

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23370042

研究課題名(和文) 間隙性ファウナの種多様性評価と生息の制限要因 - 陰性環境の生物多様性に光を当てる -

研究課題名(英文) Estimation of biodiversity and restriction of existence in interstitial fauna

研究代表者

塚越 哲 (TSUKAGOSHI, Akira)

静岡大学・理学研究科・教授

研究者番号：90212050

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：間隙性貝形虫類1新属17新種を記載し、分類学的多様性の認識の増大に貢献した。間隙性種において高い種多様性が創設される一つの解として、メイトングシステムの複雑化が示された。

間隙環境の堆積物粒度組成は、生息する間隙性貝形虫類の体サイズと分類群を規定する。汀線から潮下帯にある堆積物粒子サイズが大きい場所には、体サイズが大きくかつ表在性種と同属の間隙性分類群が生息することが明らかにされ、これは間隙環境への適応の前段階であると理解できる。砂浜の傾斜角と堆積物の中央粒径は、波のエネルギーに対する露出度をよく反映し、間隙性貝形虫類の個体数密度と種組成は、露出度に大きく依存していることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：The descriptions of one new genus and 17 new species of interstitial ostracods in this work contributed to the understandings of biodiversity. The complex mating system in interstitial ostracods was shown for the first time and probably it supports the high taxonomical diversity.

The grain size composition of sediments provides a strong constraint on not only the body size but also the taxa of interstitial ostracods. The large grain size zone in strand line to infra-littoral zone tends to yield the ostracods of which body size is bigger and genus/family is shared with other surface dwelling species. These facts are recognized that such ostracods are in the early stage of adaptation to interstitial environment. The cline and the median of grain size of sand beach reflect the degree of exposure for wave energy. The population density and taxonomic composition of interstitial ostracods clearly depend on the degree of exposure in sand beach.

研究分野：多様性生物学

キーワード：間隙性生物 間隙環境 多様性 制限要因 露出度 体サイズ

1. 研究開始当初の背景

間隙性生物は20世紀初頭にその存在が確認され、以降西欧を中心に研究が進められてきたが、そのほとんどが分類の範疇を出ていなかった。ただし、系統的多様性は極めて高く、20動物門以上が生息することが指摘されていた。しかし、分類にしても、研究者数が少ない上、その体サイズが極めて小さく、また収斂進化によって形態的な特徴がつかみにくいため、必ずしも顕著な成果があがっているとは言い難い状況にあった。

本研究の採択前に、研究代表者は科学研究費補助金・萌芽的研究「日本産海生間隙性貝形虫類(甲殻類)の分類、生態および時空分布に関する基礎研究」(H14年-H16年)によって、間隙性貝形虫類の採集方法を確立し、またその生息には一定の堆積物粒子の大きさが必要であること、汀線からの距離によって種ごとに最適帯を形成すること等の知見を有していた。しかし、そこで記載された分類群は一部に限られ、また様々な環境のうち堆積物粒子の大きさ以外にはその応答関係が明らかになっていなかった。

2. 研究の目的

(1) 多様性を表す複数の指標を用いて、間隙性ファウナの多様性の高さを定量的に示すとともに、表在性ファウナと比較においてその実態を明らかにする。

(2) 個体数密度および種多様性について、間隙水の物理的、化学的および地質学的特性に着目して、生息の制限要因を特定する。

(3) 貝形虫類(甲殻類)を中心に、膨大な未記載種を継続的に記載し、間隙性ファウナの分類学的多様性に対する情報の拡大に貢献する。

(4) 可視サイズの生物に偏重しがちな生物多様性の視点を更新し、間隙水中のファウナによる日本発の生物多様性の視点を構築して世界的に広げるための基礎作りを行う。

3. 研究の方法

(1) 各調査地について、間隙性および表在性ファウナの多様性を明らかにする。

(2) 調査地の堆積物サンプルの粒度組成、間隙率、円磨度、岩質、表面の様態等のデータをとる。

(3) 調査地のサンプル採取地点における間隙水中の塩分、pH、溶存酸素、堆積物に付着したクロロフィル a、粒状有機炭素(POC)、粒状有機窒素(PON)の各量について定量する。

(4) (2)および(3)で求められたデータに対し、各サンプルの間隙性生物の個体数密度、分類群構成に対する相関を求める。

(5) 調査によって得られた未記載種を順次記載する。必要に応じて分子系統解析を行う。

(6) ウェブサイトの構築等によって、間隙性ファウナに関する情報の発信と共有化を行う。

4. 研究成果

間隙環境には極めて高い多様性に富む生物種が生息していることを明らかにした。駿河湾～相模湾沿岸250kmの海岸線の調査では、これまでに56種の間隙性貝形虫類が見いだされ、日本各地の調査地合計では、100種に及ぶ種が見いだされた(大部分が未記載種)。これは19世紀末から1世紀にわたって日本全国から報告された種数350種と比して極めて大きく、貝形虫類の場合、間隙性種の種数は、表在性種のそれに比肩しうる、もしくは凌駕する種数を擁することが示唆するものである。本研究期間内に1新属17新種の記載を行った。(発表論文 , ~ , , ; 学会発表 ~ , ~ , , , , ; ⑳, ㉓, ㉕, ㉗, ㉙~㉛, ㉝~㉞)

極めて高い種多様性が創出される要因として、特に Myodocopa 亜目の分類群の一部には、メイティングシステムとして、発達した交尾前隔離機構があることが示された。すなわち、オスの上唇の形態が種ごとに特殊化しており、これを交尾開始時にメスの後背部に接触させていた。このことは、接触刺激によってメスがオスを選択している可能性があり、この部位の特殊化が種多様性を創出していると考えられる。また、メイティングプラグを形成する種も発見され、高い種多様性を維持する機構が明らかになった。(発表論文 , ; 学会発表㉓, ㉞, ㉛, ㉝)

堆積物粒子の粒度組成は、そこに生息する貝形虫類の体サイズと分類群を規定し、粒度組成が大きく異なれば、貝形虫類相も完全に異なることがわかった。また大きな粒度組成を持つ堆積物に生息する比較的体サイズの大きな間隙性貝形虫は、属レベルで表在性種と共通のものが多く、一つの浜では汀線から潮下帯に生息していることがわかった(図1)。これは、間隙性種が表在性種から間隙環境に適応してゆく進化過程を捉える意



図1: 三保海岸における汀線際から陸側にかけての適応。汀線際に体サイズが大きく、間隙環境への適応が不完全なものが生息し、陸側に行くほど体サイズが小さく、完全に間隙環境に適応した分類群が生息する(未公表データ)。

味で、重要な観点となり得、今後の新研究展開を着想した。(学会発表 , , ㉗)

砂浜の環境要因と間隙性貝形虫類との個体数密度には、特に注目すべき成果が得られた。Wiegell(1964)は、砂浜の露出度(波のエネルギーの大きさ)を、堆積物粒子の中央粒

径と浜の傾斜角の2要素に集約できることを示したが、貝形虫類を採集した浜の2要素と個体数密度を求めたところ、図2のようにまとめられ、高い個体数密度を保つためには、露出度に上限があり、一定の保護環境であることが必要であることが確かめられた。しかし、干潟のような強い保護環境下では間隙性貝形虫類は生息しないことも明らかになっているので、保護度の下限が明らかになれば、間隙性貝形虫類の生息範囲を特定できるようになると思われる。(学会発表 27)

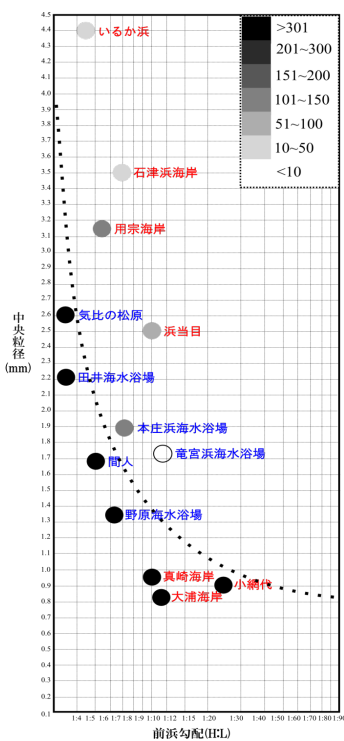


図2: 日本における海岸の露出度と間隙性貝形虫類の個体数密度の関連性を示す例。(未公表データ)。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計17件)

*印は、研究代表者の指導学生およびPD。

Le D.-D.* & Tsukagoshi, A. 2014. Three new species of the genus *Loxoconcha* (Crustacea, Ostracoda, Podocopida) from the Okinawa Islands, southern Japan. *Zootaxa*, 3796(1): 147-165. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3796.1.7> . 査読有

中尾有利子 . 2014 . *Angulicytherura miii* (甲殻亜門, 貝形虫綱)にみられる夏越しの戦略としての産卵基質の選択 . 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要 , 49: 163-171 . 査読有

Ozawa, H., Ishii, T. & Nakao, Y. 2014. Pore distributional patterns of *Loxoconcha ikeyai* (Crustacea: Ostracoda: Loxoconchidae) from the Lower Pleistocene Kakio Formation in Kanagawa Prefecture, central Japan.

Bulletin of the National Science Museum of Nature and Science, Series C (Geology & Paleontology), 40: 1-9. 査読有

Sohrin, R., Imanishi, K., Suzuki, Y., Kuma, K., Yasuda, I., Suzuki, K. & Nakatsuka, T., 2014. Distributions of dissolved organic carbon and nitrogen in the western Okhotsk Sea and their effluxes to the North Pacific. *Progress in Oceanography*, 126: 168-179. 査読有

Tanaka, H., Tsukagoshi, A. & Karanovic, I. 2014. Molecular phylogeny of interstitial Polycopidae ostracods (Crustacea) and descriptions of a new genus and four new species. *Zoological Journal of Linnean Society*, 172: 282-317. doi: 10.1111/zoj.1217.6 査読有

Tanaka, H. & Tsukagoshi, A. 2014. The intra-specific variation of the male upper lip morphology of *Parapolycope watanabei* n. sp. (Crustacea: Ostracoda) and it implies the speciation process. *Zoological Science* 31: 758-765. doi:10.2108/zs140128 . 査読有

Tomikawa, K., Kobayashi, N., Kyono, M., Ishimaru, S. & Grygier, M. J. 2014. Description of a new species of *Sternomoera* (Crustacea: Amphipoda: Pontogeneiidae) from Japan, with an analysis of the phylogenetic relationships among the Japanese species based on the 28S rRNA gene. *Zoological Science*, 31: 475-490.

Tanaka, H.* and Tsukagoshi, A. 2013. The taxonomic utility of the male upper lip morphology in the ostracod genus *Parapolycope* (Crustacea), with descriptions of two species. *Journal of Natural History*, 47: 963-986. 査読有

Tanaka, H.* and Tsukagoshi, A. 2013. Description and scanning electron microscopic observation of a new species of the genus *Polycopetta* (Crustacea, Ostracoda, Cladocopina) from an interstitial habitat in Japan. *Zookeys*, 294: 75-91. 査読有

塚越 哲 . 2013 . 私の調査研究 : 砂の隙間に生きる微小動物 . 自然史しずおか , 43 : 11-12 . 査読無

Higashi, R.* and Tsukagoshi, A. 2012. Two new species of the interstitial

genus *Parvocythere* (Crustacea, Ostracoda, Cytheroidea) from Japan: an example of morphological variation. *ZooKeys*, 193: 27-48. 査読有

Kaji, T., Venmathi Maran, B. A., Kondoh, Y., Ohtsuka, S., Boxshall, G. A. and Tsukagoshi, A. 2012. The lunule of caligid copepods: an evolutionarily novel structure. *Evolution & Development*, 14: 465-475. DOI: 10.1111/ede.12000 . 査読有

Kaji, T.*, Møller, O. S. and Tsukagoshi, A., 2011, A bridge between original and novel states - Ontogeny and function of "suction discs" in the Branchiura (Crustacea) -. *Evolution & Development*, 13: 119 -126. 査読有

Kawasaki, N., Sohrin, R., Ogawa, H., Nagata, T. & Benner, R. 2011, Bacterial content and the living and detrital contributions to suspended particulate organic carbon in the North Pacific Ocean. *Aquatic Microbial Ecology*, 62: 165-176. 査読有

Sohrin, R., Isaji, M., Obara, Y., Agostini, S., Suzuki, Y., Hiroe, Y., Ichikawa, T. & Hidaka, K. 2011, Distribution of *Synechococcus* in the dark ocean. *Aquatic Microbial Ecology*, 64: 1-14. 査読有

Higashi, R.* and Tsukagoshi, A. 2011. Four new species of the interstitial family Cobanocytheridae (Crustacea; Ostracoda) from central Japan. *Zootaxa*, 2924: 33-56. 査読有

Higashi, R.*, Tsukagoshi, A., Kimura, H. and Kato, K. 2011. Male dimorphism in a new interstitial species of the genus *Microloxoconcha* (Podocopida: Ostracoda). *Journal of Crustacean Biology*, 31: 142-152. 査読有

[学会発表](計38件)

*印は, 研究代表者の指導学生およびPD.

Tran, M.-H.* and Tsukagoshi, A. Evolution of Interstitial Ostracods: Adaptation to interstitial environment of Leptocytherid species from Okinawa Islands. ELSU symposium 2015- Construction of new Asia/Africa project platform for future earth-. B-nest Shizuoka City Industry-University Exchange Center, Shizuoka City,

Shizuoka Pref. February 25, 2015.

塚越 哲 . 生物の多様性と分類学—名前づけと認識をめぐって—. サイエンスカフェ in 静岡 第92話 . B-nest 静岡市産学交流センター (静岡県静岡市). 2014年12月18日 .

Tsukagoshi, A. and Le, D.-D.* Natural History of Ostracoda as a member of Meiofauna. ELSU symposium 2014- Evaluating our achievements in fostering environmental leaders towards a new goal-. B-nest Shizuoka City Industry-University Exchange Center, Shizuoka City, Shizuoka Pref. September 29, 2014.

Tran, M.-H.* and Tsukagoshi, A. Interstitial ostracod fauna from Okinawa Islands. ELSU symposium 2014- Evaluating our achievements in fostering environmental leaders towards a new goal-. B-nest Shizuoka City Industry-University Exchange Center, Shizuoka City, Shizuoka Pref. September 29, 2014.

Tran, M.-H.* and Tsukagoshi, A. Three new species of *Callistocythere* (Ostracoda, Podocopida, Leptocytheridae) from the Okinawa Islands, Japan. Strategic Energy and Resource Management and Sustainable Solutions. Tohoku University, Sendai City, Miyagi Pref. September 6, 2014.

Sohrin, R., Imanishi, K. & Suzuki, Y. Effluxes of dissolved organic carbon and nitrogen from the Okhotsk Sea to the North Pacific. Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual Meeting. Sapporo City, Hokkaido. July 31, 2014.

Tsukagoshi, A., Nishiyama, C.* and Higashi, R. Heterochrony in Ostracoda -an aspect of evolution-. The first Meeting of Asian Ostracodologists. Hanyang University, Seoul, Korea. July 24, 2014.

Nakao, Y. and Tsukagoshi, A. Spawning substrate preference of a winter-ephemeral species, *Angulicytherura miii* (Ostracoda: Crustacea), in an estuarine environment. The first Meeting of Asian Ostracodologists. Hanyang University, Seoul, Korea. July 24, 2014.

Le, D.-D.* and Tsukagoshi, A.
Chaetotaxy of maxillula in the species
of genus *Loxiconcha* from the view
point of phylogeny. The first Meeting of
Asian Ostracodologists. Hanyang
University, Seoul, Korea. July 24, 2014.

Kamiyama, S. & Nakao, Y. Ostracod
fauna in two estuaries in Tokyo Bay,
central Japan. The first Meeting of
Asian Ostracodologists. Hanyang
University, Seoul, Korea. July 24, 2014.

塚越 哲・静岡大学オストラコーダ研究チ
ーム 海生間隙性貝形虫類の多様性, 生態,
進化についての考察. 日本動物分類学会第
50 回大会. 国立科学博物館 (茨城県つく
ば市). 2014 年 6 月 14 日.

上山紗也加・中尾有利子. 東京湾の干潟に
生息する貝形虫類(甲殻亜門)の報告. 日
本動物分類学会第 50 回大会. 国立科学博
物館 (茨城県つくば市). 2014 年 6 月 14
日.

西山千尋*・塚越 哲・中尾有利子. 貝形
虫 *Palusleptocythere migrans* の生態と
干潟環境への適応. 日本古生物学会第 163
回例会. 兵庫県立人と自然の博物館(兵庫
県三田市). 2014 年 1 月 25 日.

宮崎耀司*・塚越 哲. 若狭湾産間隙性貝
形虫類の分類と駿河湾産間隙性貝形虫類
との比較. 日本古生物学会第 163 回例会.
兵庫県立人と自然の博物館 (兵庫県三田
市). 2014 年 1 月 25 日.

森成大輔*・塚越 哲. 静岡県三保真崎海
岸産間隙性貝形虫類の分類と生態. 日本古
生物学会第 163 回例会. 兵庫県立人と自
然の博物館 (兵庫県三田市). 2014 年 1
月 25 日.

塚越 哲. 生物多様性と種の認識 ~ 柿田川
の生態系保全のために ~. 第 10 回柿田川
生態系研究会シンポジウム. ホテル・エル
ムリーゼンシー (静岡県清水町). 2013
年 11 月 9 日.

中尾有利子・塚越 哲. *Angulicytherura*
miii (甲殻亜門: 貝形虫綱) の産卵場の選
択. 2013 年度日本プランクトン学会・日
本ベントス学会合同大会. 東北大学(宮城
県仙台市). 2013 年 9 月 28 日.

上山紗也加・中尾有利子. 東京湾多摩川河
口干潟における貝形虫相とその季節変化.
2013 年度日本プランクトン学会・日本ベ
ントス学会合同大会. 東北大学(宮城県仙
台市). 2013 年 9 月 28 日.

Le, D.-D.* and Tsukagoshi, A. Three
undescribed species of the genus
Loxiconcha (Crustacea, Ostracoda,
Podocopida) from Okinawa Islands,
southern Japan. 環境リーダープログラ
ム合同会議 2013. 筑波大学東京キャンパ
ス文京校舎 (東京都文京区). 2013 年 9
月 14 日.

Tsukagoshi, A. Taxonomy and ecology of
marine interstitial Ostracoda from
Japan. Fifteenth International
Meiofauna Conference in Korea,
Symposium. Hanyang University,
Ansan, Korea. July 22, 2013.

② Kamiyama, S. & Nakao, Y.
Brackish-water Ostracoda (Crustacea)
from the eastern and western parts of
Tokyo Bay, Central Japan. Fifteenth
International Meiofauna Conference in
Korea, Symposium. Hanyang
University, Ansan, Korea. July 22, 2013.

② Nakao, N. and Tsukagoshi, A.
Copulatory behavior and depositing
eggs in *Angulicytherura miii*
(Ostracoda: Crustacea): Strategies in a
winter-ephemeral species. Fifteenth
International Meiofauna Conference in
Korea, Symposium. Hanyang
University, Ansan, Korea. July 23, 2013.

③ Tanaka, H.* and Tsukagoshi, A. The
evolution of non-genitalic structures of
the ostracod genus *Parapolycope*, with
an insight into the speciation under the
interstitial habitat. Fifteenth
International Meiofauna Conference in
Korea, Symposium. Hanyang
University, Ansan, Korea. July 23, 2013.

④ Tsukagoshi, A. Ostracoda Part 2:
Evolution. Fifteenth International
Meiofauna Conference in Korea,
Workshop. Chonnam National
University, Yeosu, Korea. July 18, 2013.

⑤ Tsukagoshi, A. Ostracoda Part 1: Ecology
and species diversity. Fifteenth
International Meiofauna Conference in
Korea, Workshop. Chonnam National
University, Yeosu, Korea. July 15, 2013.

⑥ 大地悠哉*・塚越 哲. 海生間隙性貝形虫
類(甲殻類)の海岸の露出度に対する適応.
日本動物分類学会第 49 回大会. 宮城教育
大学(宮城県仙台市). 2013 年 6 月 8 日.

⑦ 中尾有利子・塚越 哲. *Angulicytherura*

- miii* (甲殻亜門: 貝形虫綱) の繁殖行動- 冬季のみに出現する種の戦略-. 日本動物分類学会第 49 回大会. 宮城教育大学 (宮城県仙台市). 2013 年 6 月 8 日.
- ⑳ Sohrin, R., Mori, A., Nagaosa, K., Kato, K. & Suzuki, Y. Microbial degradation of disaccharides in seawater. ASLO Aquatic Sciences Meeting. Biwako Hall, Ohtsu City, Shiga Pref. July 11, 2012.
- ㉑ 東 亮一*・塚越 哲. 間隙性貝形虫類 *Parvocythere* 属の種間変異とその進化: 間隙性分類群における進化の例として. 日本古生物学会 2012 年年会, 名古屋大学 (愛知県名古屋市). 2012 年 6 月 30 日.
- ㉒ 廣崎桃子*・塚越 哲・東 亮一*. 間隙性貝形虫類 *Xestoleberis* 属 2 未記載種から推測する間隙環境への適応段階. 日本古生物学会 2012 年年会, 名古屋大学 (愛知県名古屋市). 2012 年 6 月 30 日.
- ㉓ 東 亮一*. 間隙性貝形虫類の形態における進化的傾向の普遍性と多様性. 日本動物分類学会第 48 回大会, 東邦大学 (千葉県習志野市). 2012 年 6 月 9 日.
- ㉔ 田中隼人*. 間隙性貝形虫類 *Parapolycope spiralis* の交尾栓とその由来. 日本動物分類学会第 48 回大会, 東邦大学 (千葉県習志野市). 2012 年 6 月 9 日.
- ㉕ 塚越 哲. 間隙性オストラコーダの自然史: 垣間見る驚異の種多様性. 平成 23 年度自然史学会連合講演会「標高差 7000m の自然史- 富士山から駿河湾まで-. 清水テルサ (静岡県静岡市). 2011 年 11 月 23 日.
- ㉖ Tanaka, T.*, Arai, F.* and Tsukagoshi, A. The response to variable salinity and the colonization of rivermouth environments in the myodocopan species *Parapolycope oligohalina* (Cladocopina, Polycopidae) from the oligohaline interstitial environment. Seventh European Ostracodologists' Meeting (EOM7). Karl-Franzens-University of Graz, Austria. July 25, 2011.
- ㉗ 田中隼人*・塚越 哲. 間隙性貝形虫 *Parapolycope spiralis* とその 2 形態群の分類. 日本古生物学会 2011 年年会. 金沢大学 (石川県金沢市). 2011 年 7 月 2 日.
- ㉘ 東 亮一*. 間隙性貝形虫類の地理的分散における地理的・時間的スケール. 日本古生物学会 2011 年年会. 金沢大学 (石川県金沢市). 2011 年 7 月 2 日.
- ㉙ 大地悠哉*・塚越 哲・宗林留美. 海産間隙性貝形虫類の体サイズと個体数密度に対する制限要因. 日本古生物学会 2011 年年会. 金沢大学 (石川県金沢市). 2011 年 7 月 2 日.
- ㉚ 田中隼人*・*Parapolycope spiralis* (貝形虫綱: ポリコープ科) と 3 形態群. 日本動物分類学会第 47 回大会. 琉球大学 (沖縄県那覇市). 2011 年 6 月 4 日.
- 〔図書〕(計 0 件)
- 〔産業財産権〕なし
- 〔その他〕
関連ホームページ
http://fujiwara-nh.or.jp/archives/2010/0223_135100.php
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
- 塚越 哲 (TSUKAGOSHI, Akira)
静岡大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 9 0 2 1 2 0 5 0
- (2) 研究分担者
- グライガー マーク (GRYGIER, Mark)
滋賀県立琵琶湖博物館・上席統括学芸員
研究者番号: 6 0 3 5 9 2 6 3
- 宗林 留美 (SOHRIN, Rumi)
静岡大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 0 0 3 4 3 1 9 5
- 中尾 有利子 (NAKAO, Yuriko)
日本大学・文理学部・助教
研究者番号: 0 0 3 7 3 0 0 1
- (3) 連携研究者
- 大塚 攻 (OHTSUKA, Susumu)
広島大学・大学院生物圏科学研究科・教授
研究者番号: 0 0 1 7 6 9 3 4