

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2006～2008

課題番号：18405007

研究課題名 (和文) シクリッドの適応放散メカニズム

研究課題名 (英文) The mechanism of adaptive radiation in cichlid fishes

研究代表者

岡田 典弘 (OKADA NORIHIRO)

東京工業大学・大学院生命理工学研究科・教授

研究者番号：60132982

研究成果の概要：シクリッドを用いて適応放散の分子メカニズムの解明を目的に研究を行い、視覚の環境への適応とそれに伴う婚姻色の進化が種分化を引き起こし、適応放散につながったことを明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2007年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2008年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2009年度	0	0	0
年度			
総計	10,100,000	3,030,000	13,130,000

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：生物科学・進化生物学

キーワード：進化生物学一般、シクリッド、種分化、種形成、多様化

1. 研究開始当初の背景

生物の多様性は進化の過程で獲得されてきたと考えられている。しかし、生物が進化する際、実際に分子レベルでは何が起きているのかは全く明らかになっていなかった。適応放散は種の分化と適応の繰り返しによって起こり、多くの生物の出現に重要な役割を担ってきた。しかし、それがどのように起こるかについて、どのような遺伝子に、いつ変異が起こり、どのような作用があり、種が分化し適応するかは不明であった。

適応放散を研究するのに最も適した生物としてカワスズメ科魚類(シクリッド)があ

る。シクリッドとは淡水に生息する硬骨魚類であり急速に種分化を起こしたことで進化生物学者に注目されている。その中でもアフリカのタンガニイカ湖産とヴィクトリア湖産のシクリッドは急速に種分化を起こしたため、適応放散の分子機構の解明ができるのではないかと期待されてきた。

2. 研究の目的

本研究の目標は、適応放散のメカニズムを分子レベルで明らかにすることである。それを

可能にするには非常に最近に適応放散を起こした生物を研究することが必須であり、アフリカの湖で適応放散を起こしてきたシクリッドは理想の生物の系である。本研究では成立年代の異なる2つの湖（1）ビクトリア湖と（2）タンガニカ湖で並行的に適応放散を起こしてきたシクリッドの生態情報、生息環境、DNA 抽出用のサンプルを収集し適応放散のメカニズムを明らかにする基礎を築くことを目的としている。

3. 研究の方法

ヴィクトリア湖においては、現地での野外調査を行い、シクリッドを様々な生息環境から採集し、生体の写真、生態情報、生息環境、DNA 抽出用のサンプルを集める。とくに生息環境では光環境を詳しく調べる。25 m の光ファイバーを用い、水深 0 m～20 m での光を様々な透明度の場所でスペクトルメーターにより測定し、視覚の適応とそれに伴う婚姻色の進化について考察を行う。

タンガニカ湖も現地での野外調査を行う。タンガニカ湖はヴィクトリア湖より水深が深いため、幅広い深さから4つの族（科と属の中間の分類群）の種を数多く採集し個体の写真、生態情報、生息環境、DNA 抽出用のサンプルを集める。そしてそれらの種の系統関係を明らかにし、適応放散の過程を考察する。

4. 研究成果

ヴィクトリア湖の調査は平成 18 年度から毎年行われ、これまでに計 1 万個体以上の写真、生態情報、生息環境、DNA 抽出用のサンプルが集められた。とくに生息環境では光ファイバーを用いてスペクトルメーターで環境光の測定を詳しく行った。25 m の光ファイバーを用い、水深 0 m～20 m での光を様々な透明度の場所でスペクトルメーターにより測定した。これまで海洋などでは水深が深くなるにつれて届く光は 480 nm 近傍に収束することが知られていたが、ヴィクトリア湖ではこれより 100 nm 程度長波長よりの 585 nm 近傍に収束することが明らかになった（図 1）。また調査により得られた形態、生態の情報をこれまでに記載されている種の情報と詳細に照らし合わせたところ、驚いたことに多くの未記載種が含まれていることが判明した。またすでに絶滅したとされていた種が実は

まだ生息していたことも明らかとなった。これらの種の情報の本としてまとめた。そして DNA 抽出用のサンプルを用いた集団遺伝学的解析や種分化に関する論文を発表した。

タンガニカ湖の調査は平成 18、19 年度に行われた。タンガニカ湖はヴィクトリア湖より水深が深いため、幅広い深さから4つの族（科と属の中間の分類群）の種を数多く採集し個体の写真、生態情報、生息環境、DNA 抽出用のサンプルが集められた。この調査によりタンガニカ湖に生息する約 250 種のシクリッドすべての収集を網羅することができた。これらの生態情報、生息環境の情報を基礎にして、薄明視に重要な RH 1 オプシン遺伝子の解析を行った。その結果、4つの族がそれぞれ異なった適応の過程を経て進化してきたことが明らかになり、またそれぞれの族で独立に RH 1 遺伝子の適応的なアミノ酸置換が起こったことが明らかになった。この研究は脊椎動物で最も際立った適応的収斂進化の例として論文を投稿中である。

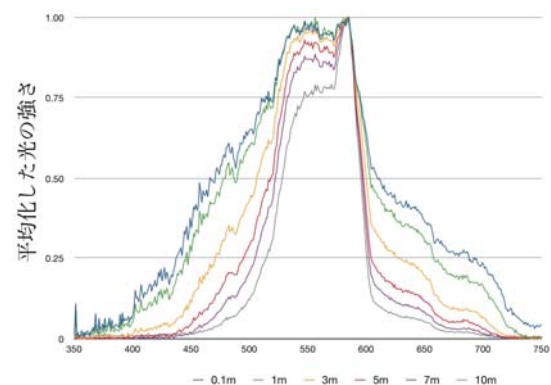


図 1 ヴィクトリア湖水中の光の成分分布

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 16 件）

① Seehausen O, Terai Y, Magalhaes IS, Carleton KL, Mrosso HD, Miyagi R, van der Sluijs I, Schneider MV, Maan ME, Tachida H, Imai H, Okada N. Speciation through sensory drive in cichlid fish. *Nature* (Article). 455:620-6 (2008), 査読有り

② Fujimura K, Terai Y, Ishiguro N, Miya M, Nishida M, Okada N. Heterotypy in the N-terminal region of

growth/differentiation factor 5 (GDF5) mature protein during teleost evolution. *Mol Biol Evol.* 25:797-800 (2008) , 査読有り

③Terai Y, Seehausen O, Sasaki T, Takahashi K, Mizoiri S, Sugawara T, Sato T, Watanabe M, Konijnendijk N, Mrosso HDJ, Tachida H, Imai H, Shichida Y, Okada N. Divergent selection on opsins drives incipient speciation in Lake Victoria cichlids. *PLoS Biology* 5:e433 (2006) , 査読有り

④Iwashita M, Watanabe M, Ishii M, Chen T, Johnson SL, Kurachi Y, Okada N, Kondo S. Pigment Pattern in jaguar/obelix Zebrafish Is Caused by a Kir7.1 Mutation: Implications for the Regulation of Melanosome Movement. *PLoS Genetics* 24:e197 (2006) , 査読有り

⑤Watanabe M, Iwashita M, Ishii M, Kurachi Y, Kawakami A, Kondo S, Okada N. Spot pattern of leopard Danio is caused by mutation in the zebrafish connexin41.8 gene. *EMBO Rep.* 9:893-897. (2006) , 査読有り

⑥Fujimura K, Okada N. Development of the embryo, larva and early juvenile of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Pisces: Cichlidae) Developmental staging system. *Develop. Growth Differ.* 49: 301-324 (2007) , 査読有り

⑦Fujimura K, Okada N. Bone development in the jaw of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Pisces: Cichlidae). *Develop. Growth Differ.* 50: 339-55. (2008) , 査読有り

⑧Fujimura K, Terai Y, Ishiguro N, Miya M, Nishida M, Okada N. Heterotypy in the N-terminal region of Growth/Differentiation Factor 5 (GDF5) mature protein during teleost evolution. *Mol. Biol. Evol.* 25: 797-800. 2008, 査読有り

⑨ Takeuchi, Y., Tobo, S. & Hori, M. Morphologica asymmetry of the abdomen and behavioral laterality in atyid shrimp. *Zoological Science* 25:355-363. (2008) ,

査読有り

⑩ Ochi, H., Hata, H., and Hori, M. Advantage of harmlessness in gaining preferential access to a heterospecific territory. *Journal of Fish Biology.* 71: 399-410. (2007) , 査読有り

⑪Schelly, R., Takahashi, T., Bills, R. & Hori, M. The first case of aggressive mimicry among lamprologines in a new species of *Lepidolamprologus* (Perciformes: Cichlidae) from Lake Tanganyika. *ZooTaxa* 1638: 39-49 (2007) , 査読有り

⑫Takahashi, R., Watanabe, K., Nishida, M. & Hori, M. Evolution of deeding socialization in Tanganyikan scale-eating cichlids: a molecular phylogenetic approach. *BMC Evolutionary Biology.* 7: 195-205 (2007) , 査読有り

⑬ Hori, M., Ochi, H. & Kohda, M. Inheritance pattern of lateral dimorphism in two cichlids of the scale eater *Perrisodus microlepis* and the herbivore *Neolamprologus moorii* in Lake Tanganyika *Zoological Science* 24: 489-492. (2007) , 査読有り

⑭Kassam, D., Yamaoka, K., Rusuwa, B. & Hori, M. The robustness of geometric morphometrics in testing the morphological equivalence hypothesis among cichlid species from East African Great Lakes. *Biological Journal of the Linnean Society* 91: 1-9. (2007) , 査読有り

⑮Takahashi, R., Moriwaki, T. & Hori, M. Foraging behaviour and functional morphology of two scale-eating cichlids from Lake Tanganyika. *Journal of Fish Biology.* 70: 1458-1469. (2007) , 査読有り

⑯ Hosoi, M., Asami, T. & Hori, M. Right-handed snakes: convergent evolution of asymmetry for functional specialization. *Biology Letters.* 3: 169-172. (2007) , 査読有り

[学会発表] (計 12 件)

①発表者名 : Fujimura K, Okada N.
発表題目 : The developmental basis for craniofacial morphology of cichlid fishes
学会名 : Asia Africa Evolution Meeting (JSPS AA Science Platform Program)
発表年月日 : 2007/12/4-5
発表場所 : 千葉・生命の森リゾート

②発表者名 : 藤村 衡至, 岡田 典弘
発表題目 : カワスズメ科魚類の頭部形態形成のための発生段階
学会名 : 第40回日本発生生物学会・第59回日本細胞生物学会 合同大会
発表年月日 : 2007/5/30
発表場所 : 福岡・福岡国際会議場

③発表者名 : 藤村 衡至, 岡田 典弘
発表題目 : カワスズメ科魚類の頭部形態形成のための発生段階
学会名 : 第59回日本動物学会関東支部会
発表年月日 : 2007/3/24
発表場所 : 東京・首都大学東京

④発表者名 : Kensuke Tashiro
発表題目 : Expression analysis of cichlid hgoromo gene
学会名 : Asia Africa Evolution Meeting
発表年月日 : 2007. 12. 4-6
発表場所 : 千葉・生命の森リゾート

⑤発表者名 : Ryutaro Miygai, Yohey Terai, Mitsuto Aibara, Shinji Mizoiri and Norihiro Okada
発表題目 : The diversity of opsins in sympatric Lake Victoria cichlid species
学会名 : Evolution 2007
発表年月日 : 2007年6月17日
発表場所 : New Zealand Christchurch

⑥発表者名 : 宮城 竜太郎, 寺井 洋平, 相原 光人, 溝入 真治, 岡田 典弘
発表題目 : 同所的に生息するシクリッド種間でのオプシンの多様性
学会名 : 日本進化学会 第9回大会
発表年月日 : 2007年9月1日
発表場所 : 京都・京都大学

⑦発表者名 : Ryutaro Miygai, Yohey Terai, Mitsuto Aibara, Shinji Mizoiri and Norihiro Okada

発表題目 : The diversity of opsins in sympatric Lake Victoria cichlid species
学会名 : Asia-Africa evolution meeting
発表年月日 : 2007年12月5日
発表場所 : 千葉・生命の森リゾート

⑧発表者名 : Naoki Kobayashi, Masakatsu Watanabe, Jun-ichi Asakawa, and Norihiro Okada
発表題目 : A new approach to resolve the relationship among the closely related cichlid species in Lake Victoria
学会名 : Asia Africa Evolution meeting
発表年月日 : 2007年12月5日
発表場所 : 千葉・生命の森リゾート

⑨発表者名 : Naoki Kobayashi, Masakatsu Watanabe, Jun-ichi Asakawa, and Norihiro Okada
発表題目 : A new approach to resolve the relationship among the closely related cichlid species in Lake Victoria
学会名 : Evolution meeting
発表年月日 : 2007年6月17日
発表場所 : New Zealand Christchurch

⑩発表者名 : Yohey Terai, Sinji Mizoiri, Mitsuto Aibara, Ryutaro Miygai, and Norihiro Okada
発表題目 : Adaptation of opsins causes the species diversity of Lake Victoria cichlid fishes
学会名 : Evolution 2007
発表年月日 : 2007年6月17日
発表場所 : New Zealand Christchurch

⑪発表者名 : 寺井 洋平, 宮城 竜太郎, 溝入 真治, 相原 光人, Semvua I. Mzighani, 岡田 典弘
発表題目 : 視覚の適応と婚姻色の進化を介した生殖的隔離が引き起こした種の多様性
学会名 : 日本進化学会 第9回大会
発表年月日 : 2007年9月1日
発表場所 : 京都・京都大学

⑫発表者名 : Yohey Terai, Ryutaro Miygai, Shinji Mizoiri, Mitsuto Aibara, Hiroo Imai, Semvua I. Mzighani, Hidenori Tachida³, and Norihiro Okada¹.

発表題目 : Adaptation of opsins causes the species diversity of Lake Victoria cichlid fishes

学会名 : Asia-Africa evolution meeting

発表年月日 : 2007年12月5日

発表場所 : 千葉・生命の森リゾート

[その他]

<http://www.evolution.bio.titech.ac.jp/>

<http://ecol.zool.kyoto-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡田 典弘 (OKADA NORIHIRO)

東京工業大学・大学院生命理工学研究科
教授

研究者番号 : 6 0 1 3 2 9 8 2

(2) 研究分担者

H18

堀 道雄 (HORI MICHIO)

京都大学・大学院理学研究科
教授

研究者番号 : 40112552

渡邊 正勝 (WATANABE MASAKATHU)

東京工業大学・大学院生命理工学研究科
講師

研究者番号 : 90323982

H19

堀 道雄 (HORI MICHIO)

京都大学・大学院理学研究科
教授

研究者番号 : 40112552

二階堂 雅人 (NIKAIDO MASATO)

東京工業大学・大学院生命理工学研究科
助教

研究者番号 : 70432010

(3) 連携研究者

なし