

新種の出現：種分化と大進化の分子機構

Emergence of new species: the molecular mechanisms of speciation and macroevolution

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



研究の概要

本研究の目的は「新種の出現」の分子機構を明らかにする事である。本研究ではこの課題を2つのテーマに分けている。1つめはシクリッドを用いた種分化の分子機構の解明であり、2つめは「大進化」と呼ばれる新しい分類群が出現するプロセスを分子レベルで明らかにすることである。

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：生物多様性・分類

キーワード：種分化、大進化

1. 研究開始当初の背景

本研究では「新種の出現」の分子機構を明らかにしようとしている。この問題を二つのテーマに分けて研究を行う。1つめのテーマは種分化で、これはダーウィンが「種の起原」で提唱したメカニズムの分子機構を明らかにしようとするものである。2つめのテーマは「大進化」で、これは新しい分類群の出現を分子レベルで説明しようとするものがある。

2. 研究の目的

本研究の目的は「新種の出現」の分子機構を2つのテーマに分けて明らかにすることである。1つめはカワズズメ科魚類(シクリッド)を用いた種分化の分子機構の解明である。2つめは哺乳類で獲得されたSINE由来エンハンサーを解析することによる哺乳類特異的形質の獲得機構の解明である。これらを明らかにすることにより、種と新しい分類群の出現を分子レベルで明らかにしようとしている。

3. 研究の方法

種分化の研究では、我々が提唱した視覚の適応が引き起こす種分化機構のビクトリア湖での普遍性と、自然選択と性選択により起こる種分化を分子レベルでの全貌を明らかにすることを目的としている。そして以下の4つの段階の研究を順次進行して完成させる予定である。1) 様々な種の光受容体が生息する光環境に適応していることを明らかにする。2) 光環境に適応した光受容体が感度

よく受容できる色に婚姻色が進化したことを明らかにし、配偶者認識が確立していることを示す。3) 婚姻色を形成する遺伝子の単離を行う。4) 婚姻色を形成する遺伝子の機能解析を行い、視覚の適応が引き起こす種分化のビクトリア湖での普遍性と、自然選択と性選択により起こる種分化を分子レベルでの全貌を明らかにすることができる。大進化の研究は以下に述べる3段階の研究を推進する。1) 哺乳類特異的に保存されたSINE由来エンハンサーの網羅的探索。2) エンハンサーの対象遺伝子の発現様式と発現カスケードの解明。3) 遺伝子の細胞生物学的機能解析、および哺乳類特異的な形態形成の発生的研究。以上のアプローチにより明らかにされた個々の発現制御機構を統合した遺伝子発現ネットワークを解明し、大規模な形態進化をもたらした分子メカニズムをモデル化する。

4. これまでの成果

種分化研究

現在の生物多様性は限りない程の回数の種分化の繰り返しにより形成されてきた。しかし、それほど多くの種分化が共通の機構で起こってきたのか、それともランダムに生殖的隔離が生じているだけなのか、明確な答えは得られていない。本研究の前半では種分化に共通の機構があるかどうかを視覚の適応が引き起こす種分化機構を通じて明らかにしようとした。視覚の適応が引き起こす種分化機構は、本研究の開始までに2種で明らか

にされているだけであった。そこでこの機構が少なくともビクトリア湖のシクリッドで共通かどうかを調べた。その結果、8種類のオブシン遺伝子の中で2種類の配列が多様化し種特異的であった。これらの遺伝子の種ごとに異なるアレルの分布を調べると、水深と透明度により分布が限られていた。アレルの配列から視物質の再構築を行い、その吸収波長を測定すると、機能的に大きく多様化しており、その種が生息する光環境で最も効率よく光を吸収することができ、視覚を適応させてきたことが明らかになった。最後にそれぞれの種のオスが呈する婚姻色を解析し、それぞれの種の婚姻色はその種の視覚に吸収される環境光と最も重なりが大きく、同種に最も目立つことが明らかになった。これらの結果から、視覚の適応が引き起こす種分化がビクトリア湖のシクリッドで共通に起こってきた種分化の機構であることが明らかになった。この研究で示された結果は1つの湖のシクリッドでの共通の種分化の機構ではあるが、この湖の種数から換算すると地球上の全淡水魚の3~5%に相当する。また、多くの魚類、鳥類、昆虫類などはシクリッドと同じように婚姻色、もしくは一方の性が派手な性的二型の形質を持つ。このことから視覚の適応が引き起こす種分化機構は多くの生物で共通の種分化の機構かもしれない。

大進化研究

これまでに SINE に由来するエンハンサー領域を5箇所発見し、詳細な解析を進めている。特に第一のエンハンサーに関しては、本研究で作成したトランスジェニックマウスを用いた免疫染色により Satb2 遺伝子のエンハンサーとして脳梁形成に関与することを示し、論文として発表した (Tashiro et al. 2011)。さらに第二のエンハンサーに結合する転写因子を発見し、その結合サイトを同定した。またそのエンハンサー配列のノックアウトマウスが完成し、その表現型および遺伝子発現に関して現在詳細な解析をおこなっている。第三のエンハンサーに関しては SINE 領域のノックアウトマウスにおいては形態形成遺伝子の発現量の低下、およびその下流遺伝子の発現量の変化が見られており、SINE が発生遺伝子の発現パターンの決定に必須であることを初めて証明した研究と言える。第四のエンハンサーに関しては、本研究で作成したノックアウトマウスを用いて形態的表現型および関連遺伝子の発現パターンを解析中である。以上のように、当初の計画通り SINE 由来の新規エンハンサーを複数発見し、その機能および哺乳類進化に及ぼした影響に関して解析を進めている。さらに予想外の発見としては、転写因子の結合モチーフ解析および in vitro 結合実験により、ある転写因子が複数の SINE 由来エンハンサーに結合する可能性が浮上したことが挙げられる。

すなわち、哺乳類進化に関与した複数の遺伝子発現が SINE を介した同一の制御メカニズムによって決定されている可能性を見出した。

5. 今後の計画

種分化研究ではこれまでに次世代シーケンサーによる RNA 発現解析により単離した婚姻色形成遺伝子群を中で、婚姻色の異なる種間で発現の異なる遺伝子を明らかにし、それらの遺伝子が性選択を受け、種間で分化し種分化を引き起こしてきたことを明らかにする予定である。

大進化研究ではこれまでに発見した SINE 由来エンハンサーに結合する転写因子の解析を進め、遺伝子発現カスケードの解明を進める。また哺乳類の形態形成への関与を明らかにするためにエンハンサーのノックアウトマウスの解析を進める。さらに前述のように、同一の転写因子が他の SINE 由来領域にも結合する可能性が見出されたことは予想以上に進展した点であり、今後はこうした観点からも研究を推進する予定である。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

Tashiro K, Teissier A, Kobayashi N, Nakanishi A, Sasaki T, Yan K, Tarabykin V, Vigier L, Sumiyama K, Hirakawa M, Nishihara H, Pierani A, Okada N. A Mammalian Conserved Element Derived from SINE Displays Enhancer Properties Recapitulating Satb2 Expression in Early-Born Callosal Projection Neurons. PLoS One 6(12):e28497. (2011)

Yoshida K, Terai Y, Mizoiri S, Aibara M, Nishihara H, Watanabe M, Kuroiwa A, Hirai H, Hirai Y, Matsuda Y, Okada N. B chromosomes have a functional effect on female sex determination in lake victoria cichlid fishes. PLoS Genet. 2011 (8):e1002203. (2011)

Nagai H, Terai Y, Sugawara T, Imai H, Nishihara H, Hori M, Okada N. Reverse evolution in RH1 for adaptation of cichlids to water depth in Lake Tanganyika. Mol Biol Evol. Jun;28(6):1769-76. (2011)

Sugawara T, Imai H, Nikaido M, Imamoto Y, Okada N. Vertebrate Rhodopsin Adaptation to Dim Light via Rapid Meta-II Intermediate Formation. Mol Biol Evol. (3):506-19. (2010)

Nishihara H, Maruyama S, Okada N. Retroposon analysis and recent geological data suggest near-simultaneous divergence of the three superorders of mammals. Proc Natl Acad Sci USA. Mar 31;106(13):5235-40 (2009)

ホームページ等

<http://www.evolution.bio.titech.ac.jp/index0.html>