

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 28 日現在

機関番号：12702

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26440209

研究課題名(和文) 視覚の適応が創出する種の多様性

研究課題名(英文) The visual adaptation causes the diversity of species

研究代表者

寺井 洋平 (Terai, Yohey)

総合研究大学院大学・先端科学研究科・助教(特定有期雇用)

研究者番号：30432016

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)：本研究ではお生態適応による種分化機構の生物多様性の創出における一般性を明らかにすることを本研究の目的としている。本研究は3つの研究から構成されるが、1)アノールの研究では環境光、婚姻色を呈した皮膚の反射光、視物質の吸収から、環境適応による種分化が示唆された。2) ノトセニアの研究からは視覚の環境への適応が示された。3)シクリッドの研究からは視覚に関する遺伝子が環境適応のために自然選択で、婚姻色形成に関する遺伝子が配偶者選択により性選択で進化し種分化を起こしてきたことを示し、生態適応による種分化の機構の一般性を示した。

研究成果の概要(英文)：The goal of this study was to demonstrate the commonality of ecological speciation. This study was divided into three parts: the first part is anolis. We showed the possibility of ecological speciation by measurements of light environments, the reflectance of dewlap, and absorption spectra of the LWS opsin pigments. 2) In notothenia part, we showed the visual adaptation of this fish to the environment of sea. 3) In cichlids part, we demonstrated that visual genes have evolved for adaptation to light environments and breeding coloration formation genes have evolved by sexual selection. These three studies represented the commonality of ecological speciation in vertebrates.

研究分野：分子進化生態学

キーワード：種分化 生態適応 視覚 配偶者選択 シクリッド アノール ノトセニア

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

生物の多様性は進化の中で、種分化をくり返し膨大な数の種を生み出すことによって創出されてきた。この生物一般で見られる種分化であるが、その機構について知見は非常に少ない。研究代表者はカワスズメ科魚類(シクリッド)を用いて生態適応による種分化の機構を明らかにしてきた。

それまでの研究により、さらに次の2つの疑問が生じてきた。1つめの疑問は環境適応によって起こる種分化は、どれほど多くの生物で起きており、どの程度一般的な機構なのだろうか?ということである。視覚の適応はよく研究されてはいるが、環境と視覚の機能の相互作用まで含めて適応を示した例は水中の深さと透明度による光環境への適応などしか報告されていなく、特に陸上生物でのこのような適応の報告例はない。研究代表者は、連携研究者(河田)との共同研究でキューバに生息するアノールトカゲ(アノール)の視覚の適応について研究を進めていた。その結果、森林の内部に生息する種では、1つのオプシン遺伝子のこれまで吸収波長をシフトさせると報告のあるアミノ酸位置(アノールオプシン 119番目)が置換しており、森林内部の光環境に適応している可能性が高いことを明らかにしてきた。また、アノールは繁殖の際にメスがオスの喉の広がった皮の色(婚姻色)を認識することが知られており、視覚の適応はこの喉の皮の色と対応している可能性が高い。つまり、アノールも環境適応により種分化を起こしてきたと予想される(図参照)。また、連携研究者(大田)との共同研究で、南極海に生息するノトセニア科魚類(氷魚)の中で氷棚の下に生息する種の1つのオプシン遺伝子において、これまで吸収波長をシフトさせると報告のあるアミノ酸位置(氷魚オプシン 292番目)が置換しており、厚い氷を透過した光により構成される環境に適応している可能性が高いことを明らかになった。氷魚がどのようにして生殖的に隔離されているかまだ明らかではないが、環境適応が種分化の引き金になっていることが期待される。

2つめの疑問は、シクリッドにおいてオプシンの波長感度の適応によって本当に婚姻色が進化してきたかということである。婚姻色を形成する遺伝子の特定が可能になれば、視覚の適応との関連を明らかにすることが可能となる。

2. 研究の目的

本研究では環境適応によって起こる種分化の機構がどの程度一般性があるか、1) アノールトカゲの森林内部への視覚の適応と、南極の氷魚の氷棚の下への視覚の適応を視物質の測定により明らかにする、また 2) シクリッドでは婚姻色形成遺伝子の特定とその進化から明らかにする。これらの研究により、生態適応による種分化機構の生物多様性の創出における一般性を明らかにすることを本研究の目的としている。

3. 研究の方法

1) アノール

森林内部と外部の光環境を測定するため、キューバに行き野外調査をする。ポータブル分光光度計を用いて、アノールが採餌する方向の光スペクトルを森林内部と外部それぞれで測定する。また、その際、アノールのオスの喉の皮の反射スペクトルも測定する。こちらでもポータブル分光光度計により測定可能である。

すでに本研究課題の前の研究からキューバに生息するアノールでは森林内部に生息する種は、外部に生息する種に比べて、長波長域に吸収を持つ視物質のタンパク質成分のオプシン(LWS)に数アミノ酸置換があることを明らかにしている。このうちの1つ 119番目のアミノ酸置換は、これまでの研究で吸収波長のシフトを起こすことが報告されている。そのため、森林の内部と外部のオプシン配列からタンパク質を産生し、これにレチナールを結合させることにより視物質を再構築し、吸収波長を測定することによりその機能を調べる。具体的には、cDNA からオプシン配列を増幅し、これを pMT5 もしくは pCMV ベクターに組み込む。このベクターを大腸菌内で増幅して精製し、Cos7 培養細胞中に導入してタンパク質を産生させる。このタンパク質にレチナールを結合させて視物質を再構築し、赤色光もしくは赤外線の下で精製する。用いるレチナールの種類は事前に分析をする。精製した視物質はオプシン測定用分光光度計にて吸収波長の測定を行う。

これらの光環境データと吸収波長データから、視物質による環境光の受容効率を算出し、受容効率の高い視物質を適応的とする。また、喉の色の反射スペクトルと視物質が吸収する環境光から、同種と近縁種における喉の色の目立つ程度を予測し、同種で喉の色が近縁種と比較して目立つならそ

れは、視覚の適応的な分化の副産物として生殖的隔離が生じてきたことを示す。

2) ノトセニア科魚類(氷魚)

すでに本研究課題の前の研究から氷魚で氷棚の下に生息する種は、外部に生息する種に比べて、薄明視を担うし物質のタンパク質成分のオプシン(RH1)に1アミノ酸置換があることを明らかにしている。この292番目のアミノ酸置換は、これまでの研究で吸収波長のシフトを起こすことが報告されている。そのため、氷棚の下と外部のオプシン配列からタンパク質を産生し、これにレチナールを結合させることにより視物質を再構築し、吸収波長を測定することによりその機能を調べる。具体的な方法はアノールの場合と同じであるので省略をする。

3) シクリッド

ヴィクトリア湖のシクリッドは種間の遺伝的分化の程度が非常に低く、種特異的な形質に関わる遺伝領域のみが分化しているのではないかと考えられていた。そのため、種間のゲノム比較を行い、種間で分化した領域を抽出すれば、種特異的な婚姻色の形成に関わる遺伝領域の単離が可能だと考えられる。*Haplochromis pyrrhocephalus* と *H. sp. 'macula'* のそれぞれ20個体からDNAを抽出し、次世代シーケンスにより配列を決定する。公開されている近縁種 (*Pundamilia nyererei*) のゲノム配列に決定した配列をマップすることにより、多型サイトを両種から抽出する。多型情報から種間の分化の程度と種間で分化した遺伝領域を抽出して、婚姻色形成遺伝子の情報を得る。

4. 研究成果

1) アノール

はじめにキューバでの野外調査を行なった。対象とする種は、森林内部の種と開けた明るい環境の種とした。森林内部と開けた生息場所の光環境の測定を行なった。その結果、開けた場所では紫外から赤外域までの幅広い光の成分が環境光として測定されたが、森林内部では光が弱く中波長域と赤外域の光が主に測定された。これらのことから、開けた場所と森林内部では光の強さばかりでなく光の波長成分が大きく異なることが明らかとなった。次に喉の皮に反射スペクトルの測定を行なった。その結果、森林内部に生息する種に比べ、開けた場所に生息する種の方が、より長波長の光を反射することが明らかになった。これらのこ

とにより、長波長の光が存在する開けた場所に生息する種は、利用できる長波長の光を反射し、中波長域の光が主な森林内部では中波長域に近い波長を反射していることが考えられた。これらの結果は環境適応による種分化によく当てはまる。

次に視覚の環境適応を調べるためにLWSの機能の解析を行なった。機能解析を行う際に重要となるのが、その生物種が用いている発色団(視物質中の光を吸収する物質)である。アノールではフロリダ半島に生息する種でA2レチナールが、その祖先系統にあたるキューバに生息する種でA1レチナールの使用が報告されている。そこで、フロリダ半島の種に近縁なキューバの種とその他の系統のキューバの種で使用している発色団を調べた。その結果、フロリダ半島の種の祖先系統ではA2レチナールを、その他のキューバの系統ではA1レチナールを使用していることが明らかになった。このことから、キューバに生息する種ですでにA1からA2レチナールへのスイッチが起き、その種がフロリダ半島に分布を広げたことが明らかになった。またこの発色団のスイッチに伴い、中波長域に吸収をもつ視物質のオプシン(RH1, RH2)が波長をソフトさせる進化をしたことも推定された。

発色団解析から明らかになったA1レチナールを用い、森林内部とひらけた場所に生息する種のLWS配列から視物質を再構築し、吸収波長の測定を行なった。その結果、開けた場所に生息する種はヒトとほぼ同じ560 nmに吸収のピークをもっていた。これまでフロリダに生息する種ではLWS視物質の吸収波長が測定されており、今回測定した結果はフロリアの種と比較して10 nm以上短波長にシフトしていた。これは一般の陸上脊椎動物のLWSの吸収とほぼ同じであり、開けた環境に適応的であると考えられる。森林内部の種でもオプシン視物質の測定を行なったが、視物質の不安定性から正確な吸収波長を決定することはできなかった。しかし、得られたデータからは波長のシフトが予想されるため、今後の測定により適応を明らかにできると考えている。

2) ノトセニア科魚類(氷魚)

氷魚に関しては、はじめに用いた種でRH1遺伝子の配列の決定を行なった。次にデータベースに登録されている配列と合わせて、系統樹を構築した。その結果、3つの浅場に生息する系統と、1つの深場に生

息する系統が存在することが明らかになった。深場の系統では RH1 の 292 番目のアミノ酸がアラニンからセリンに置換していた。この置換は深海や深い湖に生息する魚類で見られる置換であり、RH1 視物質の吸収を短波長側にシフトし、深い水深の光環境に適応的であることが知られている。生息する面白いことに浅場に生息する系統において、数種類でこの 292 番目のアラニンからセリンの置換が見られ、またこれら数種は氷棚の下に生息する種であった。このことから、氷棚の下の光環境が深海の光環境に似ており、別々の系統で並行的に同じアミノ酸置換が適応のために起きたと考えられた。

これらの RH1 配列が機能からも適応的であるかを明らかにするために、浅場と深場、それぞれに生息する種の RH1 配列から再構築した。それぞれの視物質の吸収波長を測定した結果、どちらも大きく短波長シフトしており、浅場と深場の種の吸収波長はほぼ変わらなかった。これらのシフトは南極海特有の光環境への適応のためであると考えられる。また、深海の種と氷棚の下の種だけで 292 番目のアミノ酸がセリンに置換しているのは、弱光など特殊な環境に適応した結果だと考えられた。これらの種はそれぞれ光環境に適応して生態的な種分化を起こしていたのではないか。

3) シクリッド

シクリッドに関して、研究開始時は婚姻色形成遺伝子を明らかにするために、変異体解析を行う予定であった。実際、CRISPR/CAS9 システムのベクターを購入し、変異体解析の準備を進めたが変異体作成を予定していた 2 種、*H. pyrrucephalus* と *H. sp.* ‘macula’ において産卵回数と 1 回の卵数が少なく効率的な変異体作成を行うことが困難であった。そのため婚姻色形成遺伝子を単離する方法を種分化直後の種を用いたゲノム解析に切り替えて行なった。婚姻色はヴィクトリアシクリッドでもっとも多様化し、種特異性を示す形態である。ヴィクトリア湖のシクリッドは種間の遺伝的分化の程度が非常に低く、そのため、種間のゲノム比較を行い、種間で分化した領域を抽出すれば、種特異的な婚姻色の形成に関わる遺伝領域の単離が可能だと考えられた。*Haplochromis pyrrucephalus* と *H. sp.* ‘macula’ のそれぞれ 20 個体から DNA を抽出し、次世代シーケンスにより配列を決

定し、近縁種 (*Pundamilia nyererei*) のゲノム配列に決定した配列をマップした。このマップした情報から、多型サイトとその塩基の頻度を抽出し、種間の分化の程度と種間で分化した遺伝領域を明らかにした。その結果、ヴィクトリア湖のシクリッド種間では、遺伝的分化がほぼないということが明らかになった。それに対して種間で分化した領域は 10~20 kb 程度と非常に短く、また全ゲノム中に 21 箇所しか存在しなかった。これら分化領域には遺伝子が存在し、21 領域中 15 領域でそれらの遺伝子が種分化や種特異的な適応に関わることが予想された。これらの遺伝子の中に表皮の形成や性特異的な形質の形成に関わる遺伝子が含まれており、それらを婚姻色形成遺伝子の候補とした。またこれらの遺伝子は実際に婚姻色を形成しているオスの体側の皮膚で発現していた。これらの遺伝子において種間で異なる変異は遺伝子のコード領域には存在せず、遺伝子の非コード領域に存在していた。そのため、これらの遺伝子の発現を定量 PCR により 2 種間で比較すると大きく発現量が異なっていた。これらの結果から、今回比較ゲノム解析と発現解析により特定した婚姻色形成遺伝子の候補は、実際に婚姻色の形成に関わっている可能性が高いと考えられる。これら遺伝子が存在する領域と他のゲノム領域を比較することにより、これらの遺伝子が選択を受けて進化してきたことが明らかとなった。婚姻色は繁殖に関わっているため、メスがオスを選択する性選択により進化してきたと考えられる。これらのことから、シクリッドにおいて視覚が環境に適応し、適応した視覚に感度のよい色に婚姻色が進化し種分化が起こってきたと考えられる。また、この過程において視覚の遺伝子は自然選択により、婚姻色形成遺伝子は性選択により進化してきたと予想された。

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 11 件)

1. Terai Y, Miyagi R, Aibara M, Mizoiri S, Imai H, Okitsu T, Wada A, Takahashi-Kariyazono S, Sato A, Tichy H, Mrosso HDJ, Mzighani SI, Okada N. Visual adaptation in Lake Victoria cichlid fishes: depth-related variation of color and scotopic opsins in species from sand/mud bottoms. *BMC Evolutionary Biology* 17:200 (2017)

2. Mieko Kono, Hideyuki Tanabe, Yoshihito Ohmura, Yoko Satta, and Yohey Terai. "Physical contact and carbon transfer between a lichen-forming Trebouxia alga and a novel Alphaproteobacterium" *Microbiology* in press (2017)
3. Anik Budhi Dharmayanthi, Yohey Terai, Sri Sulandari, Toyoko Akiyama, Yoko Satta. The Origin and Evolution of Fibromelanosis in Domesticated Chickens: Genomic comparison of Indonesian Cemani and Chinese Silkie breeds. *PLOS ONE* DOI: 10.1371/journal.pone.0173147 (2017)
4. Shiho Takahashi-Kariyazono, Jun Gojobori, Yoko Satta, Kazuhiko Sakai, and Yohey Terai. *Acropora digitifera* Encodes the Largest Known Family of Fluorescent Proteins that Has Persisted during the Evolution of *Acropora* Species. *Genome Biol. Evol.* 1–13 (2016)
5. Shiho Takahashi-Kariyazono, Hirokazu Tanaka, Yohey Terai. Gene duplications and the evolution of c-type lysozyme during adaptive radiation of East African cichlid fish. *Hydrobiologia*, 791:7–20 (2017)
6. Malinsky M, Challis RJ, Tyers AM, Schiffels S, Terai Y, Ngatunga BP, Miska EA, Durbin R, Genner MJ, Turner GF. Genomic islands of speciation separate cichlid ecomorphs in an East African crater lake. *Science*, Vol. 350, pp. 1493-1498 (2015)
7. Shiho Takahashi-Kariyazono, Yoko Satta, Yohey Terai. Genetic diversity of fluorescent protein genes generated by gene duplication and alternative splicing in reef-building corals *Zoological Letters*, 1:23 (2015)
8. Shirai K, Inomata N, Mizoiri S, Aibara M, Terai Y, Okada N, Tachida H. High prevalence of non-synonymous substitutions in mtDNA of cichlid fishes from Lake Victoria. *Gene*. 552:239-245. (2014)
9. Matsumoto T, Terai Y, Okada N, Tachida H. Sensory drive speciation and patterns of variation at selectively neutral genes. *Evolutionary Ecology*. 28: 591-609 (2014)
10. Kuroiwa A, Terai Y, Kobayashi N, Yoshida K, Suzuki M, Nakanishi A, Matsuda Y, Watanabe M, Okada N. Construction of chromosome markers from the Lake Victoria cichlid *Paralabidochromis chilotes* and their application to comparative mapping. *Cytogenet. Genome Res.* 142: 112-120 (2014)
11. 寺井洋平：フィールドワークから見た視覚の適応進化、フィールドプラス2016, 01 No. 15, p24-25
〔学会発表〕（計 29 件）
招待講演
 1. Yohey Terai: Genomic study on sensory drive speciation. The 5th International Seminar on Biodiversity and Evolution: New Methodology for Wildlife Science. June, 2016, Kyoto.
 2. 寺井洋平: ゲノムから見たシクリッドとマカクの適応と種分化。「放散虫・魚・樹木のかたち」形の科学研究センター シンポジウム. 2016 年 9 月、佐渡島
 3. 寺井洋平: シクリッドの視覚の適応的な多様化と種分化、第 11 回 水生動物の行動と神経系シンポジウム 2015 年 11 月 5 日 横浜市立大学
 4. Yohey Terai: Speciation with gene flow generates islands of speciation in Lake Victoria cichlids 第 2 回 ゲノム多様性解析ワークショップ 2015 年 12 月 16 日(水)~17 日(木) 総合研究大学院大学 葉山キャンパス
 5. 寺井洋平「Genomic islands: 種分化の際にゲノムに出現する種形成の責任領域」日本魚類学会年会 小田原 2014 年
 6. 寺井洋平「B 染色体が保有個体をメス化させる機構とその進化」日本遺伝学会 第 86 回大会 長浜 2014 年
 7. 寺井洋平「陸上、水中、氷の下、視覚の多様化が創出する種の多様性」日本進化学会 第 16 回大会 大阪 2014 年
 8. Yohey Terai「Genomic regions responsible for speciation in Sulawesi macaques: approach from high-throughput sequencing analysis」The 4th International Congress on Asian Primates. Bogor Indonesia 2014 年
一般発表
 1. Terai Y, Miyagi R, Sato A, Takuno S. Speciation with extensive gene flow in Lake Victoria cichlid species. SMBE meeting. June, 2016, Gold Coast.
 2. Takahashi-Kariyazono S, Satta Y, Terai Y. Evolution and genetic basis of *Acropora* species fluorescence. SMBE meeting. June, 2016, Gold Coast.
 3. Arakawa N, Terai Y, Satta Y. Comparative Study of Skin Gene Expression Patterns between Human and Apes. SMBE meeting. June, 2016, Gold Coast.
 4. Anik Budhi Dharmayanthi, Terai Y, Satta Y. The origin and evolution of fibromelanosis locus in domesticated chickens: comparison between Indonesian Cemani and Chinese Silky genomes. SMBE meeting. June, 2016, Gold Coast.
 5. 寺井洋平、今井啓雄、Laurentia Henrieta Purba、Kanthi Arum Widayati、Bambang Suryobroto、スラウェシ島固有のマカクにおける適応と種分化に關与する遺伝子、第 18 回日本進化学会大会、2016 年 8 月、東京
 6. 荒川那海、寺井洋平、今井啓 雄、颯田 葉子、類人猿と比較したヒト特異的皮

- 膚形質の獲得について、第 18 回日本進化学会大会、2016 年 8 月、東京
7. 清古貴、岸田拓士、戸田守、颯田葉子、寺井洋平、ウミヘビ類の視覚における段階的な海棲適応、第 18 回日本進化学会大会、2016 年 8 月、東京
 8. Seiko T, Kishida, T, Toda M., Satta Y, Terai Y: Visual adaptive processes from land to sea in the sea Joint meeting of the 22nd International Congress of Zoology & the 87th meeting of the ZSJ, November, 2016, Okinawa.
 9. Suryobroto B, Terai Y, Widayati K, Purba LH, Hiroo Imai: Evolutionary relationship of *Macaca tonkeana* and *M. hecki*: Speciation with gene flow. 5th Asian Primate Symposium. October, 2016, Sri Lanka
 10. Kono M, Terai Y, Satta Y: High throughput genome sequencing of a lichen-forming fungus *Usnea hakonensis* and its photobiont *Trebouxia* sp. The 8th IAL Symposium Lichens in Deep Time. August, 2016, Helsinki
 11. Shiho Takahashi-Kariyazono, Yoko Satta, Yohey Terai. Genetic diversity of fluorescent protein genes generated by gene duplication and alternative splicing in reef-building corals. SMBE meeting, Vienna, June 12-16, 2015
 12. Yohey Terai, Ryutaro Miyagi, Shohei Takuno. Genomic regions and genes responsible for species-specific traits and speciation in Lake Victoria cichlid fishes. SMBE meeting, Vienna, June 12-16, 2015
 13. Anik Budhi Dharmayanthi, Yohei Terai, Yoko Satta. The Origin of Fibromelanosis using Genetic Comparison between Indonesian Cemani Chicken and Other Domesticated Chickens. SMBE meeting, Vienna, June 12-16, 2015
 14. Nami Arakawa, Yohey Terai, Yoko Satta. Comparative Study of Gene Expression Patterns in Skins between Humans and Other Primates. SMBE meeting, Vienna, June 12-16, 2015
 15. ミドリイシ属サンゴ生体が放射する蛍光の遺伝的基盤とその進化 仮屋園(高橋)志帆、五條堀淳、颯田葉子、寺井洋平 日本進化学会大会 東京、8 月 20 日 2015 年
 16. ヴィクトリア湖産シクリッドの種間の違いを生み出す遺伝領域の機能とその起源 寺井洋平、宮城竜太郎、佐藤秋絵、宅野将平 日本進化学会大会 東京、8 月 20 日 2015 年
 17. 霊長類におけるヒトの皮膚の表現型の特性について 荒川那海、寺井洋平、

今井啓雄、颯田葉子 日本進化学会大会 東京、8 月 20 日 2015 年

18. 秋山辰穂、寺井洋平、若桑基博、蟻川謙太郎: 夜行性と昼行性のスズメガ種間におけるオプシン遺伝子の比較解析. 日本進化学会第 16 回大会、2014 年 8 月、大阪
19. 高橋志帆、寺井洋平、颯田葉子: コモンサンゴにおける赤色蛍光タンパク質遺伝子の多様化 日本進化学会第 16 回大会、2014 年 8 月、大阪
20. 寺井洋平: ノソブランキウス属の視覚の多様化と性選択による婚姻色の多様化 日本進化学会第 16 回大会、2014 年 8 月、大阪
21. Yohey Terai, Hideyuki Tanabe: The evolution of female determination by B chromosome in cichlid fish. Society for Molecular Biology and Evolution 201 July Puerto Rico

〔図書〕(計 1 件)

1. 寺井洋平. 丸善出版、動物学の百科事典: 適応放散. 印刷中.

〔産業財産権〕

出願状況 なし
取得状況 なし

〔その他〕

ホームページ等
「種分化と適応の機構の研究紹介」
<http://adaptive-speciation.com>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺井洋平 (TERAI, Yohey)
総合研究大学院大学・先導科学研究科・助教

研究者番号: 30432016

(2) 研究分担者

藤村衡至 (FUJIMURA, Koji)
新潟大学・自然科学系・助教

研究者番号: 90722140

(3) 連携研究者

河田 雅圭 (Kawata, Masakado)
東北大学・生命科学研究科・教授
研究者番号: 90204734

(4) 大田 竜也 (Ota, Tastyuya)

総合研究大学院大学・先導科学研究科・準教授

研究者番号: 30322100

(5) 今井 啓雄 (Imai, Hiroo)

京都大学霊長類研究所・ゲノム細胞研究部門ゲノム進化分野・準教授

研究者番号: 60314176