

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：32607

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K07533

研究課題名(和文)震災復興で派遣された台船は生物多様性を攪乱する？

研究課題名(英文) Did salvage barges tasked to reconstruct devastated Tohoku areas by 2011 GEJA disturbed biodiversities in the northeast coast of Japan?

研究代表者

加戸 隆介 (Kado, Ryusuke)

北里大学・海洋生命科学部・名誉教授

研究者番号：40161137

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：2012年に東北太平洋岸に侵入が確認された外来種ナンオウフジツボは、日本海側では富山湾から江差海域に、太平洋岸では当初は若手海域にのみ確認され、遺伝子解析より日本海側の広い海域からの侵入が推察された事より、ベクターとして台船の存在が強く示唆された。本種は潮間帯下部から潮下帯上部に生息し、水温が15℃を越えると付着が見られ、2012年以降、付着期間は徐々に長期化した。本種の第2期幼生は他種の同期の幼生と識別可能である。東北海域では、キタムラサキウニ、チヂミボラ、イボニシが捕食者として本種の生存に影響を与えていたが、2017年において本種が生物多様性を攪乱する程には至っていなかった。

研究成果の概要(英文)：New alien barnacle, *Perforatus perforatus* which was found in the Pacific coast of northern Tohoku at the first time, ranged from Toyama Bay to Esashi in the Japan Sea side and Iwate coastal areas in the Pacific side in 2012. CO1 gene analysis revealed that Iwate population had no bottleneck effect and was probably brought from wide range of populations along the Japan Sea side, suggesting that salvage barges and the tug boats, which had tasks for reconstruction from the 2011 Great East Japan Earthquake and came from various ports in the Japan Sea side would be vectors. This species starts to settle at 15 degree C in the seawater temperature and the settlement periods lengthened year by year. The stage II nauplii can be discriminated from other barnacle nauplii. Survival of this barnacle was affected by sea urchin *Strongylocentrotus nudus* and muricid gastropods *Nucella freycineti* and *Thais clavigera*, and biodiversities in this area had not been disturbed seriously at the time of 2017.

研究分野：coastal marine ecology

キーワード：alien barnacle *Perforatus perforatus* anthropogenic activity salvage barges CO1 analysis settlement season growth predators

1. 研究開始当初の背景

(1) 2011年3月に起こった未曾有の大震災から3年が経ち、その影響が多数の研究者により評価されてきている。それによると、大規模防波堤の築堤や宅地造成による二次的影響と有毒藻などの発生を除けば、水質および生物は概ね旧に復したか、回復傾向にあり、震災による影響は収まったかに見えるが、果たしてそうだろうか。

本申請者は、30年近く三陸沿岸において、潮間帯生物の生態研究を実施してきた経験と情報を踏まえ、東日本大震災の海洋生物への影響を評価すべく、地盤沈下面での生物遷移をこれまで4年間にわたり追跡調査してきた。その結果、震災前に実施した潮間帯生物の多様性回復を目指した調査研究において、試験基板上で見られた生物遷移が震災後の地盤沈下面でも同様に繰り返されていること、大震災による生物遷移が決して稀有なものでないとの事実を明らかにしてきた。

(2) こうした研究過程で、申請者らは震災後の2012年に新たな外来フジツボ *Perforatus perforatus* (この年に和名をナンオウフジツボと命名) の東北太平洋岸への侵入を確認した。1989年から三陸の越喜来湾で継続している付着生物の長期モニタリングでは、この種は震災以前には岩手には分布していなかった。南欧州が原産地である本外来種ナンオウフジツボは2004年に韓国に侵入が報告され(Choi et al, 2013)、2012年の調査で秋田県には既に広域に分布していることが申請者の調査により明らかとなった。震災復興工事のため東北太平洋岸には日本各地から台船が集結しており、岩手には秋田や新潟だけでなく、鹿児島、大分、佐賀、福岡、倉敷、石狩等からも台船が来港・長期滞在している。新潟の台船のフェンダーにこの外来種が付着していたことから、震災後に岩手で発見されたこの外来種は、台船をベクターとして日本海側から持ち込まれた可能性が高いことが推測されるに至った。

(3) 一方、申請者は2000年に東北地方太平洋岸への寒流系外来種 *Balanus glandula* (キタアメリカフジツボ) の侵入を発見し、国内での分布状況を明らかにした。さらに木材運搬船がベクター役となってアラスカの商業港から北日本に移入させた可能性が高いことを国際共同研究による遺伝子解析により明らかにした。さらに、この外来種の日本国内での分布拡大に台船が関与していることも指摘した。

(4) これらの背景を踏まえ、以下の問題についての学術的検討が必要と判断された。

震災復興のため被災地で活動中の台船は復興工事が終了すればいずれ母港に帰港する。その際、東北の港湾で船体に付着させた外来種を気付かないまま寄港地経由で母港に持ち帰ることは容易に想像される。この際、台船自体が再びベクター役となって外来種拡散を助長することになり、震災による影響が被災地域だけに留まらず、被害は今後さらに広がる可能性がある。

2. 研究の目的

本研究は、2011年の東日本大震災後に東北太平洋岸への侵入が新たに確認された外来フジツボであるナンオウフジツボについて、この種が、震災復興工事のために日本海側から来港した台船が持ち込んだとする仮説を検証し、次いで、この種の形態学的、生態学的特徴を明らかにすることで、今後の分布拡大リスクを知り、その対策に資するものであ

る。そのために、(1)この外来フジツボの遺伝子解析に基づく移入経路の解明、(2)東北太平洋岸における本種の付着生態、成長・生残の解明、(3)分散に関わる幼生の形態や環境要因に対する行動の解明、を行う。

3. 研究の方法

(1) 分布域と移入経路の解明：干潮時を狙って未調査地(日本海側：対馬～利尻島、太平洋側：青森県～宮城県)を訪れ、国内での本種の分布の現状を3年間に渡り調査した。なお、港湾などの壁面調査のために水中ビデオカメラを改良し、岸壁上から本種の存否を確認できる装置を作製した。さらに分布確認地において標本を採集し、これらを材料としてCOI遺伝子による遺伝子解析を行い、移入経路について考察した。

(2) 生息水深の解明：分布調査で用いた水中ビデオカメラを用いて、岩手県越喜来湾崎浜、大槌湾赤浜において、本種の生息潮位を継続的に調べた。

(3) 付着生態・成長速度の解明：本種の付着を最初に確認した岩手県越喜来湾崎浜第2防波堤の潮間帯下部に付着板(25cm×25cmの灰色塩ビ板)を設置し、経月調査を行うことにより付着時期を調べた。また、越喜来湾の崎浜港内に設置した試験板(10cm×20cm)に付着した本種を個体識別し、殻底長径を指標とした成長を追跡して、成長速度を調べた。

(4) 幼生形態：幼生飼育を通じて得られた各発生段階の幼生を材料として、光学顕微鏡下で頭甲の形態について調べ、すでに明らかになっている東北海域に出現するフジツボ類幼生のそれと比較することにより、幼生期における種同定の可否について検討した。

(5) 幼生の走性と付着特性：幼生飼育で得られた同一発生段階の本種幼生をディスプレイ(ニッコー・ハンセン(株))の一端に10個体収容し、これをハイスピードカメラ(VW-9000, KEYENCE)を取り付けた顕微鏡下にセットした。このディスプレイに側面から波長可変LEDライト(AU-9525, ASYCK)を照射し3つの異なる波長(赤：620nm、緑：525nm、青：470nm)に対する行動の様子を調べた。

付着特性を調べるため、変態後4日経過したキブリス幼生50個体を口径9cmの滅菌ポリスチレン製ペトリディッシュに海水とともに入れ、容器底面の外側を4等分するように赤、黄、緑、青のラシヤ紙を配置した。この容器3組を光が均一になるようにターンテーブル上に載せ、900 lux、15の恒温庫内に収容し、20日後に各色区画内に付着した個体数を調べた。

同様の行動特性を生息潮位の似ているタテジマフジツボ *Amphibalanus amphitrite* についても調べ、両種を比較することにより、本種幼生の特性を知り、光に対する幼生生態解明の一助とした。

4. 研究成果

(1) 分布域

本研究期間中に長崎県(対馬の18漁港)、福岡県(博多港、和白干潟、伊崎港)、山口県(角島、仙崎、恵比須)、滋賀県(舞鶴湾東港漁港)、福井県(敦賀港、手漁港、美浜町丹生、世久見漁港、小浜港、泊漁港、高浜漁港)、新潟県(聖籠町網代、岩船港、巻漁港、寺泊港、出雲崎港、柏崎港)、北海道(札幌漁港、松前漁港、大沢漁港、中の川漁港、吉岡漁港、江差漁港、熊石、利尻島内の4漁

港) 青森県(えびす漁港、種差漁港、大久喜港)を調べた。これまでの2012年以降に調査した他の漁港での調査結果も含めて考察すると、本種の分布域は、日本海側では富山湾から江差・熊石の間、太平洋岸では、八戸から追波湾(宮城県)であると判断された(図1)。



図1. ナノウフジツボの分布域(2012年から2017年の調査による)。韓国の分布域はChoi et al(2013)より推定)

(2) 移入経路

20個体以上のサンプルが入手できた新潟県(寺泊)、岩手県(大槌湾赤浜)、越喜来湾崎浜)北海道(札幌~松前)の個体群について、C01領域の遺伝子解析を行った結果、合計47のハプロタイプを検出した。このうち、新潟県のそれは18、岩手県のそれは25、北海道のそれは36検出され、これら3地域で共通するハプロタイプ数は12であった。地中海のイタリアの2つの州で調べられたハプロタイプ数(34と16)(Villamor et al, 2014)と比較して大差ないと判断されたが、ハプロタイプの頻度については、現在解析中である。ハプロタイプ数が日本海側に比べて太平洋側で少なくないことから、ボトルネックはなく、岩手県の個体群は日本海側の多様な個体群に由来すると考えられる。なお、日本海、岩手海域、北海道からのサンプルのハプロタイプ数がイタリアで報告されたハプロタイプ数を上回っており、韓国個体群のそれは不明ながら、日本に分布拡大した本種の起源は、イタリアを含むより広いヨーロッパ海域に生息する個体群が関わっていると考えられる。

移入確認が2004年になされた韓国に対して日本での確認は2012年と遅れたが、この違いは、単に発見の早さに起因する可能性もあり、移入時期の違いを表しているとは断定できない。現に、ただひとつの死亡個体の報告例ながら北九州の洞海湾で本種が1992年に確認されている(梶原ら、2015)。現在までの調査では、本種は対馬から能登半島西岸の山陰沿岸には生息が確認されていない。対馬海峡を始点とする表層海流の流路(Iwasaki et al, 2017)から判断して、韓国東岸で放出された幼生は山陰にも供給され

る可能性は十分に考えられる。さらに、韓国東岸に地理的に近く、フェリーの定期航路をもっている対馬の2港(厳原港、比田勝港)および博多港岸壁にも本種は確認されなかったことから、本種は仮にこれらの海域に供給されても定着できない何らかの理由が存在する可能性が考えられる。今後、本種の生残に関与する要因についての調査研究が必要と判断された。

(3) 生息深度と付着密度

岩手県の2地点(大槌湾赤浜突堤、越喜来湾崎浜突堤)で本種の鉛直分布を継続的に調べた結果、前者では平均水面下15cm~95cmの間(図2)、後者では平均水面下20cm~100cmであり、両者で大きな違いは見られなかった。最大付着密度は時期によっても異なるが、赤浜突堤で高く(20個体/100cm²)、崎浜突堤で低かった(<5個体/100cm²)。その理由として、前者では捕食者(キタムラサキウニ、イボニシなど)が少なく、後者で高いことが要因として考えられた。なお、何れの地点においても殻底長径が16mmを越えるナンオウフジツボ個体は確認されなかった。

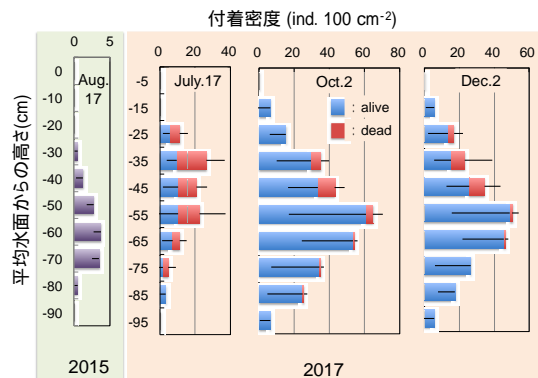


図2. 岩手県大槌湾赤浜突堤におけるナンオウフジツボの付着水深と付着密度の年変化(赤は死亡個体、青は生存個体)。2015年の密度の値は生死両方を含む。

(4) 付着時期

初めて本種の付着が確認された2012年では8月の1ヶ月間のみ付着が認められたが、その後徐々に付着時期が長くなり、2016年では5月から12月まで付着が認められるようになった(図3)。

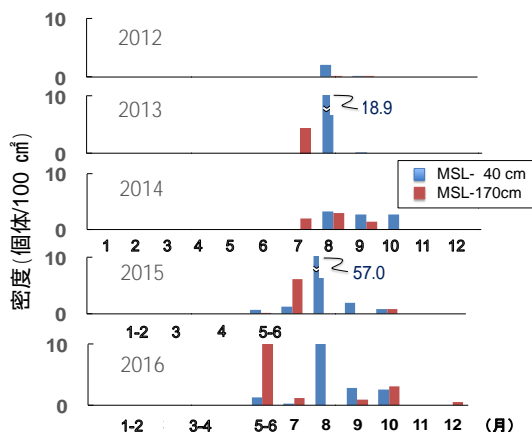


図3. 岩手県越喜来湾の崎浜第2防波堤におけるナンオウフジツボの付着時期の年変化。青は平均水面(MSL)下40cmに、赤はMSL下170cmに垂下した付着試験板。

経年的な付着時期の長期化傾向は本種の

個体群サイズの増大と夏期の水温上昇に由来すると推測された。

(5) 成長速度・生残率

本種は原産地では中・大型の種類とされているが、成長速度は遅く、2年を経過しても20mmを越える個体はほとんど無かった。水温が15℃頃に付着した秋の付着個体群の死亡率は高いと考えられた(図4)。

本種は原産地における成長速度に関する知見は見られないが、越喜来湾の水温は原産地のそれに比べて低いことが成長を鈍らせている可能性も考えられる。なお、越喜来湾の年間最低水温は原産地のそれよりも低い。それにもかかわらず、越喜来湾では越冬個体が存在することから、本邦に移入・定着した個体群の低温耐性は原産地のそれよりも低い可能性があり、今後その理由の解明が外来種の分布拡大との関係で強い興味を持たれた。

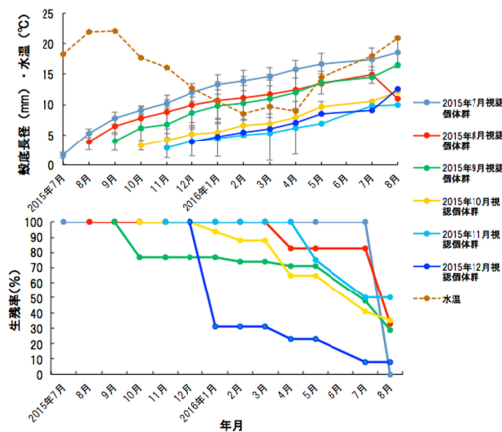


図4. 越喜来湾崎浜港内におけるナンオウフジツボの付着時期の異なる個体群の1年間の成長・生残率と水温変化。誤差線は標準偏差。

(6) 幼生の識別

本種幼生は第2期および第3期において頭甲の後側縁に一对の棘を有する。とりわけ第2期における棘は比較的顕著である(図5の矢印)。このような棘の存在は暖流系種のサラサフジツボ *Amphibalanus reticulatus* において知られているが、東北太平洋岸にサラサフジツボの分布は現在確認されていない。

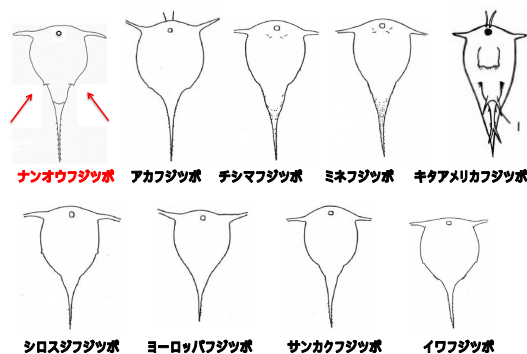


図5. 東北太平洋岸の内湾で確認されるフジツボ類幼生(第2期)の形態比較。幼生のサイズは考慮されていない。キタアメリカフジツボの幼生は Norris & Crisp (1952)より引用。図中の矢印は棘の存在位置を示す。

また、サラサフジツボの同期の幼生と本種は他の形態(前側角の伸張角度)などで識別可能である。第2期幼生は孵化放出後間もない

幼生であり、他のどの発生段階よりもプランクトン中において密度が高いことから、その存在を形態により判定することに役立つと判断された。なお、本種の幼生をプランクトン中から抽出した遺伝子により識別する方法は連携研究者の野方ら(2015)により公表されているので、これと併用することによりプランクトンサンプルから本種幼生を高い精度で識別することが可能である。

(7) 幼生の走性

ナンオウフジツボはノープリウス幼生期の全発生段階(第1期~第6期)において緑(525nm)と赤(620nm)の波長に対して青(470nm)のそれより有意に強い正の走光性を示したが、キプリス幼生は何れの波長にも走光性を示さなかった(図6)。他方、タテジマフジツボは第6期において、青の波長に対して赤や緑の波長より有意に強い正の走光性を示したが、それ以外の発生段階では同様の傾向が見られたものの有意差はなかった。キプリス幼生は何れの波長にも走光性を示さなかった。

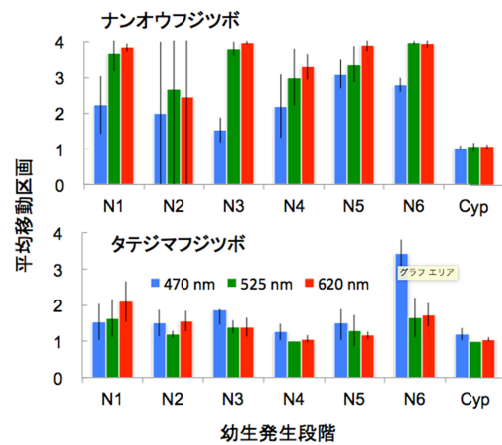


図6. 光照射60秒経過後の全幼生の平均移動区画。Y軸の数値は、容器を4等分し、光源に近い位置から順に4, 3, 2, 1区画とした値。X軸のNはノープリウス幼生、Cypはキプリス幼生、数字は発生段階を表す。誤差線は標準偏差。

基質の色に対するキプリス幼生の付着率は、ナンオウフジツボでは緑>黄>青の順に付着率が高く、赤には付着しなかった。他方、タテジマフジツボでは、赤に最も高い付着率を示し、青>緑>黄の順に付着率が低下した。両フジツボで対照的な結果となった。

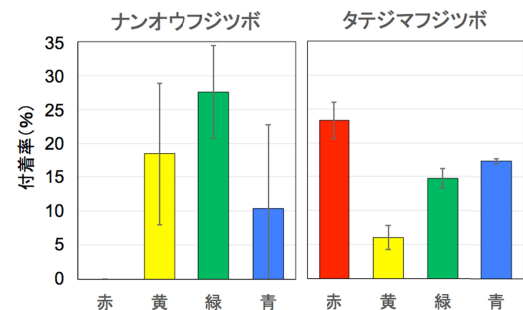


図7. 異なる基質の色に対するキプリス幼生の付着率。誤差線は標準偏差。(ナンオウフジツボは15で20日後、タテジマフジツボは25で11日後の付着率)

分散が目的のノープリウス期の幼生の走性に関する報告は少ない。他方、付着を使命とするキブリス幼生では光の波長や基質の色に対する特性についての研究がタテジマフジツボでなされており、530-550 nmの波長に敏感であり、赤色基質に有意に付着することが報告されている。付着率に関しては、本研究も同様の結果を示した。

ナンオウフジツボとタテジマフジツボでは幼生の走性、付着率ともに両種で全く異なっていた。似たような生息潮位をもつ両種でありながら、こうした反応の違いが最終的な付着場所決定にどのように関わるのかは全く不明であり、フジツボ類全体に関わる興味ある問題として今後さらに探求されるべき課題だろう。

(8) 総括

東日本大震災被災地の港湾復興のために日本海側港湾から派遣された台船が非意図的に東北沿岸にもたらしたナンオウフジツボは、現在のところ分布が北東北域に留まっているように見える。台船は九州から北海道の各地から派遣されたが、本種の分布が知られていないこれら台船の母港において、帰港後に新たに本種が確認された報告例は2017年現在においては幸いに得られていない。

本種は東北太平洋岸では、潮間帯下部から潮下帯上部に定着して、キタムラサキウニやチヂミボウなどの捕食者が少ない場所および捕食者が常在しにくい露出度の高い岩礁域や養殖ブイなどの人工物上において、徐々に生息密度を上げつつある。現状では多様性を攪乱するほどには至っていないが、今後さらに密度が増加すれば新潟県や秋田県のサザエやイワガキに見られるように、本種が水産資源、養殖施設、航路標識などに多数の付着被害をもたらす危険がある。

本研究により得られた知見は、本種の種同定を可能にするとともに、非分布域においてモニタリングを継続する事により、分布拡大を早期に確認することが可能になると考えられる。

本研究で解明できなかった原産地から日本への移入経路については、今後海外の研究者と連携することにより原産地での遺伝的多様度を明らかにすることが不可欠と考えられる。

本種は原産地である南欧においてもその生態に関する知見が極めて少ない現状にある。本研究により明らかになった生態的特性(付着時期、付着潮位、成長、幼生発生が可能な水温・塩分など)は原産地においても貴重な情報となり得るものと判断される。また、幼生における光の波長や基質の色に対する種特異的な反応はフジツボ類の付着場所選択が多様であることを示唆していると考えられる。

<引用文献>

Choi, KH, Choi, HW, Kim, IH and Hong, JS. Predicting the invasion pathway of *Balanus perforatus* in Korean seawaters. *Ocean and Polar Research*, 35, 63-68, 2013.

Iwasaki, S, Isobe, A, Kako, S, Uchida, K, Tokai, T. Fate of microplastics and mesoplastics carried by surface currents and wind waves: A numerical model approach in the Sea of Japan. *Marine Pollution Bulletin*, 121, 85-96.

Kado, R, Nanba, N. *Balanus glandula*: a new and potential immigrant barnacle established in northeast coast of Japan from west coast of North America. *Proceedings of Assessment and control of biological invasion risks. In Assessment and Control of Biological Invasion Risks*, Koike F, Clout, MN, Kawamichi M, Poorter MD, Iwatsuki K (eds). Tokyo Shoukadoh Book Sellers, Switzerland IUCN p.210-211, 2016.

梶原葉子・山田真知子・山口寿之. 外来種ナンオウフジツボ *Perforatus perforatus* の北九州洞海湾における1992年の発見は東アジア初記録. *Sessile Organisms*, 32, 25-29, 2015.

野方靖行・吉村えり奈・佐藤加奈・加戸隆介・岡野桂樹. 新規外来フジツボ *Perforatus perforatus* の日本への侵入確認およびリアルタイムPCR法を用いた検出方法について. *Sessile Organisms*, 32, 1-6, 2015.

Villamor, A, Costantini, F, Abbiati, M. Genetic structuring across marine biogeographic boundaries in rocky shore invertebrates. *PLoS One*, 9(7), 2014: e101135.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計1件)

加戸隆介. 北日本に侵入・定着した新しい移入フジツボ2種の特徴と分布拡大. *日本マリンエンジニアリング学会誌*, 査読無, 52, 3-8, 2017.

[学会発表](計4件)

加戸隆介. 大槌湾における移入種ナンオウフジツボの付着密度・付着潮位の季節変化. 2018年度日本付着生物学会研究集会・総会. 2018.3.26(品川)

大槻 真・松川友香・難波信由・加戸隆介. 岩手県における移入種ナンオウフジツボの生態・成長、付着時期、付着潮位、生残. 2017年度日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会. 2017.9.4(彦根)

加戸隆介・小澤絵奈・川崎寿人・新井拓洋・長野聡一郎・小笹秀明・木村敏宏・難波信由. 2016大震災が潮間帯生物相にもたらした変化-防波堤生物群集の震災後5年間の消長-2016年度日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会. 2016.09.08(熊本)

加戸隆介. 震災復興がもたらした人為的攪乱-外来種ナンオウフジツボの東北への侵入と分布拡大の懸念. 2015年日本マリンエンジニアリング学会海洋環境研究委員会第4回ワークショップ「船底塗料と海洋環境に関する最新の話題」. 2015.9.16(函館)

[図書](計1件)

Kado, R, Nanba N. (2016) Normality of succession of an intertidal community after the Great East Japan Earthquake. *In* J. Urabe, T. Nakashizuka eds.

Ecological Impacts of Tsunamis on Coastal Ecosystems: Lessons from the Great East Japan Earthquake, Springer, Tokyo, p. 11-24.
DOI:10.1007/978-4-431-56448-5_2

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

加戸 隆介 (KADO, Ryusuke)
北里大学・名誉教授
研究者番号：40161137

(3) 連携研究者

野方 靖行 (NOGATA, Yasuyuki)
電力中央研究所・環境研究所・主任研究員
研究者番号：10371535