

平成 30 年 5 月 19 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26292106

研究課題名(和文) 広域優良資源、アオリイカ類の生活史解明への異分野融合型アプローチ

研究課題名(英文) Ecology and stock structure of *Sepioteuthis lessoniana* around Japan

研究代表者

海野 徹也 (Umino, Tetuya)

広島大学・生物圏科学研究科・准教授

研究者番号：70232890

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,200,000円

研究成果の概要(和文)：アオリイカ類は、シロイカ、アカイカ、クアイカ型で種分化が認められ、*Sepioteuthis lessoniana*ではネオタイプを必要とするなど、分類学的再検討の方向性が定まった。アカイカやクアイカではローカル集団が存在した。クアイカおよびアカイカは、2ヶ月齢までに群れ行動が発現することを明らかにした。シロイカでは脅威対象や攻撃対象という情報が群れの中で距離依存的に伝播された。アカイカ、シロイカ、クアイカ型の視精度とロドプシン最大吸収波長は、それぞれ0.95、0.64、0.60、と496、492、490 nmで、生息環境に応じて発達していると思われた。

研究成果の概要(英文)：We investigated the samples collected in the natural history museums of England, France and Netherlands and then conducted molecular phylogenetic analysis for the purpose of solving a morphologic issue of *Sepioteuthis lessoniana*. The results showed that there are lost samples and neotype is needed for *S. lessoniana* that suggested how further revision of this genus should be conducted. Kua-ika and Aka-ika initiate schooling within 60 days of post hatching. Aka-ika forms social network that individual squid are connected. In Shiro-ika school, information such for threatening/prey are sent by an individual, via its body patterning, toward neighboring schoolmate. Visual acuity was determined as 0.95 for pelagic species Aka-ika, which was higher than the value of 0.64 and 0.60 for Shiro-ika and Kua-ika. Rhodopsin exhibited an absorbance maximum at 496, 492 and 490 nm in Aka-ika, Shiro-ka and Kua-ika.

研究分野：水産増殖学

キーワード：アオリイカ 分類 保全 群形成 視覚生理 集団構造

1. 研究開始当初の背景

日本は世界のイカ消費大国で、イカ類は国民の質的なタンパク源となっている。中でもアオリイカ類は美味で「イカの王様」として君臨している。漁業においては商品価値が極めて高く、しかも、沿岸で釣獲されることから、コストパフォーマンスの良い優良資源である。地域によっては不振にあえぐ沿岸漁業の漁家経営を支える基幹資源となっている。

我が国に広く分布するアオリイカ類には、遺伝的・形態的に異なるシロイカ、アカイカ、クアイカ型3種(以下、それぞれシロイカ、アカイカ、クアイカ)が存在する。これら3種の分類や分布、資源貢献のみならず、保全のための生態情報は極めて少ない。申請者らは「アオリイカ」をキーワードに、分類、遺伝、生理、行動生態、分子生物、水産工学といった専門家からなる研究チームを編成し、広域優良資源であるアオリイカ3種の生活史解明に挑む。また、得られた知見を資源管理や増殖・保全へと還元することで、アオリイカ類を基幹資源とした沿岸漁業の活性化に貢献する。

2. 研究の目的

アオリイカ3種のシロイカ、アカイカ、クアイカについて以下の4つの課題について特徴的基盤研究を遂行する。

(1) 3種の分類

現在のアオリイカの学名は *S. lessoniana* Ferussac, 1831 in Lesson (1830-1831) がある。しかしながら Izuka et al. (1994) の遺伝学的研究によって漁業従事者が呼称するシロイカ、アカイカ、クアイカの3タイプは独立した種であることが明らかとなった。さらに Triantafillos and Adams (2005) は、オーストラリアアオリイカ *S. australis* とは異なる *S. lessoniana* A&B の遺伝学的に異なる2種を報告した。そのため、日本産3種およびオーストラリアの2種の異同や分類学的再検討は必須の課題として残されている。

(2) 保全単位の解明

資源の保全単位を把握する上で、遺伝的集団構造の解明は重要な課題である。しかしながら DNA マーカーを用い、シロイカ、アカイカ、クアイカの集団構造を精査した例はない。本研究では、高感度 DNA マーカーを用いて、シロイカ、アカイカ、クアイカの遺伝的集団構造を明らかにする。

(3) 成群形成メカニズムの解明

アオリイカ類3種のうち、行動についての知見がないクアイカおよびアカイカについて、ツツイカ目イカ類の特性である群れ行動の発達過程、および社会構造について明らかにする。また、シロイカについて、群れ内の情報伝播機構について検証する。さらに、ア

オリイカ類の飼育技術について基礎的知見を得る。

(4) 生息環境と視覚器

アオリイカ3種の視精度および網膜光吸収体であるロドプシンとレチノクロームの性状を明らかにする。3種の視覚機能からみた生息環境への適応的な違いを考察する。

3. 研究の方法

(1) 3種の分類

アオリイカ類の学名調査は、英国王立外科大学のハンタリアン博物館と英国自然史博物館、フランス国立自然史博物館およびオランダ国立自然史博物館(ライデン)で実施した。

(2) 保全単位の解明

シロイカおよびアカイカについては新規開発した多型性に富むマイクロサテライト DNA マーカーを使用した。シロイカでは、7 マーカー座を用いて本州、四国、九州から採集された12海域840個体を解析した。アカイカでは、13 マーカー座を用いて台湾から和歌山まで6海域から採集された274個体を解析した。クアイカの遺伝的集団構造解析は、Aoki et al. (2008) に従って、ミトコンドリア DNA 非コード領域を用いて、父島、沖縄島、南大東島、八重山諸島およびパラオから採集した検体を分析した。

(4) 成群形成メカニズムの解明

沖縄島沿岸よりクアイカおよびアカイカの卵塊を採集し、琉球大学にて育成した。孵化後の個体を継続して飼育し、行動を映像記録し、群れ行動の発現を調べた。また、アカイカについて、100日齢前後の個体を標識により個体識別して行動を映像記録し、順位とソーシャルネットワーク構造を調べた。さらに、シロイカを孵化後より飼育し、脅威刺激(ネット)と報酬刺激(餌)に対する群れ集団の経時的な反応を調べた。また、一連の飼育を通じて、アオリイカ類の飼育条件を検討した。

(4) 生息環境と視覚器

アオリイカ3種のシロイカ、アカイカ、クアイカの網膜全体における視細胞核密度分布を解析し、最大密度とレンズ径を元に3種の視精度を算出した。視物質については、暗順応した網膜からロドプシンを抽出・精製し、分光光度計により最大吸収波長を測定した。また、RT-PCR法によりロドプシンおよびレチノクロームのアミノ酸配列を決定し、3種間における変異を検出した。

4. 研究成果

(1) 3種の分類

Ferussac (1831) が記載した *S. lessoniana* は、標本がないため Neotype を立てて学名を安定させる必要がある。Own (1881) が記載した *S. brevis* はキュレーターによると見つ

からないという。また世界各地から得た標本に基づいて分子系統樹を作成した。Gould (1852)によるハワイ諸島の標本で記載された *S. arctipinnis* は、“シロイカ”型と同じ系統であるが別種と考えられ、再記載する必要がある。種子島における未知のアオリイカ類の卵塊について遺伝学的同定によって明らかにした結果、従来の卵囊当たりの卵数では種同定が不可能であることが判明した。

(2) 保全単位の解明

シロイカについて本州，四国，九州から採集した 12 海域 840 個体をマイクロサテライト DNA7 マーカー座で解析した。その結果，日本沿岸のシロイカ集団が持つ遺伝変異は、平均ヘテロ接合度の観測値 (H0) で 0.68，平均アリル数 (NA) で 10.0 となった。また、12 海域の仮定集団で有意な遺伝分化が認められなかったことから、日本沿岸のシロイカは移動回遊によって集団間での遺伝子流動が活発であることが示唆された。

アカイカについては、台湾から和歌山までの 6 海域の 274 個体を 13 マーカー座を用いて解析した。遺伝変異は H0 = 0.742 および NA = 8.7 となり、集団間で同等の値となった。集団構造に関しては、台湾から本州にかけて有意な遺伝分化が示され、大きく 4 つのグループ (和歌山，屋久島と種子島，沖縄と石垣島，台湾) に大別されることが示唆された。すべてのペア集団間においても有意な遺伝的差異が認められたため、独立性の高いローカルな繁殖集団が維持されていると考えられた。クアイカは、父島、沖縄島、南大東島および先島諸島の 4 地域それぞれにおいて独立した集団であることが明らかとなった。また父島は他の地域よりも遺伝的分化が大きく、遺伝的多様性が低かった。

パラオ海域より採集したアオリイカ類 50 個体の種同定をミトコンドリア DNA 非コード領域の塩基配列分析をおこなった。49 個体がシロイカ型と同じ系統であり、1 個体がクアイカと同定された。シロイカの 49 サンプルについて集団解析した結果、ハプロタイプ数 26、多様度が 0.9575、塩基多様度が 0.6336% で、ハプロタイプ多様度は、日本本州、琉球列島と比較すると 3 倍大も大きくなった。

(3) 成群形成メカニズムの解明

クアイカおよびアカイカの群れ行動の発達過程において、クアイカはおおよそ 30-40 日齢で群れをつくり始め、遊泳能力も獲得することが明らかとなった。一方、アカイカはおおよそ 48-60 日齢で群れをつくり始め、遊泳能力も獲得することが明らかとなった。

アカイカ型の社会構造においては、100 日齢前後の本種の群れは社会的順位をもち、ソーシャルネットワークを形成していた。一方、個体間平均距離とネットワーク密度が経時的に変化する様子が認められ、群れのソーシャルネットワークの動的一面が明らかとなった。

シロイカの群れ内の情報伝播機構につい

ては、脅威対象および攻撃対象ともに、特定個体が対象を視認し、当該個体が体色変化などにより情報を発信し、それを近隣個体が随時受信して、群れの中に距離依存的に伝播される様子があきらかになった。

アオリイカ類の飼育技術については、クアイカおよびアカイカの孵化後 90 日にわたる飼育に成功した。飼育経過はおおむね良好であり、2 種のアオリイカ類を閉鎖循環水槽にて安定して飼育可能であることを確認した。

(4) 生息環境と視覚器

アカイカの視精度は 0.95 であり、シロイカの視精度 0.64 より高い値であった。一方クアイカは 0.60 でシロイカの値に近かった。ロドプシンの最大吸収波長はアカイカ、シロイカ、クアイカで 496、492 および 490 nm であり (図 1)、アカイカは光感度ピークを海中の透過中心波長である 500 nm 付近に持ち、深場の光環境に適応していると推察された。頭足類の網膜光吸収体であるロドプシンとレチノクロームのアミノ酸配列を比較したところ、前者は 3 種間で変異があるのに対し、後者には変異が存在しなかったことから、レチノクロームは単独で視覚機能に影響を及ぼすのではなく、網膜内でのロドプシンとの存在比によって機能変化をもたらすと推察された。

種子島および屋久島周辺海域においてアカイカの生息環境調査を実施した。同海域の透明度は 25~31m と高く、光束消散係数からアカイカが産卵礁を視認可能な水中視程は 30~80m と非常に大きいことがわかった。

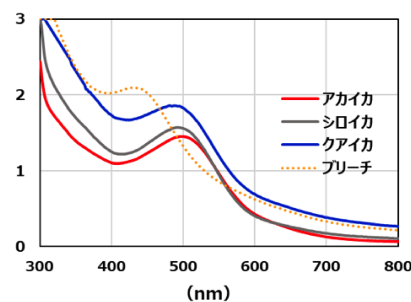


図 1 ロドプシンの最大吸収波長

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 5 件)

苫野哲史, 上田幸男, 笠岡祝安, 海野徹也. DNA マーカーに基づく種子島産アオリイカ成体と卵の型判別. 水産増殖, 63: 39-47, 2015.

Tomano S, Sanchez G, Ueno K, Ueta Y, Ohara K and Umino T. Microsatellite DNA variation of oval squid, *Sepioteuthis* sp. 2 reveals a single fishery stock on the coastline of mainland Japan.

Fisheries Sci, 81:839-847, 2015.

今井秀行, 熊本修太. 種子島におけるアオリイカ類“赤いか型”卵数の多型. 日本水産増殖学会誌 63: 113-115. 2015.

Tomano S, Sanchez G, Kawai K, Kasaoka N, Ueda Y and Umino T. Contribution of *Sepioteuthis* sp. 1 and *Sepioteuthis* sp. 2 to oval squid fishery stocks in western Japan. Fisheries Sci, 82:585-596, 2016.

奥村順哉, 加藤亜花梨, 柳田大地, 中村亨, 石川輝, 倉島彰, 宮崎多恵子. アオリイカ「アカイカ」(*Sepioteuthis* sp. 1) の視精度から推定したイカシバ産卵礁の水中視程, 水産増殖, 66:1, 53-60. 2018.

[学会発表](計 15 件)

Tomano S and Umino T. Genetic diversity of the big-fin reef squid *Sepioteuthis lessoniana* around Japan. 24th Annual Philippine Biodiversity Symposium. University of Eastern Philippines (Biodiversity Conservation Society of the Philippines), Philippines, April 16th, 2015.

Yonezawa Y, Sugimoto C, Umino T, Ikeda Y. Ontogeny of schooling behavior in the squid *Sepioteuthis lessoniana* (Kuwa-ika type). Cephalopod International Advisory Council (CIAC) Conference 2015, Recent Advances in Cephalopod Science, Hakodate, Japan, 11 November 2015.

Tomano S, Sanchez G and Umino T. DNA-based identification revealed differences in distribution pattern and habitat depth between *Sepioteuthis* sp. 1 and sp. 2 in southwest Japan. Cephalopod International Advisory Council (CIAC) Conference 2015. Hakodate, Japan. November 6-14, 2015.

Sanchez G, Tomano S, Wakabayashi T and Umino T. Evaluation of the 5' end of the 16S rRNA gene as a novel DNA barcode marker for the Cephalopoda. Cephalopod International Advisory Council (CIAC) Conference 2015. Hakodate, Japan. November 6-14, 2015.

今井秀行, 安里聖貴. アオリイカ小型種の島嶼間における遺伝的分化. 平成 28 年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学, 2016 年 3 月.

森有平, 宮崎多恵子, 海野徹也. イカ釣り用疑似餌の海中における色変化に関する一考察. 平成 28 年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学(東京), 2016 年 3 月.

筈野哲史, 笠岡祝安, 上田幸男, 今井秀行, 海野徹也. アオリイカ属アカイカの集団構造解析. 平成 28 年度日本水産学会春季大

会, 東京海洋大学(東京), 2016 年 3 月.
安里聖貴, 今井秀行. 日本の太平洋島嶼におけるアオリイカ小型種の遺伝的分化. 沖縄生物学会第 53 回大会, 琉球大学, 2016 年 5 月.

奥村順哉, 中村亨, 宮崎多恵子. 種子島沖アオリイカ人工産卵床周辺の海洋環境. 平成 28 年度日本水産学会秋季大会, 近畿大学(奈良), 2016 年 9 月.

宮崎多恵子, 加藤亜花梨, 柳田大地, 石川輝・倉島彰. 種子島沖アオリイカ人工産卵床周辺の水中視程. 平成 28 年度日本水産学会秋季大会, 近畿大学(奈良), 2016 年 9 月.

池田譲. アオリイカ類アカイカ型における鏡への関心行動. 日本動物行動学会第 35 回大会, 新潟大学五十嵐キャンパス(新潟市), 2016 年 11 月.

Amida A, Sugimoto C, Umino T, Ikeda Y. Social structure and dynamics of *Sepioteuthis lessoniana* Akaika-type. The 22th International Congress of Zoology/the 87 meeting of Zoological Society of Japan joint events, Okinawa Convention Center, Ginowan-city, Okinawa, Japan, 17, 18 November 2016.

安里聖貴, 今井秀行. 日本の太平洋島嶼におけるアオリイカ小型種の遺伝的分化. 日本生物地理学会平成 29 年度大会, 東京大学, 2017 年 4 月.

筈野哲史, 笠岡祝安, 上田幸男, 今井秀行, 海野徹也. 和歌山から台湾にかけてのアオリイカ属“赤いか”集団の遺伝分化. 平成 29 年度日本水産学会春季大会, 2017 年 3 月.

川端律貴, 池田譲. 頭足類の社会性に関する研究-④アオリイカの群れにおける情報伝播機構. 平成 30 年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学, 2018 年 3 月.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

海野 徹也 (UMINO, Tetsuya)

広島大学・大学院生物圏科学研究科・准教授
研究者番号: 70232890

(2) 研究分担者

池田 譲 (IKEDA, Yuzuru)

琉球大学・理学部・教授

研究者番号: 30342744

今井 秀行 (IMAI, Hideyuki)

琉球大学・理学部・准教授

研究者番号: 10359987

宮崎 多恵子 (MIYAZAKI, Taeko)

三重大学・大学院生物資源学研究科・准教授

研究者番号: 60346004