

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	ヴィクトリア湖シクリッドにおける種多様性創出機構の解明
Title(English)	
著者(和文)	中村遥奈
Author(English)	Haruna Nakamura
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11715号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:二階堂 雅人,本郷 裕一,増田 真二,立花 和則,田中 幹子
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11715号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	生命理工学 生命理工学	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 (理学) Doctor of
学生氏名： Student's Name	中村遥奈		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	二階堂雅人
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)	

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

どのようにしてこの地球上に多種多様な種が誕生したのか、この種多様性創出機構の解明は進化生物学ひいては生物学の根幹をなす課題の一つである。東アフリカのタンガニーカ湖、マラウィ湖、ヴィクトリア湖に生息するシクリッドはそれぞれの湖で短期間に形態や生態において多様な種が爆発的に生じる適応放散を経験している。中でもヴィクトリア湖シクリッドは著しい形態学・生態学的多様性を示す一方で、種分化してからの期間が約 14,600 年と短く、その種間の遺伝的分化の程度は低い。そのため、ヴィクトリア湖シクリッドの種間で遺伝的に大きく分化しているアレルを持つ遺伝子は種分化に寄与している可能性が高い。したがって、ヴィクトリア湖シクリッドは他の湖のシクリッドと比べ種多様性を生み出す遺伝的基盤にアプローチしやすく、生物進化のモデル生物として研究が進められている。本論文では、ヴィクトリア湖シクリッドの種多様性創出を駆動した遺伝的基盤の解明を主題とし、種分化・種形成に寄与した遺伝子の探索を実施したヴィクトリア湖シクリッド 3 種のゲノム比較研究、および種分化の萌芽段階での適応過程を調べた *Haplochromis chilotes* における集団遺伝解析の結果について報告する。

適応放散を駆動する機構として近年注目されているのは集団において古くから維持されてきた多型への正の自然選択である。この祖先多型の存在は生息環境の変化に対して急速な集団適応を可能にする。実際、ヴィクトリア湖シクリッドの種間で大きく分化している一塩基多型の起源がその適応放散の時期より古く、約 1,000 万年前に分岐したタンガニーカ湖シクリッドまでさかのぼる場合があることが示されている。一方で、古くからアレル多様性が維持されてきたことが確認されている遺伝子として嗅覚関連遺伝子などが報告されているが、その種分化の規模を鑑みるとその数は極めて少数であった。そこで、種分化・種形成に寄与した祖先多型由来の分化アレルを持つ遺伝子の網羅的探索を目的として、異なる環境に生息するヴィクトリア湖シクリッド 3 種各 6 個体の全ゲノム解析を行なった。まず、集団史推定により 3 種が遺伝的に区別できる別種であること、各種が生態的背景に応じて異なる適応過程を経験したことを明らかにした。次に、種間のゲノム比較により遺伝的に大きく分化したアレルが確認される自然選択を受けた可能性が高いゲノム領域を検出し、そのゲノム領域に位置する適応候補遺伝子を特定した。続いて、祖先多型として維持されてきたアレル多様性を持つ適応候補遺伝子を探索するために、候補遺伝子ごとにヴィクトリア湖シクリッドおよび古くに分岐したタンガニーカ湖やマラウィ湖シクリッドを含む 9 種の分子系統解析を実施した。その結果、起源の古いアレル多様性を持つ 99 個の適応候補遺伝子が単離され、さらにこれらの多くが数 kb から数十 kb にわたる大規模な分化アレルを持つことが分かった。本研究成果はヴィクトリア湖シクリッドの急速な種分化および適応がこれまでに報告されていた以上の数の起源の古いアレル多様性を持つ遺伝子によって促進されていた可能性を示唆していた。

種間の遺伝的分化の程度が低いヴィクトリア湖シクリッド研究は種分化の初期段階の遺伝的機構の解明に寄与するとされるが、前述したヴィクトリア湖シクリッド 3 種を用いたゲノム解析により、*H. chilotes* は同一種内に遺伝的に区別できる分集団を持つことが確認された。*H. chilotes* は形態においても地理的多様性を示すことが報告されている。そこで、より遺伝的にさらに近縁である *H. chilotes* の分集団ごとの適応過程を明らかにすることで種分化の萌芽段階の遺伝的機構の解明に取り組んだ。まず、*H. chilotes* および類似した形態を持つ *H. sp. 'short head chilotes'* の集団遺伝解析から進化史の推定を行なった。その結果、*H. sp. 'short head chilotes'* が *H. chilotes* とヴィクトリア湖シクリッドの適応放散の時期に種分化した別種であり、*H. chilotes* はさらに生息場所ごとに遺伝的な分集団を形成していることが明らかになった。*H. chilotes* の分集団間の遺伝的分化の程度はヴィクトリア湖シクリッドにおいて種

間で観察されたものと同程度であり、現在も地理的隔離に伴う種分化が急速に進行している可能性を行なった。その結果、*H. sp. 'short head chilotes'*が *H. chilotes* とヴィクトリア湖シクリッドの適応放散の時期に種分化した別種であり、*H. chilotes* はさらに生息場所ごとに遺伝的な分集団を形成していることが明らかになった。*H. chilotes* の分集団間の遺伝的分化の程度はヴィクトリア湖シクリッドにおいて種間で観察されたものと同程度であり、現在も地理的隔離に伴う種分化が急速に進行している可能性を示唆している。続いて、*H. chilotes* の分集団ごとに自然選択を受けている遺伝子の探索を行なったところ、*H. chilotes* において多様性を示す形態形成に寄与している可能性のある遺伝子や、また、ヴィクトリア湖シクリッド種間での多様性が報告されている形質の創出に寄与している可能性のある遺伝子が検出された。今後、分集団の適応に寄与したと考えられる分化アレルの起源を調べることで、ヴィクトリア湖シクリッドの急速な種分化・適応を促進した遺伝的基盤の解明が進むことが期待される。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	生命理工学 生命理工学	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(理学)
学生氏名： Student's Name	中村遥奈		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	二階堂雅人	
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Understanding what genetic mechanisms generated species diversity is a fundamental issue in evolutionary biology. The cichlids of three East African Great Lakes, Lake Tanganyika, Malawi, and Victoria experienced adaptive radiation, which originated a lot of endemic species highly diverse in their ecology and morphology. Lake Victoria cichlids exhibit remarkable morphological and ecological diversity, on the other hand, the degree of the genetic differentiation among species is very low due to the short period time after the explosive speciation. It gives us a great opportunity to understand the genomic substrate that facilitate speciation and adaptation. I focused on the genomic substrate that have facilitated the rapid speciation and adaptation of Lake Victoria cichlids, particularly genes which contain divergent alleles derived from standing genetic variation. First, I showed that each species underwent species-specific adaptation process according to its ecological background by population genetic analyses of three species of Lake Victoria cichlids. Secondly, I identified 99 candidate genes with highly divergent alleles derived from standing genetic variation by genome-wide comparative analyses. These findings highlight the substantial contribution of standing genetic variation to the rapid adaptations of Lake Victoria cichlids. Furthermore, to elucidate the evolutionary process at the incipient stage of speciation, I performed whole-genome analyses for the subpopulations of *Haplochromis chilotes*, a Lake Victoria cichlid which represents geographical variation in several phenotypic characteristics, including a closely related species, *H. sp. 'short head chilotes'*. The results indicated that *H. sp. 'short head chilotes'* is a distinct species that diverged from *H. chilotes* at the timing of the adaptive radiation of Lake Victoria cichlids. It was shown that *H. chilotes* had genetically distinct subpopulations, and candidate genes under positive selection in each subpopulation might be responsible for their phenotypic diversity. Given that the degree of the genetic differentiation among the subpopulations was comparable to that among species in Lake Victoria cichlids, these findings highlight that Lake Victoria cichlids are under rapid speciation and adaptation.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).