

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 30 日現在

機関番号：82503

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2011～2013 年

課題番号：22370035

研究課題名（和文）ミトゲノム超行列による巨大クレードの包括的な進化史解明：方法論の確立と実際

研究課題名（英文）A mitogenomic supermatrix approach to resolve phylogeny and evolution of species-rich clades: Development of method and its applications to fishes

研究代表者

宮 正樹 (Masaki Miya)

千葉県立中央博物館・自然誌・歴史研究部・動物学研究科・科長

研究者番号：30250137

研究成果の概要（和文）：本研究は、これまで系統的な取り扱いが困難であった巨大クレード（単系統性は明白だが定義の曖昧な少数の高次分類群に分けられる千から数千もの種を含むグループ）の進化史解明の新たな方法論をコイ目魚類で確立し、それを進化的起源（海水 vs. 淡水）も生物学的特性（分布・生態）も大きく異なる二つの巨大クレード（ハゼ亜目と骨鰈類）に対して実際に適用するために行った。この方法論の土台となるのが、申請者が考案したミトゲノム超行列と呼ばれるもので、自ら決定する数百のミトゲノム全長配列に、さまざまな遺伝子から得られた数千の部分配列（データベースからダウンロード）を整列させた混合行列である。コイ目のミトゲノム全長配列 59 種に基づく論文 (Saitoh *et al.* 2006) から始まった本研究は、最終的に 602 種のミトゲノム全長配列からなる大規模行列へと発展し、コイ目魚類の大系統の概要を示すことができた (Miya *et al.* 2011)。この大規模行列から推定された大系統を系統推定の枠組み (constraint) として用い、データベースからダウンロードした部分配列 1,073 種と合わせて解析したところ（計 1,675 種）、約 4,000 種を含むコイ目の大系統をかつてない規模で示すことができた (Miya *et al.* 2011)。また、コイ目の一員であるフナ属にこの超行列法を適用して解析を行ったところ、世界に広く分布するフナ属の起源を明瞭に示すことに成功した (Takada *et al.* 2010)。さらに、これと並行してハゼ目 152 種とコイ目を含む骨鰈類 120 種のミトゲノム全長配列を決定し、これら二つのグループにおける大系統の概要を得ることができた。後者に関しては Nakatani *et al.* (2011) でその成果の一端を発表した。コイ目で明瞭に示されたミトゲノム超行列の有用性を、今後両グループで示すことが今後の大きな課題となる。

研究成果の概要（英文）：Resolution of phylogenetic relationships among members of a species-rich clade is inherently difficult because it requires longer sequences from a large number of taxa. Freshwater fishes of the order Cypriniformes represent one of such species-rich clades, with over 4,000 species currently recognized that have been placed in 6+ families, each with poorly defined subfamilies and/or tribes. This study attempted comprehensive resolution of the cypriniform phylogenies by combining a mitogenomic tree as a backbone constraint for the robust higher-level relationships and numerous partial sequences downloaded from GenBank for the reconstruction of lower-level relationships within the constrained clades. Also this supermatrix approaches were applied to fishes of Gobioidae and Otophysi, both including numerous species (ca. 2,000 spp. and 8,000 spp, respectively) and exhibiting different habitat preferences (principally marine vs. freshwater). The mitogenomic tree of the Cypriniformes was based on 602 sequences (including 6 outgroups) and the resulting best-scoring ML tree is congruent with the previous molecular phylogenies based on both mitogenomes and nuclear genes. A total of 17,057 partial sequences from cypriniforms were available from GenBank and they were sorted into 9 mitochondrial genes from 1,073 species, of which 1,039 species were those from the *cyt b* gene alone.

The supermatrix was constructed by combining 602 mitogenomic and 1,073 partial sequences and it was subjected to partitioned ML analysis using the mitogenomic tree as a backbone constraint. The best-scoring ML tree derived from 24 runs using a fast bootstrap (BS) option in RAxML places all species from the partial sequences (1,073 spp.) in reasonable positions, with 62.2% of the internal branches being supported by $\geq 80\%$ BS probabilities. In addition whole mitogenome sequences from 152 gobioid and 120 otophysan were assembled to provide robust phylogenies for these groups of fishes and the trees will be used in the subsequent supermatrix analyses.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	6,600,000	1,980,000	8,580,000
2011年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2012年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：基礎生物学・生物多様性・分類

キーワード：遺伝子・動物・ゲノム・進化・分類学

1. 研究開始当初の背景

申請者が進めてきたミトゲノム分析に基づく一連の研究 (Inoue *et al.* 2003; Ishiguro *et al.* 2003; Miya *et al.* 2003; Saitoh *et al.* 2003) により、魚類の中でも最大の分類群である条鰭類 (42 目 431 科 4070 属 23,680 種) の大系統研究は大きな転換期を迎えた。これら一連の研究は著名なレビュー誌で特集され (Ramsden *et al.* 2003), 進化学の世界からも大きな注目を集めることになった。

こうした中で、Assembling Tree of Life (AToL) と Barcode of Life (BOL) という、それぞれ特定生物群の系統解明と分子同定 (種分類のツール開発) を一気に進めることを目的とした大規模プロジェクトが立ち上がった。AToL では魚類からコイ目 (CToL) が、BOL でも魚類が採択され (Fish-BOL), 申請者はそれぞれのプロジェクトで大きな役割を果たしてきた (Miya *et al.* 2006; Saitoh *et al.* 2006 など)。

巨大クレードは、1) 形態に顕著な分化が見られず、2) 高次分類群の数が極端に少なくその定義 (範囲) も曖昧であるという共通の特徴をもつ。したがって、その系統解析は (どのような形質を用いても) 本質的に困難で、大量の分子データを用いた包括的なアプローチが望まれていた (Hodkinson & Parnell 2007)。今回の申請で取り上げたコイ目魚類 (6 科 321 属 3268 種) もそのような巨大クレードの一つであり、申請者はその大系統を約 15,000 塩基対×53 分類群からなるデータ行列で取り組むことにより、問題解決の糸口を得てきた (Saitoh *et al.* 2006)。

2. 研究の目的

本研究は、これまで系統学的な取り扱いが困難であった巨大クレード (単系統性は明白だが定義の曖昧な少数の高次分類群に分けられる千から数千もの種を含むグループ) の進化史解明の新たな方法論をコイ目魚類で確立し、それを進化的起源 (海水 vs. 淡水) も生物学的特性 (分布・生態) も大きく異なる二つの巨大クレード (ハゼ亜目とコイ目を含む骨鰈類) に対して実際に適用するものである。

この方法論の土台となるのが、申請者が考案したミトゲノム超行列と呼ばれるもので、自ら決定する多数のミトゲノム全長配列に、さまざまな遺伝子から得られた数千の部分配列 (データベースからダウンロード) を整理させた混合行列である。実際には、ミトゲノム全長配列に基づき頑健な高次系統を推定し、それをミトゲノム超行列による系統推定の際の「枠組み」(constraint) として用いることにより、部分配列の系統パフォーマンスの低さを補うと同時に、種の網羅性を飛躍的に向上させる。

このアプローチにより、これまで別個に進展してきた **Assembling Tree of Life** (系統) と **Barcode of Life** (分子同定) の二つのプロジェクトを統合することが可能となり、生物多様性の包括的な進化史解明に向けた新たな突破口となることが期待された。

3. 研究の方法

1) 方法論の確立：精選した全長配列 602 種と部分配列 1,073 種に基づきミトゲノム超行列

を作成した。進化速度が著しく速く塩基置換が飽和するコドンの第三座位については、トランスバージョンのみを用いる RY コーディングを適用した。コンピュータ 4 台 (計 32 個の CPU を搭載) を使って上記ミトゲノム超行列の RAxML による大規模最尤解析を行った。この際、全長配列から得られたミトゲノム系統樹を「枠組み」(-r option) として用い、解像力で劣る部分配列がこの系統的枠組みに収まるようにした。RAxML で提供される二種類のアルゴリズム (-fa と -fr options) を用いて最尤解析を行った。

2) 組織標本の収集: 自ら行う標本収集に加えて国際的なネットワークを通じた標本の収集を行った。コイ目については既に十分な標本を収集しているが補足的な収集も行った。ハゼ亜目と骨鰈類については、海外研究者との協力で多様性を網羅した。

3) ミトゲノム全長配列決定: 申請者が開発したロング PCR と汎用プライマーを利用したショート PCR を組み合わせた手法 (Miya & Nishida 1999) によりミトゲノム全長配列を決定した。

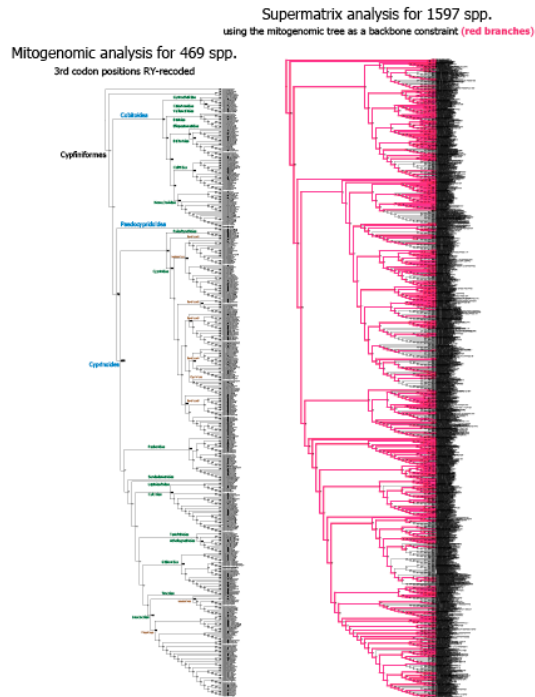
4) 最尤法による系統解析: ミトゲノム全長配列の数が種多様性のおよそ 2% を超えた段階 (コイ目とハゼ亜目では終了) で最尤法による予備的系統解析を行った。ミトゲノム全長配列の数が種多様性のおよそ 10% を超えた段階で、ミトゲノム超行列法における「枠組み」として用いる系統を RAxML によって推定した。

5) ミトゲノム超行列を用いた系統解析: ミトゲノム超行列 (全長配列 + 部分配列) を作成するため、DNA データベースからスクリプトを用いて対象分類群の部分配列をダウンロードした。これらの部分配列については、未発表の配列を除くだけでなく、発表済みのものについても原著論文と照合することにより素性が疑わしい配列は除外した。以上でできた遺伝子ごとの整列済み配列を再び合体させてミトゲノム超行列ができた。この巨大行列に基づき RAxML を用いた大規模推定を行った。

4. 研究成果

コイ目ではミトゲノム全長配列 602 種に基づく頑健な系統が推定された。この系統は各遺伝子から得られた系統 (Chen & Mayden 2011) と整合的であり種系統樹を示していると考えられた。新たに決定した配列が 500 種を超え、また欠失データがまったくないこれほど大規模のデータ解析は世界でも最初の事例であり、学会発表では大きな注目を集めた (Miya *et al.* 2011)。その成果のイメージを下図に示す。左に示したのがミトゲノム全長配列に基づき推定された系統樹で、右が部分

配列を足してつくられた超行列を解析して得られた系統樹である。右の系統樹で赤い枝が部分配列からのもので、系統樹全体にまんべんなく分布していることがわかる。



実際にこの超行列法をつかって解析されたのが以下の世界のフナ属魚類の系統樹である。入手が困難な中東や西アジア地区の水域から得られたデータを解析に含めることが可能になり、世界のフナ属の由来を確かめることができた。

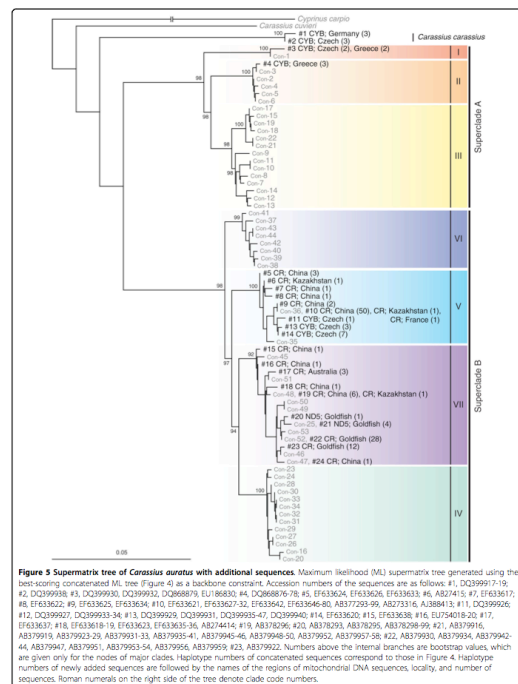
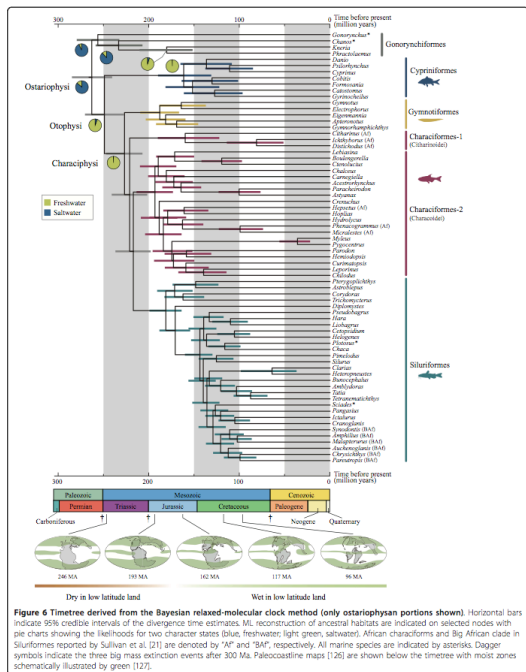


Figure 6 Supermatrix tree of *Carassius auratus* with additional sequences. Maximum likelihood (ML) supermatrix tree generated using the haplotyping concatenated ML tree (Figure 4) as a backbone constraint. Accession numbers of the sequences are as follows: #1, DQ289719-19; #2, DQ399938; #3, DQ399939; DQ399932; DQ868879; EU186830; #4, DQ868876-78; #5, EF633624; EF633626; EF633633; #6, AB27415; #7, EF633617; #8, EF633622; #9, EF633625; EF633630; #10, EF633627; #11, EF633628; #12, EF633629; #13, EF633631; #14, EF633632; #15, EF633633; #16, EF633634; #17, EF633635; #18, EF633636; #19, EF633637; #20, EF633638; #21, EF633639; #22, EF633640; #23, EF633641; #24, EF633642; #25, EF633643; #26, EF633644; #27, EF633645; #28, EF633646; #29, EF633647; #30, EF633648; #31, EF633649; #32, EF633650; #33, EF633651; #34, EF633652; #35, EF633653; #36, EF633654; #37, EF633655; #38, EF633656; #39, EF633657; #40, EF633658; #41, EF633659; #42, EF633660; #43, EF633661; #44, EF633662; #45, EF633663; #46, EF633664; #47, EF633665; #48, EF633666; #49, EF633667; #50, EF633668; #51, EF633669; #52, EF633670; #53, EF633671; #54, EF633672; #55, EF633673; #56, EF633674; #57, EF633675; #58, EF633676; #59, EF633677; #60, EF633678; #61, EF633679; #62, EF633680; #63, EF633681; #64, EF633682; #65, EF633683; #66, EF633684; #67, EF633685; #68, EF633686; #69, EF633687; #70, EF633688; #71, EF633689; #72, EF633690; #73, EF633691; #74, EF633692; #75, EF633693; #76, EF633694; #77, EF633695; #78, EF633696; #79, EF633697; #80, EF633698; #81, EF633699; #82, EF633700; #83, EF633701; #84, EF633702; #85, EF633703; #86, EF633704; #87, EF633705; #88, EF633706; #89, EF633707; #90, EF633708; #91, EF633709; #92, EF633710; #93, EF633711; #94, EF633712; #95, EF633713; #96, EF633714; #97, EF633715; #98, EF633716; #99, EF633717; #100, EF633718; #101, EF633719; #102, EF633720; #103, EF633721; #104, EF633722; #105, EF633723; #106, EF633724; #107, EF633725; #108, EF633726; #109, EF633727; #110, EF633728; #111, EF633729; #112, EF633730; #113, EF633731; #114, EF633732; #115, EF633733; #116, EF633734; #117, EF633735; #118, EF633736; #119, EF633737; #120, EF633738; #121, EF633739; #122, EF633740; #123, EF633741; #124, EF633742; #125, EF633743; #126, EF633744; #127, EF633745; #128, EF633746; #129, EF633747; #130, EF633748; #131, EF633749; #132, EF633750; #133, EF633751; #134, EF633752; #135, EF633753; #136, EF633754; #137, EF633755; #138, EF633756; #139, EF633757; #140, EF633758; #141, EF633759; #142, EF633760; #143, EF633761; #144, EF633762; #145, EF633763; #146, EF633764; #147, EF633765; #148, EF633766; #149, EF633767; #150, EF633768; #151, EF633769; #152, EF633770; #153, EF633771; #154, EF633772; #155, EF633773; #156, EF633774; #157, EF633775; #158, EF633776; #159, EF633777; #160, EF633778; #161, EF633779; #162, EF633780; #163, EF633781; #164, EF633782; #165, EF633783; #166, EF633784; #167, EF633785; #168, EF633786; #169, EF633787; #170, EF633788; #171, EF633789; #172, EF633790; #173, EF633791; #174, EF633792; #175, EF633793; #176, EF633794; #177, EF633795; #178, EF633796; #179, EF633797; #180, EF633798; #181, EF633799; #182, EF633800; #183, EF633801; #184, EF633802; #185, EF633803; #186, EF633804; #187, EF633805; #188, EF633806; #189, EF633807; #190, EF633808; #191, EF633809; #192, EF633810; #193, EF633811; #194, EF633812; #195, EF633813; #196, EF633814; #197, EF633815; #198, EF633816; #199, EF633817; #200, EF633818; #201, EF633819; #202, EF633820; #203, EF633821; #204, EF633822; #205, EF633823; #206, EF633824; #207, EF633825; #208, EF633826; #209, EF633827; #210, EF633828; #211, EF633829; #212, EF633830; #213, EF633831; #214, EF633832; #215, EF633833; #216, EF633834; #217, EF633835; #218, EF633836; #219, EF633837; #220, EF633838; #221, EF633839; #222, EF633840; #223, EF633841; #224, EF633842; #225, EF633843; #226, EF633844; #227, EF633845; #228, EF633846; #229, EF633847; #230, EF633848; #231, EF633849; #232, EF633850; #233, EF633851; #234, EF633852; #235, EF633853; #236, EF633854; #237, EF633855; #238, EF633856; #239, EF633857; #240, EF633858; #241, EF633859; #242, EF633860; #243, EF633861; #244, EF633862; #245, EF633863; #246, EF633864; #247, EF633865; #248, EF633866; #249, EF633867; #250, EF633868; #251, EF633869; #252, EF633870; #253, EF633871; #254, EF633872; #255, EF633873; #256, EF633874; #257, EF633875; #258, EF633876; #259, EF633877; #260, EF633878; #261, EF633879; #262, EF633880; #263, EF633881; #264, EF633882; #265, EF633883; #266, EF633884; #267, EF633885; #268, EF633886; #269, EF633887; #270, EF633888; #271, EF633889; #272, EF633890; #273, EF633891; #274, EF633892; #275, EF633893; #276, EF633894; #277, EF633895; #278, EF633896; #279, EF633897; #280, EF633898; #281, EF633899; #282, EF633900; #283, EF633901; #284, EF633902; #285, EF633903; #286, EF633904; #287, EF633905; #288, EF633906; #289, EF633907; #290, EF633908; #291, EF633909; #292, EF633910; #293, EF633911; #294, EF633912; #295, EF633913; #296, EF633914; #297, EF633915; #298, EF633916; #299, EF633917; #300, EF633918; #301, EF633919; #302, EF633920; #303, EF633921; #304, EF633922; #305, EF633923; #306, EF633924; #307, EF633925; #308, EF633926; #309, EF633927; #310, EF633928; #311, EF633929; #312, EF633930; #313, EF633931; #314, EF633932; #315, EF633933; #316, EF633934; #317, EF633935; #318, EF633936; #319, EF633937; #320, EF633938; #321, EF633939; #322, EF633940; #323, EF633941; #324, EF633942; #325, EF633943; #326, EF633944; #327, EF633945; #328, EF633946; #329, EF633947; #330, EF633948; #331, EF633949; #332, EF633950; #333, EF633951; #334, EF633952; #335, EF633953; #336, EF633954; #337, EF633955; #338, EF633956; #339, EF633957; #340, EF633958; #341, EF633959; #342, EF633960; #343, EF633961; #344, EF633962; #345, EF633963; #346, EF633964; #347, EF633965; #348, EF633966; #349, EF633967; #350, EF633968; #351, EF633969; #352, EF633970; #353, EF633971; #354, EF633972; #355, EF633973; #356, EF633974; #357, EF633975; #358, EF633976; #359, EF633977; #360, EF633978; #361, EF633979; #362, EF633980; #363, EF633981; #364, EF633982; #365, EF633983; #366, EF633984; #367, EF633985; #368, EF633986; #369, EF633987; #370, EF633988; #371, EF633989; #372, EF633990; #373, EF633991; #374, EF633992; #375, EF633993; #376, EF633994; #377, EF633995; #378, EF633996; #379, EF633997; #380, EF633998; #381, EF633999; #382, EF634000; #383, EF634001; #384, EF634002; #385, EF634003; #386, EF634004; #387, EF634005; #388, EF634006; #389, EF634007; #390, EF634008; #391, EF634009; #392, EF634010; #393, EF634011; #394, EF634012; #395, EF634013; #396, EF634014; #397, EF634015; #398, EF634016; #399, EF634017; #400, EF634018; #401, EF634019; #402, EF634020; #403, EF634021; #404, EF634022; #405, EF634023; #406, EF634024; #407, EF634025; #408, EF634026; #409, EF634027; #410, EF634028; #411, EF634029; #412, EF634030; #413, EF634031; #414, EF634032; #415, EF634033; #416, EF634034; #417, EF634035; #418, EF634036; #419, EF634037; #420, EF634038; #421, EF634039; #422, EF634040; #423, EF634041; #424, EF634042; #425, EF634043; #426, EF634044; #427, EF634045; #428, EF634046; #429, EF634047; #430, EF634048; #431, EF634049; #432, EF634050; #433, EF634051; #434, EF634052; #435, EF634053; #436, EF634054; #437, EF634055; #438, EF634056; #439, EF634057; #440, EF634058; #441, EF634059; #442, EF634060; #443, EF634061; #444, EF634062; #445, EF634063; #446, EF634064; #447, EF634065; #448, EF634066; #449, EF634067; #450, EF634068; #451, EF634069; #452, EF634070; #453, EF634071; #454, EF634072; #455, EF634073; #456, EF634074; #457, EF634075; #458, EF634076; #459, EF634077; #460, EF634078; #461, EF634079; #462, EF634080; #463, EF634081; #464, EF634082; #465, EF634083; #466, EF634084; #467, EF634085; #468, EF634086; #469, EF634087; #470, EF634088; #471, EF634089; #472, EF634090; #473, EF634091; #474, EF634092; #475, EF634093; #476, EF634094; #477, EF634095; #478, EF634096; #479, EF634097; #480, EF634098; #481, EF634099; #482, EF634100; #483, EF634101; #484, EF634102; #485, EF634103; #486, EF634104; #487, EF634105; #488, EF634106; #489, EF634107; #490, EF634108; #491, EF634109; #492, EF634110; #493, EF634111; #494, EF634112; #495, EF634113; #496, EF634114; #497, EF634115; #498, EF634116; #499, EF634117; #500, EF634118; #501, EF634119; #502, EF634120; #503, EF634121; #504, EF634122; #505, EF634123; #506, EF634124; #507, EF634125; #508, EF634126; #509, EF634127; #510, EF634128; #511, EF634129; #512, EF634130; #513, EF634131; #514, EF634132; #515, EF634133; #516, EF634134; #517, EF634135; #518, EF634136; #519, EF634137; #520, EF634138; #521, EF634139; #522, EF634140; #523, EF634141; #524, EF634142; #525, EF634143; #526, EF634144; #527, EF634145; #528, EF634146; #529, EF634147; #530, EF634148; #531, EF634149; #532, EF634150; #533, EF634151; #534, EF634152; #535, EF634153; #536, EF634154; #537, EF634155; #538, EF634156; #539, EF634157; #540, EF634158; #541, EF634159; #542, EF634160; #543, EF634161; #544, EF634162; #545, EF634163; #546, EF634164; #547, EF634165; #548, EF634166; #549, EF634167; #550, EF634168; #551, EF634169; #552, EF634170; #553, EF634171; #554, EF634172; #555, EF634173; #556, EF634174; #557, EF634175; #558, EF634176; #559, EF634177; #560, EF634178; #561, EF634179; #562, EF634180; #563, EF634181; #564, EF634182; #565, EF634183; #566, EF634184; #567, EF634185; #568, EF634186; #569, EF634187; #570, EF634188; #571, EF634189; #572, EF634190; #573, EF634191; #574, EF634192; #575, EF634193; #576, EF634194; #577, EF634195; #578, EF634196; #579, EF634197; #580, EF634198; #581, EF634199; #582, EF634200; #583, EF634201; #584, EF634202; #585, EF634203; #586, EF634204; #587, EF634205; #588, EF634206; #589, EF634207; #590, EF634208; #591, EF634209; #592, EF634210; #593, EF634211; #594, EF634212; #595, EF634213; #596, EF634214; #597, EF634215; #598, EF634216; #599, EF634217; #600, EF634218; #601, EF634219; #602, EF634220; #603, EF634221; #604, EF634222; #605, EF634223; #606, EF634224; #607, EF634225; #608, EF634226; #609, EF634227; #610, EF634228; #611, EF634229; #612, EF634230; #613, EF634231; #614, EF634232; #615, EF634233; #616, EF634234; #617, EF634235; #618, EF634236; #619, EF634237; #620, EF634238; #621, EF634239; #622, EF634240; #623, EF634241; #624, EF634242; #625, EF634243; #626, EF634244; #627, EF634245; #628, EF634246; #629, EF634247; #630, EF634248; #631, EF634249; #632, EF634250; #633, EF634251; #634, EF634252; #635, EF634253; #636, EF634254; #637, EF634255; #638, EF634256; #639, EF634257; #640, EF634258; #641, EF634259; #642, EF634260; #643, EF634261; #644, EF634262; #645, EF634263; #646, EF634264; #647, EF634265; #648, EF634266; #649, EF634267; #650, EF634268; #651, EF634269; #652, EF634270; #653, EF634271; #654, EF634272; #655, EF634273; #656, EF634274; #657, EF634275; #658, EF634276; #659, EF634277; #660, EF634278; #661, EF634279; #662, EF634280; #663, EF634281; #664, EF634282; #665, EF634283; #666, EF634284; #667, EF634285; #668, EF634286; #669, EF634287; #670, EF634288; #671, EF634289; #672, EF634290; #673, EF634291; #674, EF634292; #675, EF634293; #676, EF634294; #677, EF634295; #678, EF634296; #679, EF634297; #680, EF634298; #681, EF634299; #682, EF634300; #683, EF634301; #684, EF634302; #685, EF634303; #686, EF634304; #687, EF634305; #688, EF634306; #689, EF634307; #690, EF634308; #691, EF634309; #692, EF634310; #693, EF634311; #694, EF634312; #695, EF634313; #696, EF634314; #697, EF634315; #698, EF634316; #699, EF634317; #700, EF634318; #701, EF634319; #702, EF634320; #703, EF634321; #704, EF634322; #705, EF634323; #706, EF634324; #707, EF634325; #708, EF634326; #709, EF634327; #710, EF634328; #711, EF634329; #712, EF634330; #713, EF634331; #714, EF634332; #715, EF634333; #716, EF634334; #717, EF634335; #718, EF634336; #719, EF634337; #720, EF634338; #721, EF634339; #722, EF634340; #723, EF634341; #724, EF634342; #725, EF634343; #726, EF634344; #727, EF634345; #728, EF634346; #729, EF634347; #730, EF634348; #731, EF634349; #732, EF634350; #733, EF634351; #734, EF634352; #735, EF634353; #736, EF634354; #737, EF634355; #738, EF634356; #739, EF634357; #740, EF634358; #741, EF634359; #742, EF634360; #743, EF634361; #744, EF634362; #745, EF634363; #746, EF634364; #747, EF634365; #748, EF634366; #749, EF634367; #750, EF634368; #751, EF634369; #752, EF634370; #753, EF634371; #754, EF634372; #755, EF634373; #756, EF634374; #757, EF634375; #758, EF634376; #759, EF634377; #760, EF634378; #761, EF634379; #762, EF634380; #763, EF634381; #764, EF634382; #765, EF634383; #766, EF634384; #767, EF634385; #768, EF634386; #769, EF634387; #770, EF634388; #771, EF634389; #772, EF634390; #773, EF634391; #774, EF634392; #775, EF634393; #776, EF634394; #777, EF634395; #778, EF634396; #779, EF634397; #780, EF634398; #781, EF634399; #782, EF634400; #783, EF634401; #784, EF634402; #785, EF634403; #786, EF634404; #787, EF634405; #788, EF634406; #789, EF634407; #790, EF634408; #791, EF634409; #792, EF634410; #793, EF634411; #794, EF634412; #795, EF634413; #796, EF634414; #797, EF634415; #798, EF634416; #799, EF634417; #800, EF634418; #801, EF634419; #802, EF634420; #803, EF634421; #804, EF634422; #805, EF634423; #806, EF634424; #807, EF634425; #808, EF634426; #809, EF634427; #810, EF634428; #811, EF634429; #812, EF634430; #813, EF634431; #814, EF634432; #815, EF634433; #816, EF634434; #817, EF634435; #818, EF634436; #819, EF634437; #820, EF634438; #821, EF634439; #822, EF634440; #823, EF634441; #824, EF634442; #825, EF634443; #826, EF634444; #827, EF634445; #828, EF634446; #829, EF634447; #830, EF634448; #831, EF634449; #832, EF634450; #833, EF634451; #834, EF634452; #835, EF634453; #836, EF634454; #837, EF634455; #838, EF634456; #839, EF634457; #840, EF634458; #841, EF634459; #84

また、Nakatani *et al.* (2011) においては、ミトゲノム全長配列に基づく系統解析に加えて分岐年代を推定しており、コイ目魚類を含む骨鰈類の進化史に時間軸を入れることに成功した(下図参照)。超行列分析と分岐年代分析を組み合わせるにより、より大規模な進化史の再構築が可能になる。



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 23 件：全て査読有り)

- Lavoué, S., Miya, M., Musikasinthorn, P., Chen, W.J. & Nishida, M. 2013. Mitogenomic evidence for an Indo-West Pacific origin of the Clupeoidei (Teleostei: Clupeiformes). *PLoS One* **8**:e56485.
- Imoto, J.M., Saitoh, K., Sasaki, T., Yonezawa, T., Adachi, J., Kartavtsev, Y.P., Miya, M., Nishida, M. & Hanzawa, N. 2013. Phylogeny and biogeography of highly diverged freshwater fish species (Leuciscinae, Cyprinidae, Teleostei) inferred from mitochondrial genome analysis. *Gene* **514**:112–124.
- Yang, L., Hirt, M.V., Sado, T., Arunachalam, M., Tang, K.L., Manickam, R., Simons, A.M., Wu, H.-H., Mayden, R.L. & Miya, M. 2012. Phylogenetic placements of the barbin genera *Discherodontus*, *Chagunius*, and *Hypselobarbus* in the subfamily Cyprininae (Teleostei: Cypriniformes) and their relationships with other barbines. *Zootaxa* **3586**:26–40.
- Yang, L., Arunachalam, M., Sado, T., Levin, B.A., Golubtsov, A.S., Freyhof, J., Friel, J.P., Chen, W.J., Vincent Hirt, M., Manickam, R., Agnew, M.K., Simons, A.M., Saitoh, K., Miya, M., Mayden, R.L.

& He, S. 2012. Molecular phylogeny of the cyprinid tribe Labeonini (Teleostei: Cypriniformes). *Molecular Phylogenetics and Evolution* **65**:362–379.

- Lavoué, S., Miya, M., Arnegard, M.E., Sullivan, J.P., Hopkins, C.D. & Nishida, M. 2012. Comparable ages for the independent origins of electrogenesis in African and South American weakly electric fishes. *PLoS One* **7**:e36287.
- Lavoué, S., Miya, M., Moritz, T. & Nishida, M. 2012. A molecular timescale for the evolution of the African freshwater fish family Kneriidae (Teleostei: Gonorynchiformes). *Ichthyological Research* **52**:1–9.
- Aschliman, N.C., Nishida, M., Miya, M., Inoue, J.G., Rosana, K.M. & Naylor, G.J.P. 2012. Body plan convergence and diversity shaped by mass extinction in the evolution of skates and rays (Chondrichthyes: Batoidea). *Molecular Phylogenetics and Evolution* **63**:28–42.
- Johnson, G.D., Ida, H., Sakaue, J., Sado, T., Asahida, T. & Miya, M. 2012. A ‘living fossil’ eel (Anguilliformes: Protanguillidae, fam. nov.) from an undersea cave in Palau. *Proceedings of the Royal Society B* **279**:934–943.
- Tang, K.L., Agnew, M.K., Chen, W.J., Hirt, M.V., Raley, M.E., Sado, T., Schneider, L.M., Yang, L., Bart, H.L., He, S., Liu, H., Miya, M., Saitoh, K., Simons, A.M., Wood, R.M. & Mayden, R.L. 2011. Phylogeny of the gudgeons (Teleostei: Cyprinidae: Gobioninae). *Molecular Phylogenetics and Evolution* **61**:103–124.
- Nakatani, M., Miya, M., Mabuchi, K., Saitoh, K. & Nishida, M. 2011. Evolutionary history of Otophysi (Teleostei), a major clade of the modern freshwater fishes: Pangaeen origin and Mesozoic radiation. *BMC Evolutionary Biology* **11**:177.
- Lavoué, S., Miya, M., Arnegard, M.E., McIntyre, P.B., Mamonekene, V. & Nishida, M. 2011. Remarkable morphological stasis in an extant vertebrate despite tens of millions of years of divergence. *Proceedings of the Royal Society B* **278**:1003–1008.
- Saitoh, K., Sado, T., Doosey, M.H., Bart, H.L., Inoue, J.G., Nishida, M., Mayden, R.L., Nishida, M. & Miya, M. 2011. Evidence from mitochondrial genomics supports the lower Mesozoic of South Asia as the time and place of basal divergence of cypriniform fishes (Actinopterygii: Ostariophysi). *Zoological Journal of the Linnean Society* **161**:633–662.
- Yamanoue, Y., Miya, M., Doi, H., Mabuchi, K., Sakai, H. & Nishida, M. 2011. Multiple invasions into freshwater by pufferfishes (Teleostei: Tetraodontidae): a mitogenomic perspective. *PLoS One* **6**:e17410.
- Inoue, J.G., Miya, M., Lam, K., Tay, B.-H., Danks, J.A., Bell, J., Walker, T.I. & Venkatesh, B. 2010. Evolutionary origin and phylogeny of the modern holocephalans (Chondrichthyes: Chimaeriformes): a mitogenomic perspective. *Molecular Biology and Evolution* **27**:2576–2586.
- Yang, L., Mayden, R.L., Sado, T., He, S., Saitoh, K. & Miya, M. 2010. Molecular phylogeny of the fishes traditionally referred to Cyprinini *sensu stricto* (Teleostei: Cypriniformes). *Zoologica Scripta* **39**:527–550.
- Tang, K.L., Conway, K.W., Agnew, M.K., Chen, W.-J., Hirt, M.V., Sado, T., Schneider, L.M., Freyhof, J.,

- Swartz, E., Vidhayanon, C., Bart, H.L., Miya, M., Saitoh, K., Simons, A.M., Wood, R.M. & Mayden, R.L. 2010. Systematics of the subfamily Danioninae (Teleostei: Cypriniformes: Cyprinidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution* **57**:189–214.
- Kawaguchi, M., Hiroi, J., Miya, M., Nishida, M., Iuchi, I. & Yasumasu, S. 2010. Intron-loss evolution of hatching enzyme genes in Teleostei. *BMC Evolutionary Biology* **10**:260.
- Satoh, T.P., Sato, Y., Masuyama, N., Miya, M. & Nishida, M. 2010. Transfer RNA gene arrangement and codon usage in vertebrate mitochondrial genomes: a new insight into gene order conservation. *BMC Genomics* **11**:479.
- Lavoué, S., Miya, M. & Nishida, M. 2010. Mitochondrial phylogenomics of anchovies (family Engraulidae) and recurrent origins of pronounced miniaturization in the order Clupeiformes. *Molecular Phylogenetics and Evolution* **56**:480–485.
- Inoue, J.G., Miya, M., Miller, M.J., Sado, T., Hanel, R., Hatooka, K., Aoyama, J., Minegishi, Y., Nishida, M. & Tsukamoto, K. 2010. Deep-ocean origin of the freshwater eels. *Biology Letters* **6**:363–366.
- Hirayama, M., Mukai, T., Miya, M., Murata, Y., Sekiya, Y., Yamashita, T., Nishida, M., Watabe, S., Oda, S. & Mitani, H. 2010. Intraspecific variation in the mitochondrial genome among local populations of Medaka *Oryzias latipes*. *Gene* **457**:13–24.
- Doosey, M.H., Bart, H.L., Saitoh, K. & Miya, M. 2010. Phylogenetic relationships of catostomid Fishes (Actinopterygii: Cypriniformes) based on mitochondrial ND4/ND5 gene sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution* **54**:1028–1034.
- Miya, M., Pietsch, T.W., Orr, J.W., Arnold, R.J., Satoh, T.P., Shedlock, A.M., Ho, H.C., Shimazaki, M., Yabe, M. & Nishida, M. 2010. Evolutionary history of anglerfishes (Teleostei: Lophiiformes): a mitogenomic perspective. *BMC Evolutionary Biology* **10**:58.
- Takada, M., Tachida, K., Kon, T., Yamamoto, G., Iguchi, K.i., Miya, M. & Nishida, M. 2010. Biogeography and evolution of the *Carassius auratus*-complex in East Asia. *BMC Evolutionary Biology* **10**:7.
- [学会発表] (計 17 件)
- Miya, M., Satoh, T.P., Sado, T. & Nishida, M. Undetected evolutionary radiation in the pelagic realm: A novel clade in the percomorph fishes as revealed by bioinformatic and mitogenomic analyses. European Congress of Ichthyology, Liège, Belgium, June 2012.
- Miya, M., Satoh, T.P., Sado, T. & Nishida, M. Undetected evolutionary radiation in the pelagic realm: A novel clade in the percomorph fishes as revealed by bioinformatic and mitogenomic analyses. Joint Meeting of Ichthyologists and Herpetologists, Vancouver, Canada, July 2013.
- 西田 睦・武島弘彦・馬淵浩司・宮 正樹. 魚類のミトコンドリア進化ゲノミクス：今後の展望. 2011年度日本魚類学会年会, 弘前大学, 弘前, 2011年10月1日.
- 井上 潤・宮 正樹・西田 睦. ミトコンドリアゲノム全長配列に基づく魚類の分岐年代推定. 2011年度日本魚類学会年会, 弘前大学, 弘前, 2011年10月1日.
- 佐藤 崇・宮 正樹・馬淵浩司・西田 睦. 魚類のミトコンドリアゲノムにおける遺伝子配置の多様性とその進化. 2011年度日本魚類学会年会, 弘前大学, 弘前, 2011年10月1日.
- 山野上祐介・宮 正樹・松浦啓一・酒井治己・西田 睦. ミトコンドリアゲノム全長塩基配列にもとづくフグ目魚類の系統解析：姉妹群 探索から淡水種の起源推定まで. 2011年度日本魚類学会年会, 弘前大学, 弘前, 2011年10月1日.
- 昆 健志・宮 正樹・佐土 哲也・Lukas Rüber・中谷 将典・佐藤 崇・吉野 哲夫・西田 睦. ミトコンドリアゲノム全長配列によるハゼ亜目魚類の分子系統解析：幼形進化的シラスウオ属魚類の起源を中心に. 2011年度日本魚類学会年会, 弘前大学, 弘前, 2011年10月1日.
- ソン ハヨン・馬淵浩司・佐藤 崇・宮 正樹・西田 睦. ミトコンドリアゲノム全長塩基配列にもとづくヨウジウオ亜目魚類の系統解析：亜目の枠組みと内部の系統関係. 2011年度日本魚類学会年会, 弘前大学, 弘前, 2011年10月1日.
- 宮 正樹・西田 睦. 魚類のミトコンドリア進化ゲノミクス：10年の軌跡と到達点. 2011年度日本魚類学会年会, 弘前大学, 弘前, 2011年10月1日.
- Miya, M., T. Sado, K. Saitoh, H.L. Bart, Jr., M.H. Doosey, I. Doadrio, Y. Keivany, J. Shrestha, V. Lheknim, R. Zardoya, M. Nishida, R.L. Mayden. The mitogenomic supermatrices to resolve Cypriniformes Tree of Life: An empirical approach based on 469 complete and 2171 partial mtDNA sequences. 日本進化学会. 京都大学, 京都, 2011年7月30日.
- Miya, M., Nakatani, K. Mabuchi, K. Saitoh, M. Nishida. Evolutionary history of Otophysi (Teleostei), a major clade of the modern freshwater fishes: Pangaean origin and Mesozoic radiation. Joint Meeting of Ichthyologists and Herpetologists. Hilton Minneapolis, Minneapolis, Minnesota, USA July 2011.
- Miya, M., T. Sado, K. Saitoh, H.L. Bart, Jr., M.H. Doosey, I. Doadrio, Y. Keivany, J. Shrestha, V. Lheknim, R. Zardoya, M. Nishida, R.L. Mayden. The mitogenomic supermatrices to resolve Cypriniformes Tree of Life: An empirical approach based on 472 complete and 2171 partial mtDNA sequences. Joint Meeting of Ichthyologists and Herpetologists. Hilton Minneapolis, Minneapolis, Minnesota, USA July 2011.
- Miya, M., T. Sado, K. Saitoh, H.L. Bart, Jr., M.H. Doosey, I. Doadrio, Y. Keivany, J. Shrestha, V. Lheknim, R. Zardoya, M. Nishida, R.L. Mayden. The mitogenomic supermatrices to resolve Cypriniformes Tree of Life: An empirical approach based on 469 complete and 2171 partial mtDNA sequences. Evolution 2011. Embassy Suites Norman — Hotel & Conference Center, Norman, Oklahoma, USA, June 2011.
- 宮 正樹・井田 齊・G. David Johnson・坂上治郎・佐土哲也・朝日田卓. ウナギ目の新科を発見：パラオの海底洞窟に生息する「生きた化石」. 2010年度日本魚類学会年会. 三重大学, 津, 2010年9月24日.
- Johnson G.D., Ida H., Sakaue J., Sado T., Asahida T. & Miya M. An extraordinary primitive eel from shallow waters of Palau — new family, living

fossil? Joint Meeting of Ichthyologists and Herpetologists. Providence, Rhode Island, July 2010.

Tang K.L., Agnew, M.K., Chen W.-J., Hirt M.V., Raley, Sado T., Schneider L.M., Yang L., Bart H.L., He, S., Liu H., M.E., Miya M., Saitoh K., Simons A.M., Wood R.M. & Mayden R.L. Phylogenetic relationships of the cyprinid subfamily Gobioninae (Teleostei: Cypriniformes). Joint Meeting of Ichthyologists and Herpetologists. Providence, Rhode Island, July 2010.

Miya, M., T.W. Pietsch, J.W. Orr, T.P. Satoh, H.-C. Ho, R. Arnold, A.M. Shedlock, M. Shimazaki, M. Yabe, M. Nishida. Evolutionary history of anglerfishes (Teleostei: Lophiiformes): A mitogenomic perspective. Joint Meeting of Ichthyologists and Herpetologists. Providence, Rhode Island, July 2010.

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

Masaki Miya Lab

<<https://sites.google.com/site/masakimiyalab/>>

MitoFish

<<http://mitofish.ori.u-tokyo.ac.jp/>>

魚類のミトゲノム全長配列と断片配列に絞り込んで構築したデータベース。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮 正樹 (MIYA MASAKI)

千葉県立中央博物館・動物学研究所・科長
研究者番号：30250137

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし