

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：33919

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00588

研究課題名(和文) 低濃度水銀汚染による海洋高次捕食動物の生体および繁殖への影響

研究課題名(英文) Effects of low level mercury contamination on health and reproduction in marine high trophic animals

研究代表者

新妻 靖章 (Niizuma, Yasuaki)

名城大学・農学部・教授

研究者番号：00387763

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：海鳥類は海洋生態系の高次捕食動物であるため、生物濃縮により水銀汚染の影響を受けやすい。低濃度の水銀汚染による野生動物の繁殖への影響はほとんど知られていない。本研究では、ウミネコ *Larus crassirostris* を対象とし、低濃度水銀汚染による影響を酸化ストレス度、内分泌器官への水銀蓄積、および行動について調べた。その結果、体内の水銀濃度が高くなると抗酸化力の指標の値が有意に低くなったこと、内分泌器官である副腎に高濃度で水銀が蓄積したこと、および血中水銀濃度が高い個体ほど給餌頻度が有意に低下したことが明らかとなった。低濃度の水銀汚染であっても、ウミネコの繁殖に影響することが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アジア地域から排出される水銀の越境汚染は日本沿岸海域まで拡大している。海洋生態系の高次捕食動物である海鳥類は低濃度の水銀汚染にさらされている。ヒトの場合、たとえ低濃度の水銀摂取であっても胎児や乳幼児への危険性が認められている。本研究では、日本列島沿岸に広く繁殖するウミネコをモデル生物とし、低濃度の水銀汚染でも繁殖行動に負の影響があることを野生動物で初めて示した。魚を食べることの多い日本では、野生動物と同様にヒトについても注視する必要があるかもしれない。また、生物多様性の保全の観点からも、高次捕食動物の水銀汚染の動向をモニターする必要があるだろう。

研究成果の概要(英文)：Because of bioaccumulation and biomagnification of environmental Hg in marine food web, seabirds being higher trophic levels are exposed a high level of Hg contamination compared to lower ones. However, little is known about the effect of lower level of Hg contamination on seabirds. In this study we investigated the oxidative stress, the accumulation of Hg in endocrine glands and the breeding behavior in black-tailed gulls *Larus crassirostris* in order to estimate the effect of lower contamination of Hg on their breeding. Their antioxidative activities were significantly decreased with Hg concentration in blood. Adrenal glands accumulated Hg at the highest level among other tissues and the Hg concentration in the glands were not significantly correlated to that in blood. The number of feeding were significantly decreased with Hg concentration in blood. The results suggest that lower level of Hg contamination could have significant effects on their breeding in black-tailed gulls.

研究分野：動物生理生態学

キーワード：水銀 低レベル汚染 繁殖 繁殖行動 内分泌器官 ウミネコ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、漁業や汚染といった人間活動は、海洋生態系の脅威となっており、生物多様性の減少や個体数減少の原因となっている (Halpern et al. 2008)。その中でも、海洋生態系の高次捕食動物である海鳥類は、1950-2010年の間に約70%の個体数を全世界で減少したと推定されている (Paleczny et al. 2015)。漁業による海鳥類への脅威として、混獲が挙げられる (風間ら 2011)。混獲とは、漁業で目的外の生物を捕獲してしまうことで、特にマグロ延縄漁による混獲はアホウドリ類の生存の脅威となってきた。水産庁やNGOなどの活動により、混獲されるアホウドリ類の数は減少傾向にあり、混獲問題は改善に向かっている。しかし、様々な法規制が実施されているにも関わらず、アジア地域からの越境汚染により海洋汚染は拡大している。北太平洋では、日本の三陸沖において水銀濃度がもっとも高いことが指摘されており (Sunderland et al. 2009)、人間活動による海洋生態系の脅威がもっとも深刻な海域の一つである。

海鳥類は海洋生態系の高次捕食動物であるため、生物濃縮により汚染の影響を受けやすい生物種である (Watanuki et al. 2015)。青森県八戸で繁殖するウミネコ *Larus crassirostris* は、三陸北部の沿岸を利用し、もっとも水銀濃度が高い海域で餌となる魚類を採食し、雛に給餌する (Yoda et al. 2012)。繁殖地においてノネコやキツネに捕殺されたウミネコ親鳥について、各組織の水銀濃度を分析した。その結果、ウミネコ親鳥の水銀濃度は、近年、北極地方の水銀濃度が深刻化している同じカモメ属の鳥類と比べて高い値を示した (Goto et al. 2018)。低濃度の汚染の場合、直接的な急性中毒の症状を示すことはないが、北極で繁殖するミツコビカモメでは、低濃度の水銀暴露により、繁殖に関わるホルモンの分泌に影響し、繁殖を休止することが示唆されている (Tartu et al. 2013)。しかし、恒常的な低濃度の水銀に暴露する野生動物への影響はほとんど知られていない。

2. 研究の目的

海鳥や水鳥についての水銀濃度の閾値や致死レベルは種によって様々である (Fuchman et al. 2017)。ハシグロアビ *Gavia immer* では、親の血中濃度が $3.0 \mu\text{g/g}$ (wet weight: wwt) で巣立ち雛数の減少や卵中水銀濃度が $1.0 \mu\text{g/g}$ (wwt) であっても繁殖成功率の減少がみられた (Evers et al. 2008; Wolf et al. 1998)。シロトキ *Eudocimus albus* にメチル水銀を含んだ餌を投与した実験では、血中総水銀濃度が $0.73 \mu\text{g/g}$ (wwt) となり、無投与の対照区よりもオス-オスの同性カップルが多く、オス-メスのカップルでも求愛行動や給餌回数が少なかった (Frederick and Jayasena 2001)。また、野生下のミツコビカモメ *Rissa tridactyla* では、血中総水銀濃度が約 $0.8-3.3 \mu\text{g/g}$ (dry weight: dwt) の範囲において、水銀濃度の高い個体ほど翌年の繁殖を休止する (Tartu et al. 2013) ということが報告されている。これらの繁殖行動の変化は、水銀によるホルモン分泌の変化が一つの要因として考えられている。しかし、低濃度水銀暴露による慢性毒性の鳥類の繁殖への影響はよくわかっていない。

本研究では海洋生態系の高次捕食動物であるウミネコを研究対象種とした。動物は重金属による汚染を受けると、体内にあるメタロチオネンと呼ばれる蛋白質が重金属と結合し、重金属を体外へ排出する。メタロチオネンは活性酸素を取り除く機能があるため、重金属と結合したメタロチオネンが排出されると体内の活性酸素が増加してしまう。低濃度水銀汚染による生体への影響を酸化ストレス度により評価した。水銀汚染は繁殖行動に関わるホルモン分泌の変化を通して、繁殖へ影響すると考えられるため、内分泌器官の水銀蓄積を調べた。また、水銀汚染による繁殖への影響として、繁殖成績および繁殖行動と水銀汚染の関係を調べた。これらにより、低濃度水銀汚染によるウミネコへの繁殖への影響を明らかとすることを本研究の目的とした。

3. 研究の方法

青森県八戸市蕪島で繁殖するウミネコを研究対象種とした。低濃度水銀汚染の長期的な傾向を調べるために、2012 - 2016年までに保存しておいた血液を用いて、血中の水銀濃度と酸化ストレス度を測定した。水銀濃度は、加熱式気化水銀測定装置 (MA-3000, 日本インスツルメンツ株式会社) で総水銀濃度を測定した。生体の酸化ストレス度を活性酸素・フリーラジカルによる酸化的傷害 (d-ROM) と抗酸化力 (BAP) を指標とした (フリーラジカル解析装置, Diacron International)。営巣地内でキツネあるいはノネコに捕殺されたウミネコ成鳥 34羽を回収し、内分泌器官に蓄積された水銀を分析し、血中と各器官との関係について解析した。

野外で繁殖するウミネコについてメス親鳥の繁殖行動を観察した。観察したウミネコ親鳥 (全てメス) を捕獲し、血中水銀濃度を測定した。目視で素早く識別できるように親鳥を白髪染め (ホーユー株式会社) を用いて羽の染色を行なった。観察の対象とした親鳥の繁殖成功について、産卵数、孵化雛数および巣立ち雛数を記録した。2018年から2019年にかけて、産卵前から雛の巣立ち (30日齢) までウミネコの親の繁殖行動の観察を行なった。観察期間は2018年の4月28日から6月30日までの237時間と2019年の5月1日から7月1日までの243時間であった。観察項目は、求愛行動であるヘッドトッシング、チョーキング、求愛給餌、巣の滞在、抱卵、巣の防衛である接触がなかった場合の追い払いあるいは接触があった場合の攻撃、親が餌を吐き戻し雛の口に餌が入ったことが確認できた回数を雛への給餌、とした。

4. 研究成果

2012 - 2016 年までに保存しておいた成鳥（年 30 羽）の血液を用いて、血中の水銀濃度と酸化ストレス度を測定した。血中水銀濃度が年平均約 3.5-4.1 $\mu\text{g/g}$ (dwt)の間で推移し、2012 年から 2017 年にかけて、血中水銀濃度が高まる傾向はなかった。酸化ストレス度では、酸化力の指標となる d-ROMs は血中水銀濃度と有意な関係はなかったが、抗酸化力の指標となる BAP では血中水銀濃度が高くなると有意に低下した。重金属に汚染されると生体は様々な代謝機構により重金属を体外へ排出する。その際に体内のグルタチオンなどの抗酸化物質を使うことがある。そのため、体内の水銀濃度が高くなると抗酸化力の指標となる BAP の値が低くなったのかもしれない。低濃度の水銀汚染であっても、生体に影響があることが示された。

死体の水銀濃度を分析した結果、雌雄については有意な差は認められず、副腎 > 肝臓 > 腎臓血液 > 下垂体 > 生殖腺 > 胸筋 > 甲状腺 > 脾臓 > 脳幹の順で高かった。また、血中水銀濃度と肝臓 ($r = 0.54$)、腎臓 ($r = 0.56$)、下垂体 ($r = 0.42$)、生殖腺 ($r = 0.59$)、胸筋 ($r = 0.60$)、甲状腺 ($r = 0.28$)、脾臓 ($r = 0.53$)と脳幹 ($r = 0.41$)の間には有意な相関関係があったが、副腎 ($r = -0.04$)の間には有意な相関関係は認められなかった(図・1)。水銀が特異的に蓄積する臓器が副腎である可能性があることが分かった。副腎は、ストレスに対するホルモン(コルチコステロン)などのホルモンを分泌する器官である。そのため、副腎に水銀が蓄積するとストレスに対するホルモンの分泌に何らかの障害が発生すると考えられる。血液中と副腎の水銀濃度に有意な相関関係がなかったことから、血液中の水銀濃度が低く測定されたとしても副腎の水銀濃度が高くなる個体も存在する。生体の鳥の水銀暴露レベルを把握するのに血液中の水銀を指標とすることが多いが (Wada et al. 2009; Franceschini et al. 2017)、鳥の水銀暴露レベルを決定づけるために血液中の水銀濃度だけを用いるのは、不十分である可能性が示唆された。低濃度の水銀汚染の場合、水銀によるストレスホルモンへの影響は、研究間で一致した結果が得られていない。その理由として、血中水銀濃度と内分泌器官の水銀蓄積において相関関係がないことがあげられるかもしれない。

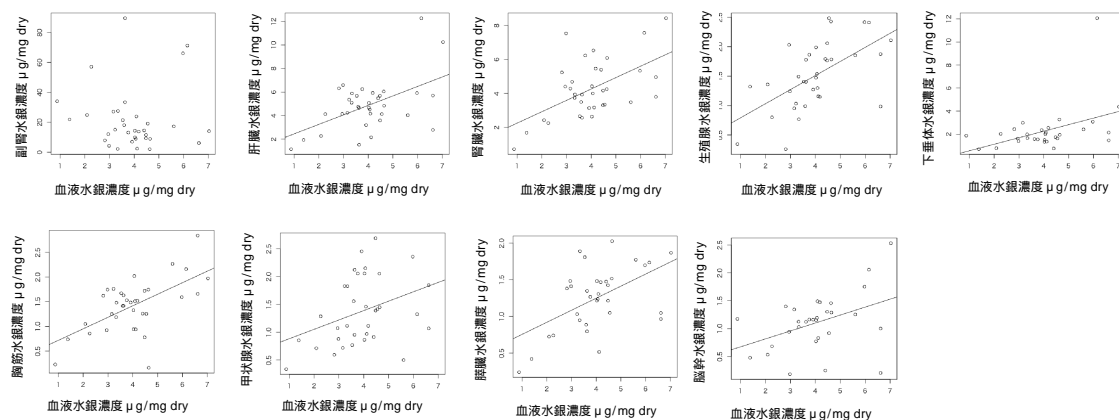


図1. 血液と各臓器の水銀濃度の関係

2017 年から 2019 年の繁殖成績の指標とした一腹卵数、孵化した雛数、1 巣あたりの巣立ちの雛の数を年ごとに示した(表 1)。繁殖成績の年間差について、一腹卵数と孵化した雛数には有意な差がなかった。1 巣あたりの巣立ち雛数に有意な差があり、2018 年は 2017 年と 2019 年よりも巣立ち雛数が有意に多かった。

表1. 2017-19年のウミネコの繁殖成績

	観察した巣数	一腹卵数	1巣あたりの孵化した雛数	1巣あたりの巣立ち雛数
2017年	11	2.18	1.36	0.36
2018年	17	2.41	1.94	1.24
2019年	23	2.09	1.70	0.61

親鳥の水銀濃度は、2017 年では 2.52 $\mu\text{g/g}$ ($n = 11$, dwt), 2018 年では 2.50 $\mu\text{g/g}$ ($n = 17$, dwt), 2019 年では 2.25 $\mu\text{g/g}$ ($n = 23$, dwt) であった。年間に有意な差がなかったため、データのサンプリングの年を考慮せず分析した。その結果、一腹卵数、孵化した雛数、巣立ち雛数によって水銀濃度が有意に異なることはなかった。

ウミネコの親が雛に与えていた餌で、目視で種類がわかったものとしては、魚(イワシ類, タラ類, フグ類), イカ類, オキアミ類, ミズアブの幼生, ゴカイ, ちくわ, ソーセージなど海洋性のものから陸性のものと多様であった。統計解析を行なった結果、メス親の水銀濃度と雛への給餌回数に有意な負の相関、追い払いと求愛行動であるヘッドトッシングに有意な正の相関があった。ウミネコの水銀濃度は繁殖に影響があるとされているミツコビカモメと同じ範囲であった(Tartu et al. 2013)。鳥類では、プロラクチン濃度が高い親鳥は給餌回数が増える関係がある(Schoech 1998)。さらに、血中水銀濃度が高いほどプロラクチン濃度は低くなることがミ

ツコビカモメで報告されている(Tartu et al. 2016)。ウミネコにおいても、血中水銀濃度の高い親鳥はプロラクチン濃度が低く、給餌回数が減った可能性がある。本研究により、低濃度水銀汚染では、ウミネコの繁殖成功には影響がないかもしれないが、繁殖行動に負の影響を与えることが明らかとなった。

<引用文献>

- Evers, D. C., Savoy, L. J., Desorbo, C. R., et al. Adverse effects from environmental mercury loads on breeding common loons. *Ecotoxicology*, 17, 2008, 69-81.
- Franceschini, M. D., Evers, D. C., Kenow, K. P., et al. Mercury correlates with altered corticosterone but not testosterone or estradiol concentrations in common loons. *Ecotoxicology and environmental safety*, 142, 2017, 348-354.
- Frederick, P., Jayasena, N. Altered pairing behaviour and reproductive success in white ibises exposed to environmentally relevant concentrations of methylmercury. *Proceedings of the Royal Society B*, 278, 2011, 1851-1857.
- Fuchsman, P. C., Brown, L. E., Henning, M. H., et al. Toxicity reference values for methylmercury effects on avian reproduction: Critical review and analysis. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 36, 2017, 294-319.
- Goto, R., Ohura, T., Mizutani, Y., Niizuma, Y. Mercury contents of the tissues and feathers of Black-tailed Gulls on Kabushima (Kabu Island), Aomori , Japan. *Ornithological Science*, 6, 2018, 1-6.
- Halpern, B. S., Walbridge, S., Selkoe, K. A., et al. A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319, 2008, 948-952.
- 風間健太郎, 伊藤元裕, 新妻靖章, 桜井泰憲, 高田秀重, Sydeman WJ, Croxall JP, 綿貫豊. 海洋環境モニタリングにおける海鳥の役割と保全. *日本鳥学会誌*, 59, 2010, 38-54.
- Paleczny, M., Hammill, E., Karpouzi, V., Pauly, D. Population trend of the world's monitored seabirds, 1950-2010. *PloS one*, 10(6), 2015.
- Schoech, S. J. Physiology of Helping in Florida Scrub-Jays. *American scientist*, 86, 1998, 70-77.
- Sunderland, E. M., Krabbenhoft, D. P., Moreau, J. W., et al. Mercury sources, distribution, and bioavailability in the North Pacific Ocean: Insights from data and models. *Global Biogeochemical Cycles*, 23(2), 2009.
- Tartu, S., Bustamante, P., Angelier, F., et al. Mercury exposure, stress and prolactin secretion in an Arctic seabird: An experimental study. *Functional Ecology*, 30, 2016, 596-604.
- Tartu, S., Goutte, A., Bustamante, P., et al. To breed or not to breed: endocrine response to mercury contamination by an Arctic seabird. *Biology letters*, 9, 2013, 20130317.
- Wada, H., Cristol, D. A., McNabb, F. A., Hopkins, W. A. Suppressed adrenocortical responses and thyroid hormone levels in birds near a mercury-contaminated river. *Environmental Science & Technology*, 43, 2009, 6031-6038.
- Watanuki, Y., Yamamoto, T., Yamashita, A., et al. Mercury concentrations in primary feathers reflect pollutant exposure in discrete non-breeding grounds used by Short-tailed Shearwaters. *Journal of Ornithology*, 156, 2015, 847-850.
- Yoda, K., Tomita, N., Mizutani, Y., Narita, A., Niizuma, Y. Spatio-temporal responses of black-tailed gulls to natural and anthropogenic food resources. *Marine Ecology Progress Series*, 466, 2012, 249-259.
- Wolfe, M. F., Schwarzbach, S., Sulaiman, R. A. Effects of mercury on wildlife: A comprehensive review. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 17, 1998, 146-160.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 牛田裕介・白井正樹・山下優希・伊藤光希・新妻靖章	4. 巻 51
2. 論文標題 コアホウドリ <i>Phoebastria immutabilis</i> におけるフォルトバーの羽根間の違い.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 山階鳥類学雑誌	6. 最初と最後の頁 43-52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3312/jyio.51.43	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 庄子晶子・杉山淳・谷日向子・新妻靖章	4. 巻 68
2. 論文標題 北海道におけるミサゴ成鳥と雛の水銀濃度ミサゴの水銀濃度.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本鳥学会誌	6. 最初と最後の頁 343-37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3838/jjo.68.343	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 Goto Ryota, Ohura Takeshi, Mizutani Yuichi, Niizuma Yasuaki	4. 巻 17
2. 論文標題 Mercury contents of the tissues and feathers of Black-tailed Gulls on Kabushima (Kabu Island), Aomori, Japan.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Ornithological Science	6. 最初と最後の頁 113-118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2326/osj.17.113	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15件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 新妻靖章, 谷日向子
2. 発表標題 ウミネコにおける水銀汚染の繁殖成績と行動への影響
3. 学会等名 令和元年度メチル水銀研究ミーティング (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷日向子, 新妻靖章, 水谷友一
2. 発表標題 野生下ウミネコ(Larus crassirostris)における水銀汚染の影響
3. 学会等名 日本鳥学会2019年度大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安積 紗羅々, 石井 千尋, 池中 良徳, 中山 翔太, 石塚 真由美, 新妻 靖章, 綿貫 豊
2. 発表標題 ハシボソミズナギドリの採餌行動と越冬海域選択
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷日向子, 新妻靖章, 水谷友一
2. 発表標題 海鳥における水銀汚染と酸化ストレスの関係
3. 学会等名 日本鳥学会2018年度大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西尾昂也, 若尾直紀, 新妻靖章
2. 発表標題 ウミネコにおける個性と安静代謝量の関係
3. 学会等名 日本鳥学会2018年度大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮田瑞輝, 新妻靖章
2. 発表標題 土壤汚染がツバメの繁殖に与える影響－糞を用いた鉛汚染モニタリング－
3. 学会等名 日本鳥学会2018年度大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新妻靖章
2. 発表標題 青森県無島におけるウミネコの水銀蓄積の現状
3. 学会等名 平成30年度メチル水銀研究ミーティング(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新妻靖章, 谷日向子
2. 発表標題 ウミネコにおける水銀汚染と酸化ストレスおよび安定同位体比の関係
3. 学会等名 メタルバイオサイエンス研究会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 土屋健児, 新妻靖章
2. 発表標題 カワウPhalacrocorax carboの繁殖期における環境と食性の変化
3. 学会等名 日本鳥学会2017年度大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 後藤綾太, 大浦健, 水谷友一, 新妻靖章
2. 発表標題 青森県無島におけるウミネコの水銀汚染
3. 学会等名 日本鳥学会2017年度大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 水谷友一, 新妻靖章, 依田憲
2. 発表標題 孵化時テロメア長を決めるのは親の影響か環境か
3. 学会等名 日本鳥学会2017年度大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井上裕紀子, 新妻靖章, 鷺見知美, 香山薫, 五島渉, 吉川尚基, 南 浩史, 石樋由香, 越智大介, 勝又信博, 岡本 慶, 大島 和浩
2. 発表標題 まぐる延縄漁業の投棄物がアホウドリ類へ与える栄養学的影響
3. 学会等名 第65回日本生態学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木下千尋, 福岡拓也, 新妻靖章, 榎崎友子, 佐藤克文
2. 発表標題 北太平洋のアカウミガメ亜成体は高い休止代謝速度によって越冬時に活動的な潜水を行う
3. 学会等名 第65回日本生態学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Chihiro Kinoshita, Takuya Fukuoka, Yasuaki Niizuma, Tomoko Narazaki, and Katsufumi Sato
2. 発表標題 High resting metabolic rates induce active overwintering of juvenile loggerhead turtles <i>Caretta caretta</i> in the western North Pacific
3. 学会等名 38th Internatinal Sea Turtle Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hinako Tani, Yasuaki Niizuma
2. 発表標題 Mercury contaminations of black-tailed gulls (<i>Larus crassirostris</i>) at Kabushima IslandSTRIS) AT KABUSHIMA ISLAND
3. 学会等名 2020 Pacific Seabird Group 47th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 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	大浦 健 (Ohura Takeshi) (60315851)	名城大学・農学部・教授 (33919)	
連携研究者	細田 晃文 (Hosoda Akifumi) (50434618)	名城大学・農学部・准教授 (33919)	