

令和 2 年 7 月 3 日現在

機関番号：22401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K07484

研究課題名(和文) 日本列島及び日本海成立過程が海浜性昆虫の分布形成に与えたインパクト

研究課題名(英文) Impact of the formation process of the Japanese archipelago and the Sea of Japan on the distribution of coastal insects

研究代表者

小林 憲生 (KOBAYASHI, Norio)

埼玉県立大学・保健医療福祉学部・教授

研究者番号：00400036

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：飛翔力を欠く4種(ハマベゾウムシ、ヒョウタンゴミムシ、ハマヒョウタンゴミムシ、タマシ、トビイロヒョウタンゾウムシ/スナムグリヒョウタンゾウムシ種群)の海浜性昆虫のミトコンドリアDNAの塩基配列を決定し、日本列島周辺地域の地理的集団構造を明らかにした。その結果、全ての種に置いて、2つの大きなクラスターが検出され、主に太平洋側東北以南(A型)とそれ以外の地域集団(B型)に相当した。また、これらの種内/近縁種間の分岐の起源は鮮新世後期から更新世初期と推定され、日本列島形成時の内海と外海の集団に相当する可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本列島に生息する生物の進化的起源の探索は、多くの研究者が興味を持つ研究テーマの一つである。その中で海浜環境にのみ特化して棲息する海浜性生物の分布は一次元(線)となることから、他の種とは異なるパターンを示す可能性が有る。本研究では、幾つかの海浜性昆虫において、日本および周辺海浜環境に生息する昆虫の地理的分化の程度やその起源が極めて多様であることを明らかにした。このような海浜性生物の系統地理学的研究は、海に囲まれた日本という国において、生物多様性の実態とその起源について総合的な理解を目指す上で価値が有る。

研究成果の概要(英文)：To clarify the evolutionary histories of four flightless coastal beetles, *Aphela gotoi*, *Scarites aterrimus*, *Idisia ornate*, and *Scepticus griseus/tigrinus* species complex, we conducted the molecular phylogeographic analyses. These beetles in each species were divided into two distinct lineages with different distribution ranges, respectively: one lineage (form A) from Japanese coastal areas facing the Pacific Ocean (the southern part of Tohoku to Kyushu), and the other (form B) facing the Sea of Japan, and the Pacific Ocean (Hokkaido to the northern part of Tohoku). In the former three species, individuals sampled from South Korean coasts were included into the form B, and, in the latter one species complex, they were into the form A. The splits of form A and B within each species would be equivalent to the population subdivisions by the inland-sea and the open-sea coasts during the formation process of the Japanese archipelago at the late Pliocene to the early Pleistocene.

研究分野：生物多様性

キーワード：生物多様性 海浜性昆虫 日本列島の形成 系統地理学 遺伝子系統樹 集団構造

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、研究者個人に帰属されます。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

全ての生物は特定の限られた分布域を有するが、その背景には、その種の形成過程において経験した、歴史的・地史的なイベント（山脈の形成、日本列島の形成、日本海の成立等）の影響を受ける場合がある。系統地理学は地史的イベントと地域集団間の遺伝的分化を対比させることにより、生物の分布限界や地理的隔離をもたらす重要な地史的イベントを推測する研究である。特に、日本列島の生物の起源を考えることは、多くの研究者の興味を引くテーマであり、様々な種を用いて生物の遺伝的分化と、生物の日本への侵入ルートや、その年代の日本列島・日本海の形成との対応関係が議論されてきた。

これらの研究の中で、海浜環境依存性の昆虫は、通常の陸上生物とは異なる側面を持つ。内陸部に棲息する生物の場合は、大陸と日本という2つの比較になる。対して、海浜性の昆虫は、内陸部には分布していないが、その一方、海水中にも進出できないという特徴を有し、海浜にのみに生息するため、その分布パターンは線上（一次元）になる。従って、海浜性昆虫の場合は、日本列島太平洋側、日本列島日本海側、大陸という概ね3つの地理的に離れた分布域区分されるが、これまで十分な研究はされてこなかった。

### 2. 研究の目的

海浜性昆虫を対象として日本国内の太平洋側と日本海側の比較は幾つかの種で行われているものの、大陸産の種（又は地域集団）を含めた詳細な検討は行われておらず、特に、「日本海側に生息する種は、太平洋側に生息する種よりも大陸産種に、より遺伝的に近縁である」という可能性に関しては、議論されてこなかった。

本研究では、先行研究で部分的に扱っている数種の日本国内の追加データ及び大陸産の個体の追加を行うとともに、幾つかの種を追加し、同様の比較検討を行う。

個々の種の進化史の解明と種ごとの比較を通して、「日本海側に生息する種は大陸により近縁なのか？言い換えれば、海浜性昆虫の地域間の遺伝的分化（及び、それに続く種分化）において日本列島及び日本海形成がどのような効果をもたらしたのか」について明らかにすることで、日本列島・日本海形成における海浜性昆虫の進化史の総合的理解の一助となす。

### 3. 研究の方法

本研究は、日本列島太平洋側海岸・日本海側海岸、及び大陸（韓国）に棲息する多種の海浜性昆虫を採集・DNAの塩基配列を比較することで、各種の地域集団間の遺伝的分化の共通性を見出すとともに、それから推定された年代時における日本列島形成時の地形との比較を行うものである。具体的な作業は、日本各地点及び朝鮮半島を中心とした地域の標本採集と塩基配列の決定・比較の2つである。先行研究の進捗具合の兼ね合いから、以下の種を対象とした。

#### 研究対象種

ハマベゾウムシ (*Aphela gotoi*)、トビイロヒョウタンゾウムシ (*Scepticus griseus*) / スナムグリヒョウタンゾウムシ (*S. tigrinus*) 種群、ハマヒョウタンゴミムシ (*Idisia ornata*)、ヒョウタンゴミムシ (*Scarites aterrimus*)、イワハナムシ (*Aegialites stejneri*)

実験は、外部形態の保存を行いつつ、DNAを抽出し、PCRでCoxI、CoxII等の塩基配列を決定、データ解析の順で行った。

系統樹の作成は、MEGA7 (Kumar et al., 2016) 搭載のモデル選択に基づき T92 (Tamura, 1992) を採用し、近隣結合法 (Saitou and Nei, 1987) でブートストラップ反復 (Felsenstein, 1985) を 1000 回行って作成した。集団間の分化は、クラスター内の多型が高いことから集団間純塩基置換数  $D_a$  では無く、集団間平均塩基置換数  $D_{xy}$  (Nei, 1987) を用いた。分岐年代の推定は、ミトコンドリア DNA の進化速度を 3.54/Myr (Papadopoulou et al., 2010) として算出した。また、図中の地図は CraftMAP を使用した。

#### 4. 研究成果

初めに 4 種の個々の結果について言及し、次いで共通する部分等に関して比較を行った。

##### Case 1 ハマベゾウムシ

図 1 は、先行研究で得られていた 32 個体に新たに 19 個体を加え、計 51 個体の mtDNA Cox I の遺伝子系統樹を作成すると共に、その大凡の分布域を示したものである。大きく 2 つのクラスター (Form A 及び B) が識別され、前者は東北以南から四国周辺までの太平洋側の海岸で採集された個体に相当した。後者は、東北以北から日本海側の海岸および大陸 (韓国) で採集された個体に相当した。クラスター間の平均塩基置換数  $D_{xy}$  は 0.10773413 で、分岐年代は約 300 万年前と推定された。特筆すべき点として、Form A と B の個体が共存する地点 (宮城県) が認められた。

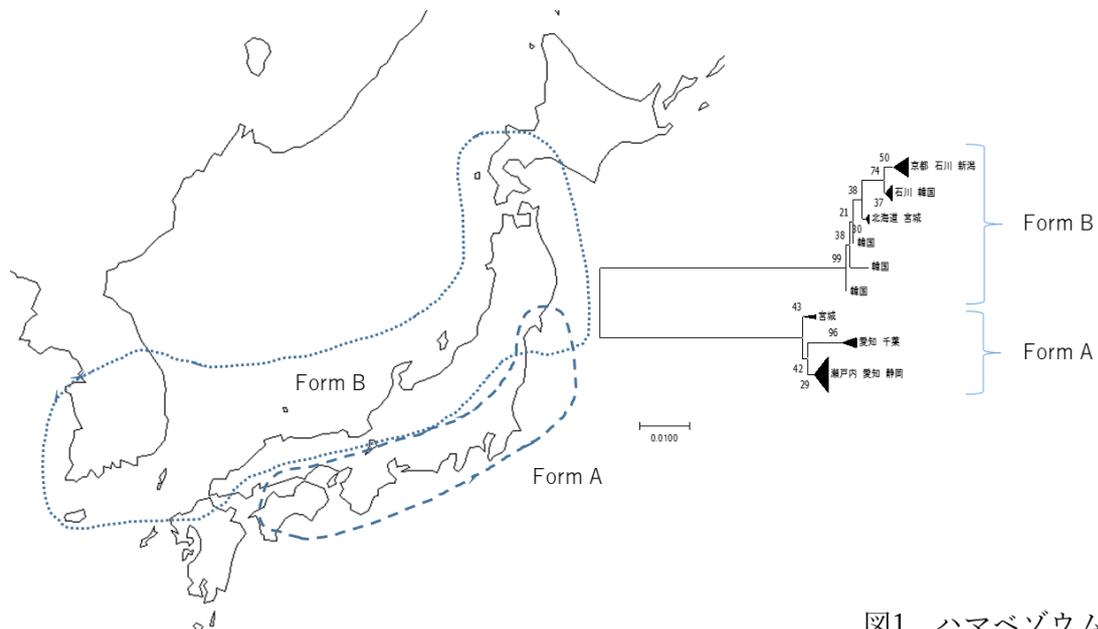


図1 ハマベゾウムシ

##### Case 2 ヒョウタンゴミムシ

図 2 は 40 個体の mtDNA Cox I の遺伝子系統樹と、その大凡の分布域を示したものである。本種においても、大きく 2 つのクラスター (Form A 及び B) が識別され、前者は関東以南から近畿周辺の太平洋側の海岸で採集された個体に相当した。一方、後者は、東北以北から日本海側の海岸および大陸 (韓国) で採集された個体に相当した。クラスター内部の変異は低く、基本的に地理的な構造は認められなかった。採集できた個体数や地点数が少ないため、どちらの Form が棲息しているのか不明な部分も多く残される。この 2 つのクラスター間の平均塩基置換数  $D_{xy}$  は 0.04194333 で、分岐年代は約 120 万年前と推定された。

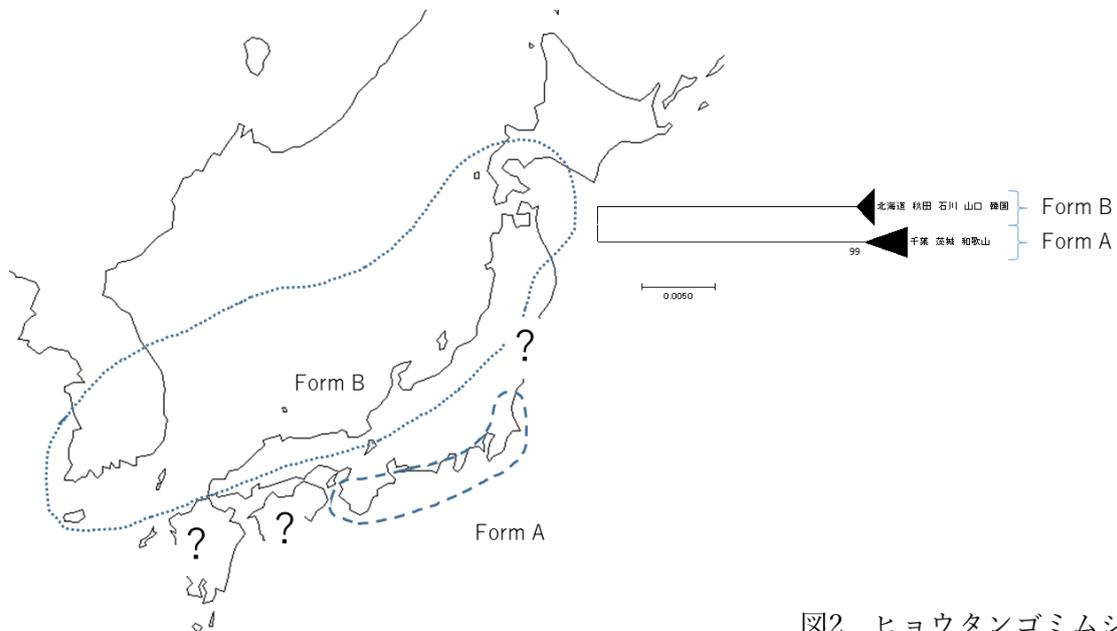


図2 ヒョウタンゴミムシ

Case 3 ハマヒョウタンゴミムシダマシ

図3は163個体のmtDNA Cox Iの遺伝子系統樹と、その大凡の分布域を示したものである。やはり、大きく2つのクラスター（Form A及びB）が識別され、Form Aは福島以南から神奈川周辺までの太平洋側の海岸で採集された個体に相当した。一方、上記2種と異なり、Form Bの分布範囲は広く、太平洋側の海岸から日本海および大陸の海岸で採集されている。本種においては、ブートストラップ値は低いものの、Form Bの中に4つのサブクラスターが認められており、その中の1つのサブクラスターが太平洋側で検出され、もう1つのサブクラスターの一部の個体が太平洋側の海岸で採集された。結果としてForm AとBが極めて近接した地点（神奈川県ケ島と津久井浜）や同所的に（茨城県）採集された。また、クラスター間の平均塩基置換数Dxyは0.05787585で、分岐年代は約160万年前と推定された。

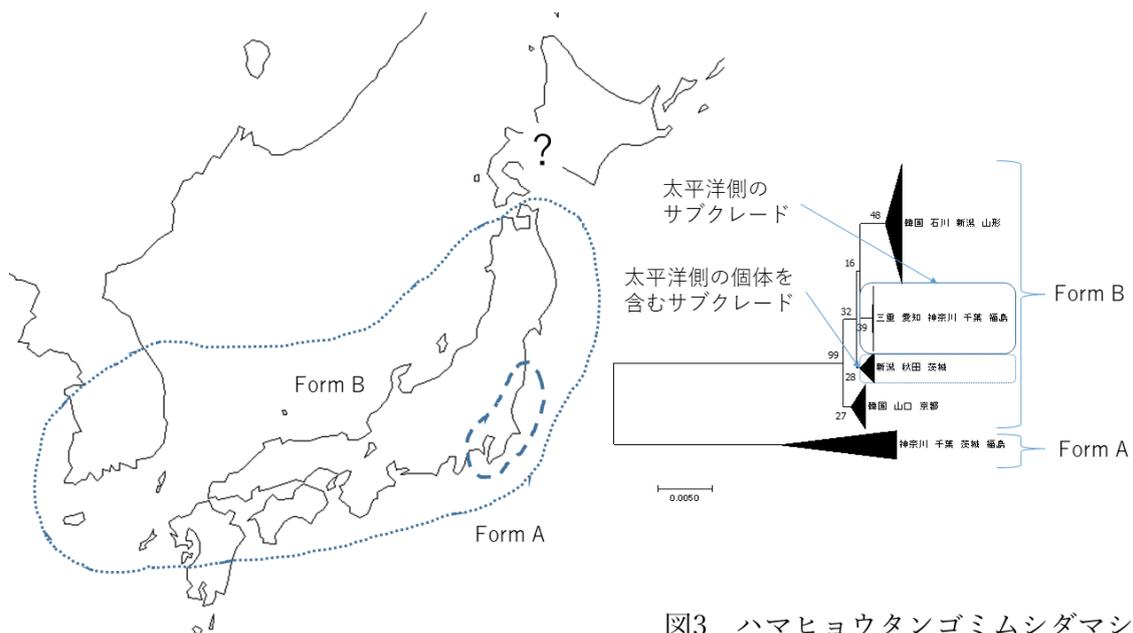


図3 ハマヒョウタンゴミムシダマシ

#### Case 4 トビイロ-/スナムグリヒョウタンゾウムシ種群

図4はトビイロヒョウタンゾウムシ444個体、スナムグリヒョウタンゾウムシ260個体のmtDNA Cox I & Cox IIの遺伝子系統樹と、その大凡の分布域を示したものである。大きく2つのクラスターが識別され、トビイロヒョウタンゾウムシとスナムグリヒョウタンゾウムシの種と良く一致した。前者は東北以南の太平洋側の海岸から沖縄で採集された個体に相当した。大陸（韓国）で1個体採集された個体に相当した。後者は、東北以北から日本海側の海岸で採集された個体に相当した。上記3種と最も異なる点は、大陸（韓国）で検出された個体がForm Aの個体であった点である。ただし、扱った個体が1個体であり、全体の様子はデータの追加が必要である。また、Form A B共に、内部にサブクラスターが検出され、これらに地理的なまとまりも認められた点も他の種と異なる。クラスター間の平均塩基置換数  $D_{xy}$  は0.1306727で、分岐年代は約370万年前と推定された。

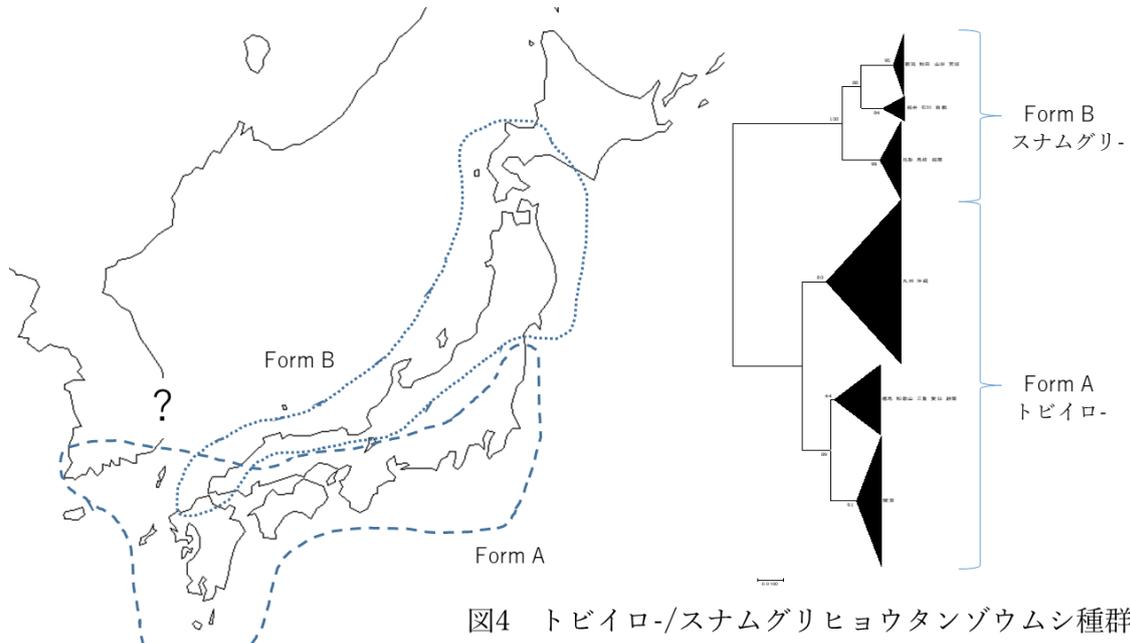


図4 トビイロ-/スナムグリヒョウタンゾウムシ種群

・上記4種（種群）を通して、全ての種で大きく2つのクラスターが認められ、それが“概ね”日本の太平洋側と日本海側の集団に一致し、研究計画当初の「日本海側の集団は太平洋側の集団よりも大陸の集団に近縁である」という仮説は、4種のうち3種で該当した。このことから、移動力の低い海浜性昆虫に比較的頻繁に適用される現象と期待される。また、該当しなかった1種（群）に関しては、扱った大陸産の個体が1個体であったことから、データの追加が望まれる。

・分岐年代の推定の結果、各種内のForm間の分岐は、鮮新世後期から更新世初期に該当した。当時は、日本が大陸と地続きであったこと、いずれの種においても海浜性で飛翔力を欠くことを考慮すると、当時の日本列島の内海と外洋に隔てられた集団が起源である可能性は十分あると思われる。ただし、Form A B間の遺伝的分化には大きいもので3倍の開きが有った。この原因が系統間の分子進化速度の差なのか、複数の異なる地誌的イベント（約370-300万年前と約160-120万年前）が関与したのかは判別できなかった。

・Form Bとされた集団は、いずれの種においても東北以北の太平洋側でも検出されている。このパターンは、現在の対馬暖流-親潮の流域とよく一致することから、これらの種の現在の分布域は、海流の影響と密接に関係していることが考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ohara Masahiro, Ahn Kee-Jeong	4. 巻 11
2. 論文標題 Histeridae (Coleoptera) collection of Yeungnam University, with a description of new species and redescription of <i>Niposoma lewisi</i> (Marseul)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Asia-Pacific Biodiversity	6. 最初と最後の頁 237-247
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.japb.2018.01.007	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 Inari, N., N. Kobayashi and M. Ohara	4. 巻 8
2. 論文標題 Seasonality of supralittoral hydrophilid beetles, <i>Cercyon</i> ( <i>Cercyon</i> ) spp. (Coleoptera, Hydrophilidae) in Zenibako, Hokkaido, Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Elytra	6. 最初と最後の頁 223-226
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 -

1. 著者名 大原昌宏・中岡利泰・高木大稔・小川直記・菊池波輝・山本ひとみ	4. 巻 15
2. 論文標題 北海道えりも町豊似湖周辺ほか昆虫調査報告. I. 甲虫類	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 えりも研究	6. 最初と最後の頁 1-16
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 無
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 志津木真理子・大原昌宏・中岡利泰・高木大稔・小川直記・菊池波輝・山本ひとみ	4. 巻 15
2. 論文標題 北海道えりも町豊似湖周辺ほか昆虫調査報告. II. 双翅目	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 えりも研究	6. 最初と最後の頁 17-22
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 無
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 Song Jeong-Hun, Yoo In-Seong, Ohara Masahiro, Ahn Kee-Jeong	4. 巻 21
2. 論文標題 Discovery of two new <i>Diaulota</i> Casey species (Coleoptera: Staphylinidae: Aleocharinae) from coastal Hokkaido, Japan based on morphological and molecular characters	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Asia-Pacific Entomology	6. 最初と最後の頁 930-936
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aspen.2018.07.002	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 Yamashita Yuko, Waku Daisuke, Kobayashi Norio, Ishikawa Tadashi, Kojima Hiroaki	4. 巻 36
2. 論文標題 Population Structure of Two Flightless Weevils of Genus <i>Scepticus</i> Roelofs (Coleoptera, Curculionidae) with Seashore Habitat in Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Zoological Science	6. 最初と最後の頁 82-82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2108/zs170103	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 H. Kojima, H. Kidokoro and T. Tsuru	4. 巻 7
2. 論文標題 First occurrence of the lesser coconut weevil, <i>Dicalandra frumenti</i> (Coleoptera, Dryophthoridae) in the Ogasawara Islands, Japan	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Elytra, New Series	6. 最初と最後の頁 239-240
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 -

1. 著者名 M. Asano and H. Kojima	4. 巻 7
2. 論文標題 Records of some malachiine species of the genus <i>Attalus</i> (Coleoptera, Melyridae) from the Nansei Islands, Southwestern Japan	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Elytra, New Series	6. 最初と最後の頁 413-415
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 -

1. 著者名 H. Kojima	4. 巻 8
2. 論文標題 Records of two dryophthorid weevils (Coleoptera, Curculionoidea) new to the fauna of Tanegashima Is., the &Ocirc;sumi Islands, Southwestern Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Elytra, New Series	6. 最初と最後の頁 24
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 -

1. 著者名 Ohara, M., Y.-B., Cho and K.-J., Ahn	4. 巻 9
2. 論文標題 Histeridae (Coleoptera) collection of the Natural History Museum, Hannam University, with a description of new species	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Asia-Pacific Biodiversity	6. 最初と最後の頁 429-436
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apb.2016.03.011	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 Ohara, M.	4. 巻 6
2. 論文標題 Records of Korean Histerid beetles (Coleoptera) from the collection of the National Taiwan University, Taipei, Taiwan	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Elytra	6. 最初と最後の頁 163-164
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 -

1. 著者名 Ohara, M., and N. Ogawa	4. 巻 6
2. 論文標題 A new distributional record of Cercyon (Cerciyon) algarum Sharp (Coleoptera, Hydrophilidae) from Shimoji-jima Island, the Ryukyus, Japan	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Elytra	6. 最初と最後の頁 338
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 -

1. 著者名 Fujisawa, Y. and H. Kojima	4. 巻 6
2. 論文標題 A taxonomic revision of the menemachine weevils of the genus <i>Podeschrus</i> Roelofs (Coleoptera, Curculionidae, Conoderinae)	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Elytra	6. 最初と最後の頁 201-214
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 -

1. 著者名 Kojima, H., Y. Fujisawa and H. Yoshitake	4. 巻 6
2. 論文標題 Weevils (Coleoptera, Curculionidae) new to the fauna of the Tokara Islands, the Ryukyus, southwestern Japan	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Elytra	6. 最初と最後の頁 219-223
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 -

1. 著者名 Kobayashi, N., and M. Ohara	4. 巻 7
2. 論文標題 Preliminary report of host plants of a supralittoral beetle, <i>Cercyon</i> ( <i>Cercyon</i> ) <i>tolfino</i> (Coleoptera, Hydrophilidae) in Canada	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Elytra	6. 最初と最後の頁 21-23
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 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 Moon, Tae-Young & Ohara, M.
2. 発表標題 Histeridae (Coleoptera) with forentic implication in Korea
3. 学会等名 日本昆虫学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Suzumura, Alyssa L., 大原昌宏, 稲荷直記, 小林憲生
2. 発表標題 太平洋北部の海浜性ケシガムシ属(鞘翅目ガムシ科)の分類と生物地理(津波と移動分散)
3. 学会等名 日本昆虫学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Suzumura, A., & M. Ohara
2. 発表標題 Transoceanic dispersal and biogeography of littoral Cercyon Leach (Hydrophilidae) across the Northern Pacific
3. 学会等名 The 39th Annual Meeting of Taiwan Entomological Society
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Suzumura, A., & M. Ohara
2. 発表標題 Revision of littoral Cercyon (Leach) species of Washington and British Columbia
3. 学会等名 2018 ESA (Entomological Society of America), ESC and ESBC joint Annual Meeting
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大原昌宏・小林憲生
2. 発表標題 海辺に生きる～海浜性・海岸性の甲虫たち～
3. 学会等名 日本甲虫学会(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林憲生・稲荷尚記・大原昌宏
2. 発表標題 海浜性ケンガムシ類の食性の種間比較
3. 学会等名 日本甲虫学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大原昌宏
2. 発表標題 虫の生息場所と北海道で見られる主な昆虫について. えこりん村主催. えこりん村世界の大昆虫展2016
3. 学会等名 昆虫展のいきもの塾
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大原昌宏
2. 発表標題 北海道大学総合博物館所蔵 ー昆虫標本についてー
3. 学会等名 北海道大学総合博物館主催.サイエンスカフェ・金曜ナイトセミナー（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大原昌宏
2. 発表標題 自然史を学ぶノウハウを伝える ーパラタクソノミスト講座の取組み-
3. 学会等名 弘前大学白神自然環境研究所シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 嶋本習介・金子直樹・小島弘昭・石川忠
2. 発表標題 薩摩黒島が面白い!
3. 学会等名 日本昆虫学会関東支部第53回大会
4. 発表年 2016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	大原 昌宏 (OHARA Masahiro) (50221833)	北海道大学・総合博物館・教授  (10101)	
研究分担者	小島 弘昭 (KOJIMA Hiroaki) (80332849)	東京農業大学・農学部・教授  (32658)	