュレーション手法の構築、目的地へと向かいつつ、衝突・座礁の危険を自動的に回避する自動避航技術が開発されたことにより、次世代の船舶運航・操船支援システムの基盤的技術が確立されたといえる。特に、deep Q-learningにもとづく自動衝突回避では、世界で初めて複数の自走式模型船による実証実験を行っており、自動運航船の早期実現に向けた先駆的技術として期待できる。

研究成果の概要(英文)：By combining AIS (Automatic Identification System) data received by artificial satellites and ocean wave prediction data, a criterion for avoiding stormy weather in route selection of oceangoing vessels was derived and a reliable voyage simulation was developed by incorporating the criterion. By conducting a captive model test, an empirical model of propeller thrust and rudder forces using air exposure ratio as a variable were obtained. Then numerical simulation of ship maneuver in stormy weather was developed based on the moving particle simulation using multi GPUs. By applying deep Q-learning, which is known as a deep reinforcement learning, an automatic collision avoidance technique was realized for ships navigating to a destination and it was validated by a free-running model experiment using multiple ships.

研究分野：船舶工学

キーワード：実航海シミュレーション 衛星AIS 荒天中操縦性 大規模粒子法 GPGPU 自動衝突回避 deep Q-learning

様式 C-19, F-19-1, Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

国際物流の大半を担う船舶の安全性確保は古くからの課題である。船舶の海難事故は、貴重な資源の大量喪失や深刻な海洋汚染に繋がりをうため、国際海事機関 (IMO) では船舶の安全性向上を目指して基準の強化が進められてきたが、船舶の重大事故は依然として発生し続けている。設計基準の強化によって安全性向上が図られている一方で、極端な載荷状態での運航、ラッシングやバラスト水調整の不具合、運航スケジュールを維持するための荒天突破など、運航に関わる人的要因がこうした事故の一因と指摘されている。海運業界は厳しい国際競争の中で利益を追求しているため、安全性よりも経済性や定時性が重要視されやすいことは否めない。また、近年の気象・海象予報の精度向上やウェザールーティングの普及に伴って、荒天中の操船経験に乏しい船長の割合が増大していることも看過できず、運航者の安全に対する意識向上や荒天遭遇時の操船技術向上が求められている。

従来は重大な船舶事故が発生するたびに設計基準の強化を行ってきたが、設計の自由度や費用対効果の面から設計要件のみでの安全性向上は限界に達しているとの認識が広まっており、欧州諸国の一部からは、運航・操船努力による危険回避を積極的に活用すべきとの主張が出てきている。実際、IMO にて最終化の審議が進められている第二世代非損傷時復原性基準においては、設計要件を満たせない船舶であっても運航制限や操船ガイダンスを課すことで安全基準適合とみなす枠組みが合意されており、今後は設計だけでなく運航も加えた形での安全性向上の検討が必要となる。

こうした検討のためには、熟練船長が行っている危険海象を回避するための判断基準を明らかにすること、荒天に遭遇した場合でも安全性を担保することのできる操船術を示すことなどが求められるが、気象・海象予測の不確かさや到着時間の厳守が求められる運航実態のなかで、いかにして安全性と経済性を両立させるか、経験に乏しい運航者が増加するなかで荒天中の操船技術をいかにして向上させるかが、今後の海上輸送船舶の安全性向上に向けて解決すべき課題となっている。さらには、燃料費高騰に伴う一層の運航コスト削減圧力や、将来の安定的な船員確保が困難な状況を考えると、船舶運航に関わる省人化を進めるための革新的な技術開発が求められる。

2. 研究の目的

従来の安全性基準では取り扱われていなかった運航・操船努力による船舶の安全性向上の実現に向けた研究開発を行う。はじめに、人工衛星で記録された船舶自動識別装置 (AIS) データから得られる航路実績と波浪推算データを照らし合わせて解析を実施することにより、荒天が見込まれる場合の航路選定や航海中の航路変更の判断基準について、数値化やモデル化を行う。これを申請者らが開発してきたウェザールーティングモデルに組み込むことで、大洋航海の実態を再現可能な実航海シミュレーションを開発する。ウェザールーティングに関する研究は数多く報告例があるが、燃料消費量の最小化など経済性に主眼を置いた研究が大半であり、安全性担保のための荒天回避の義務化が実運航に及ぼす影響を検討した例はない。本研究では、大洋を航行するあらゆる船舶の運航実態が含まれる衛星 AIS データに着目し、荒天に対する船長判断の普遍的モデルを構築することで、運航努力による安全性確保の検討に資する実航海シミュレーションとして確立する。

これと並行して、船体や貨物が危険に晒されるような厳しい荒天下での操船影響を評価可能とするために、既存の粒子法ベースの波浪中船体運動シミュレーションを拡張し、耐航性や操縦性に影響が大きいプロペラや舵の空中露出影響までを評価可能な操縦運動シミュレーションを開発する。近年の数値流体力学 (CFD) の技術発展により、大波高中の非線形船体運動を高精度に再現することも可能となりつつあるが、運航者に提示すべき荒天時の操船指針の検討に資するシミュレーション開発にまでは至っていない。本研究では、プロペラ・舵の物理モデルと粒子法を組み合わせることで、増減速や操舵時の操船性までを評価可能な荒天中操縦シミュレーションを開発する。

さらに、人工知能分野で画期的な成果をあげている深層強化学習を応用することで、衝突や座礁を自動的に回避する自動操船技術を開発する。これらの成果を踏まえて、運航・操船努力による船舶の安全性向上という今後の新しい枠組みの確立に貢献するとともに、自動操船を含む次世代型の船舶運航・操船支援システムの立案を行う。

3. 研究の方法

① 実航海シミュレーションの構築

大洋航海を行う船舶の運航実態の解析は、exactEarth 社から購入した衛星 AIS データとアメリカ国立環境予測センター (NCEP) が提供する海象データを組み合わせることで行った。入手した衛星 AIS データから、荒天時期である 2015 年 12 月 1 日から 2016 年 2 月 28 日までの間に太平洋と大西洋のいずれかを横断する航海を行ったコンテナ船を抽出して解析を行った。この際、NCEP のデータの時間間隔と同じく 3 時間毎の船位を求めるが、大洋横断中に 12 時間以上 AIS 信号を受信できていなかった航海については解析から除外した。最終的に抽出された解析対象隻数と航海数は、太平洋で 463 隻 (1,100 航海)、大西洋で 340 隻 (724 航海) であった。この AIS データと NCEP の海象データを照らし合わせることで、大洋航行中に実際に船舶が遭遇した波高や波向きなどが明らかとなる。さらに、船長の荒天回避基準を議論するために、航路として選択

が可能な航行可能全海域における波高の発生確率密度関数を算出し、これと実際の遭遇波高の確率密度関数を比較することで、船長が意図的に回避している波高（許容限界値）を明らかにした。

この許容限界波高モデルを既開発のウェザールーティングモデルに経済的損失として組み入れることで、船長の荒天回避判断特性が考慮された実航海シミュレーションとして構築した。大洋航海の再現精度を確認するため、AIS データに含まれる全ての大洋横断航海について、出発地と到着地及び平均船速に対応する回転数を与えてシミュレーションを行い、得られた航路を実際の航路と比較することで精度検証を行った。

② 荒天中操縦シミュレーションの開発

粒子法の陽的 MPS (Moving Particle Simulation) と GPGPU (General Purpose computing on Graphics Processing Unit) をコア技術として、荒天中での船体操縦運動を予測可能なシミュレーション手法を開発する。この目的のためには、滑らかな船体形状を粒子で表現し、船体周りの計算領域を十分に確保する必要があることから、複数の GPU を用いた大規模並列計算を実行可能とする。

荒天時の操船影響の評価にはプロペラや舵の考慮が不可欠であるが、プロペラ周りの流れを直接計算することは容易ではないため、物理モデルにもとづきプロペラの推力を体積力として考慮し、舵力の推定には MMG 操縦運動モデルの考え方を採用する。荒天航行時にはプロペラや舵が頻繁に空中に露出すると考えられるため、空中露出割合を変数とするプロペラ推力モデル、舵力モデルを拘束模型実験結果にもとづき構築する。これらのモデルと粒子法による波浪中船体運動シミュレーションを組み合わせることで、荒天航行時の速力低下や舵効きの低下などを再現可能とする。

③ 自動避航操船技術の開発

衝突回避操船における船長の危険判断や回避行動選択のプロセスを明瞭に記述することは容易ではない。そこで、深層強化学習として知られる deep Q-learning を船舶の衝突回避問題に適用することで、自動避航操船の実現を試みた。強化学習により得られる知能は予め設定した報酬関数に大きく左右されるため、報酬の与え方や学習設定が人間に要求される重要なタスクとなるが、今回の問題では衝突回避が唯一の目的であるため、衝突した場合に大きな負の報酬を課す報酬関数とした。衝突危険の学習にはバンパーモデルを使用し、海上衝突予防法の遵守を課すための工夫を行った。また、不確かさが含まれないシミュレーションのみでの検証では不十分と考えられるため、複数の自走式模型船を用いた検証実験を行った。

4. 研究成果

各研究項目について、主な研究成果を以下に示す。

① 実航海シミュレーションの構築

太平洋及び大西洋を横断するコンテナ船について、衛星 AIS から得た実航海データ、燃料消費量を最小化するウェザールーティング、本研究で構築した運航許容限界モデルを組み込んだ実航海シミュレーションの比較を図 1 に示す。大西洋の場合には元々再現性が良かったため制限波高を組み込む前後でそれほど大きな違いは見られない。しかし、太平洋の場合はルートの広がり具合が実際の航海に近くなっている。特に東航では、モデル組み込み前は 30° N 以北にシミュレーションルートが偏っていたが、組み込み後はそれが解消され、 30° N 以南にも広がり、実際の航海ルートに近い傾向に変化している。

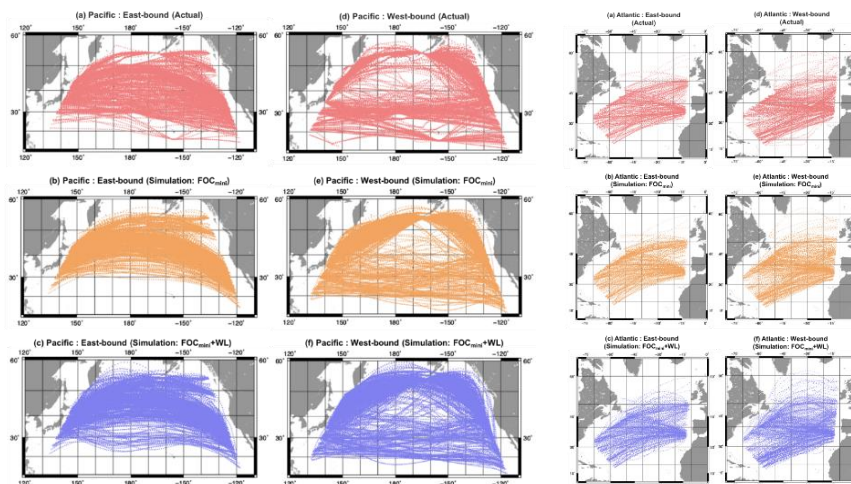


図 1 太平洋及び大西洋の実航海データと航海シミュレーションの比較：
(a) 実航海, (b) ウェザールーティング, (c) 実航海シミュレーション

② 荒天中操縦シミュレーションの開発

空中露出を考慮したプロペラ推力、舵力モデルの構築のため、水産研究・教育機構水産工学研究所の漁船推進性能実験棟にて拘束模型実験を実施した。図 2(a)のように、上下揺れと縦揺れを自由とした状態で波浪中自航試験を行い、プロペラ推力、舵力並びに両位置での水位変動を計測することで波浪中変動のモデル化を行った。さらに、このモデルを組み込むべき数値シミュレーションについて、波浪中での操縦運動をシミュレートするために、計算コードの拡張と計算機環境の構築を行った。図 2(b)はコンテナ船を対象とした斜め向波中での操縦運動シミュレーションの一例である。粒子法ベースの操縦運動シミュレーションの開発に時間を要したため、空中露出度合いをパラメータとして整理したプロペラ推力・舵力の実験モデルを組み込んだシミュレーションは未実施となっている。

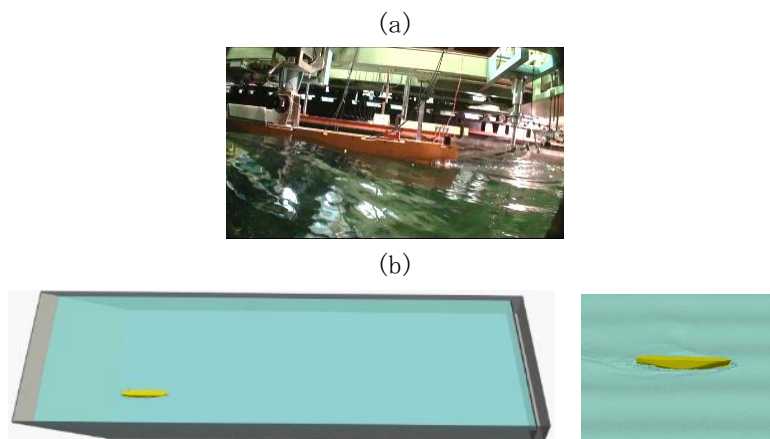


図 2 (a)拘束模型試験の様子, (b)数値水槽と波浪中操縦運動シミュレーション

③ 自動避航操船技術の開発

Deep Q-learning による自動衝突回避の学習結果を検証するため、水産研究・教育機構水産工学研究所の海洋工学総合実験棟にて、操縦性の異なる 3 隻の自走式模型船を用いた実験を行った。実験時のスナップショットを図 3(a), 3 隻の航跡図を図 3(b)に示す。なお、図 3(c)はそのうちの 5 分間を抜き出したものである。狭い水槽内において、模型船 3 隻が 4 点の目的地に向かって航行した場合でも、30 分間にわたり安定して衝突回避を達成可能であることが確認された。航跡図に見られるように、実験では位置計測データにかなりのノイズが含まれていたが、こうしたノイズに対しても堅牢な結果が得られたことは実用の点でも価値のある成果といえる。さらに、水槽中央部に仮想の障害物を設けた場合でも他船と境界仮想壁、仮想障害物を避けて航行することが可能であった。これは人間では達成が極めて困難なレベルの避航操船であると考えられることから、今回の実験結果は船舶の衝突回避問題に対する深層強化学習の大いなる可能性を示すものとなった。

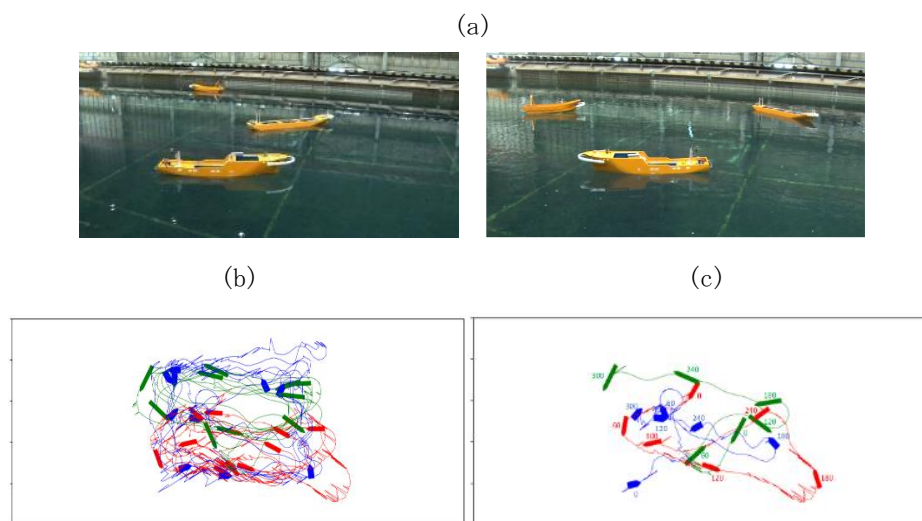


図 3 (a) 3 隻の模型船を用いた自動避航操船の実証実験, (b) 3 隻の航跡図 (30 分間), (c) 3 隻の航跡図 (5 分間)

以上のように、熟練船長が行っている大洋航行時の荒天回避判断のモデル化、荒天遭遇時の操船指針の検討に耐える高精度シミュレーション手法の構築、目的地への到達と衝突・座礁の危険を自動的に回避する避航操船技術が開発されたことにより、次世代の船舶運航・操船支援システムの基盤技術が確立されたといえる。特に、deep Q-learning にもとづく自律操船については、世界で初めて複数の自走式模型船による実証実験を行うなど、自動運航船の早期実現を目指すための先駆的技術として期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Fujii Michio, Hashimoto Hirotsada, Taniguchi Yuuki, Kobayashi Eiichi	4. 巻 24
2. 論文標題 Statistical validation of a voyage simulation model for ocean-going ships using satellite AIS data	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Marine Science and Technology	6. 最初と最後の頁 1297 ~ 1307
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00773-019-00626-3	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 -
1. 著者名 Shen Haiqing, Hashimoto Hirotsada, Matsuda Akihiko, Taniguchi Yuuki, Terada Daisuke, Guo Chen	4. 巻 86
2. 論文標題 Automatic collision avoidance of multiple ships based on deep Q-learning	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Ocean Research	6. 最初と最後の頁 268 ~ 288
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apor.2019.02.020	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 Trimulyono Andi, Hashimoto Hirotsada	4. 巻 7(1), 17
2. 論文標題 Experimental Validation of Smoothed Particle Hydrodynamics on Generation and Propagation of Water Waves	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Marine Science and Engineering	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/jmse7010017	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 Hashimoto Hirotsada, Yoneda Shota, Omura Tomoyuki, Umeda Naoya, Matsuda Akihiko, Stern Frederick, Tahara Yusuke	4. 巻 -
2. 論文標題 CFD prediction of wave-induced forces on ships running in irregular stern quartering seas	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 13th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles	6. 最初と最後の頁 99-108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Hashimoto Hirotsada, Omura Tomoyuki, Matsuda Akihiko, Yoneda Shota, Stern Frederick, Tahara Yusuke	4. 巻 -
2. 論文標題 Some remarks on EFD and CFD for ship roll decay	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 13th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles	6. 最初と最後の頁 339-349
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Naoyuki Onodera, Yasuhiro Idomura	4. 巻 -
2. 論文標題 Acceleration of Plume Dispersion Simulation Using Locally Mesh-Refined Lattice Boltzmann Method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 26th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-26) (Internet)	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) 10.1115/ICONE26-82145	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 -

1. 著者名 Naoyuki Onodera, Yasuhiro Idomura, Yussuf Ali, Takashi Shimokawabe	4. 巻 -
2. 論文標題 Communication Reduced Multi-time-step Algorithm for Real-Time Wind Simulation on GPU-based Supercomputers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 9th Workshop on Latest Advances in Scalable Algorithms for Large-Scale Systems (ScaIA 2018) (Internet)	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) 10.1109/ScaIA.2018.00005	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 -

1. 著者名 Naoyuki Onodera, Yasuhiro Idomura	4. 巻 -
2. 論文標題 Acceleration of Wind Simulation Using Locally Mesh-Refined Lattice Boltzmann Method on GPU-Rich Supercomputers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 SCFA 2018: Supercomputing Frontiers	6. 最初と最後の頁 128-145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/978-3-319-69953-0_8	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 橋本 博公、Haiqing Shen、松田 秋彦、谷口 裕樹	4. 巻 56
2. 論文標題 漁船の衝突防止へのAI 活用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本水産工学会誌	6. 最初と最後の頁 51 ~ 55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18903/fisheng.56.1_51	査読の有無 無
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 Hashimoto Hirotsada、Omura Tomoyuki、Matsuda Akihiko、Yoneda Shota、Stern Frederick、Tahara Yusuke	4. 巻 186
2. 論文標題 Several remarks on EFD and CFD for ship roll decay	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ocean Engineering	6. 最初と最後の頁 106082 ~ 106082
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.oceaneng.2019.05.064	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 Hashimoto Hirotsada、Yoneda Shota、Omura Tomoyuki、Umeda Naoya、Matsuda Akihiko、Stern Frederick、Tahara Yusuke	4. 巻 188
2. 論文標題 CFD prediction of wave-induced forces on ships running in irregular stern quartering seas	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ocean Engineering	6. 最初と最後の頁 106277 ~ 106277
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.oceaneng.2019.106277	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 Fujii Michio、Hashimoto Hirotsada、Taniguchi Yuuki	4. 巻 14
2. 論文標題 Comparison of Master 's Route Selection Criteria of Vehicle Carriers in North Pacific and North Atlantic Using Satellite AIS and Ocean Wave Data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation	6. 最初と最後の頁 137-141
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.12716/1001.14.01.16	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 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 橋本 博公、Haiqing Shen、松田 秋彦、谷口 裕樹
2. 発表標題 漁船の衝突防止への AI 活用
3. 学会等名 平成30年度日本水産工学会秋季シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoyuki Onodera, Yasuhiro Idomura, Yussuf Ali, Takashi Shimokawabe
2. 発表標題 Communication reduced multi-time-step algorithm for the AMR-based lattice Boltzmann method on GPU-rich supercomputers
3. 学会等名 The 1st R-CCS International Symposium（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoyuki Onodera, Yasuhiro Idomura
2. 発表標題 Acceleration of turbulent wind simulation using locally mesh-refined Lattice Boltzmann Method
3. 学会等名 18th SIAM Conf. Parallel Processing for Scientific Computing（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小野寺 直幸, 井戸村 泰宏
2. 発表標題 適合細分化格子を用いた格子ボルツマン法による物質拡散計算
3. 学会等名 第31回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小野寺 直幸、井戸村 泰宏、アリ ユスフ、山下 晋、伊奈 拓也、今村 俊幸
2. 発表標題 GPUによる多相流解析コードJUPITERのPoisson方程式の高速化
3. 学会等名 第33回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小野寺 直幸、井戸村 泰宏、河村 拓馬、中山 浩成、下川辺 隆史、青木 尊之
2. 発表標題 局所細分化格子ボルツマン法を用いたオクラホマシティにおけるトレーサー拡散解析
3. 学会等名 計算工学講演会論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hashimoto Hirotada
2. 発表標題 Computational Approaches for Safety Assessment of Ships
3. 学会等名 The 6th International Conference on Ship and Offshore Technology -ICSOT Indonesia 2019- (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019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	松田 秋彦 (Matsuda Akihiko) (10344334)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産工学研究所・グループ長 (82708)	

6. 研究組織（つづき）

	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	小野寺 直幸 (Onodera Naoyuki) (50614484)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・システム計算科学センター・研究職 (82110)	
研究 協力者	小林 英一 (Kobayashi Eiichi)		
研究 協力者	谷口 裕樹 (Taniguchi Yuuki)		
研究 協力者	藤井 迪生 (Fujii Michio)		
研究 協力者	梅田 直哉 (Umeda Naoya)		
研究 協力者	田原 裕介 (Tahara Yusuke)		
研究 協力者	寺田 大介 (Terada Daisuke)		
研究 協力者	米田 翔太 (Yoneda Shota)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	大村 智之 (Omura Tomoyuki)		
研究協力者	スターン フレドリック (Stern Frederick)		
研究協力者	沈 海青 (Shen Haiqing)		
研究協力者	トリムリョノ アンディ (Trimulyono Andi)		