

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：82708

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450276

研究課題名(和文) 外洋性イカ類の再生産—加入の成否に係るふ化幼生の初期餌料と最適生残環境の特定

研究課題名(英文) Early life and environment for feeding habit and optimum survival environment of oceanic squid relating to spawning and recruitment success

研究代表者

酒井 光夫 (Sakai, Mitsuo)

国立研究開発法人水産研究・教育機構・東北区水産研究所・主幹研究員

研究者番号：70371937

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、水産上きわめて重要な外洋性のアカイカ類の孵化幼生の生残戦略の解明に焦点を当て、近年開発された人工授精孵化手法を応用し、数種のアカイカ類について孵化幼生の飼育実験を行い、生残や成長を左右する物理環境条件を特定することを目的とした。アカイカでは胚発生の発育ステージ、飼育水温ごとの胚発生速度と死亡過程を明らかにし、適正産卵水温が16-25°Cの範囲であることを示した。また、アメリカオオアカイカの胚発生の観察によって、胚発生の水温が同じであれば胚発生速度はアカイカ類の種によらず一定であることが示された。

研究成果の概要(英文)：We aimed to identify the physical environmental conditions that affect survival and growth by conducting experiments using recently developed artificial fertilization method, focusing on elucidating the survival strategy of hatching larvae of ommastrephid squid. We demonstrated the embryonic developmental characteristics, developmental speed and mortality of each developmental stage for the neon flying squid at each incubating water temperature. The rearing experiment revealed that the optimal spawning temperature for neon flying squid is between 16 °C and 25 °C. In addition, we observed embryonic development at 20 °C of fertilized eggs spawned incidentally by a copulated mature female jumbo flying squid rearing in a tank on board. The embryonic development from fertilization to hatching was compared with other ommastrephid squid. The result suggested that the embryonic developmental speed between ommastrephid species until hatching at same rearing temperature was not different.

研究分野：イカ資源、水産生物の初期生態

キーワード：アカイカ科イカ類 人工授精 初期生活 日齢査定 胚発生

1. 研究開始当初の背景

(1) アカイカ類の資源変動:

外洋性のアカイカ類<sup>\*</sup>は、沿岸性のヤリイカやコウイカなど他のイカ類とは比較できないほど資源量が多く、また資源変動の幅も大きい。これまで多くの研究者によって、アカイカの資源変動要因が調べられてきたが、ほとんどは、地球規模のエル・ニーニョやレジームシフトなど、気候海洋変動との関連づけによる説明に終始してきた。

著者らは、近海性スルメイカの幼生期から加入までの変動機構を提示した(Sakurai 他 2000)。スルメイカについては、外套長(胴長)数 cm の幼体までの生活期初期段階で加入水準が決定されることが示唆された(森・中村 2003)。一方、外洋性のアカイカ類であるアカイカやアメリカオオアカイカ等は、世界最大のイカ類資源であるにも関わらず、初期生残過程や加入機構に関する知見はほとんど得られていない。

(2) 初期生活期の研究背景:

こうした背景の下、著者らは、外洋性アカイカの資源水準と一次生産との間に関係性があることを見いだした(Ichii et al. 2011)。しかし、植物プランクトンはイカ類の直接の餌料ではないため、この知見のみで初期生残過程を説明することはできない。

このように初期生残過程の解明が進まない原因の一つとして、対象種が外洋・遠洋域に生息するため、調査海域へのアクセスが困難であることが挙げられる。さらに、アカイカ類の初期生態的な特徴もその解明を困難にしている。すなわち、アカイカ類以外のイカ類は、孵化直後から小型の動物プランクトンを捕食できる程度に発達した形態で生まれるのに対し、アカイカ類の孵化幼生には、融合触腕<sup>\*\*</sup>という未発達な触腕や未発達な口器しか備わっていない(図1)。そのため、孵化後間もないアカイカ幼生は、未発達な口器の周りの繊毛で懸濁粒子を集めて摂取としているとの仮説も出されている(O'Dor et al. 1985)。また、沿岸沖合性のアカイカ類幼生の消化管を調べたところ、バクテリアのみが検出されたとの報告もある(Vidal & Haimovic 1998)。これらのことからアカイカ幼生の食性解明にはさらなる知見の蓄積が必要であるといえる。

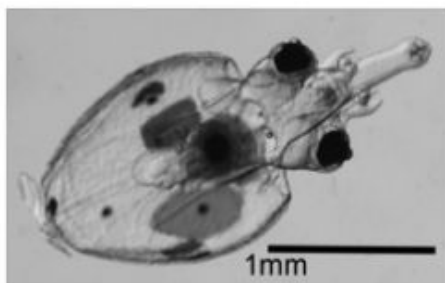


図1. アカイカ幼生(頭部先端に伸びた融合触腕が特徴的)

(3) 初期生活期研究の課題:

著者らがアカイカ幼生の消化管内容物を精査した結果、外套長 3mm(孵化後約 13 日)以上の個体で甲殻類の捕食を検出した(Uchikawa et al. 2009)。しかし、3mmより小さい若齢個体の消化管内容物は特定できず、内部栄養(卵黄)を吸収して外部栄養を摂取し始める 4 日目から、甲殻類を捕食できるようになるまでの約 10 日間の初期餌料を解明することはできなかった。以上のことから、アカイカ類幼生の消化管内容物の精査により、孵化直後の摂餌生態を推定しようとする方法論には、限界があると考えられた。

そこで著者らは、アカイカの初期餌料を明らかにする上で、飼育実験によるアプローチが有効であるとの着想に到った。さらに、人工授精法で孵化したスルメイカ幼生を用いた実験法を確立した(Sakurai et al. 1996)。この技術を応用してアルゼンチンマツイカの胚発生(Sakai & Brunetti 1997, Sakai et al. 1998)や成長過程(Sakai et al. 2004)を明らかにした。また外洋性のアカイカ類に汎用的な人工授精法の改良(Sakai et al. 2011, Villanueva et al. 2012)を行い、飼育実験によるアカイカの初期餌料解明試験に必要な技術はほぼ確立された状態にある。

\* アカイカ類: 分類学的にはアカイカ科(Ommastrephidae)を指す。スルメイカ、アカイカ、アルゼンチンマツイカ、アメリカオオアカイカ、トビイカ、ニュージーランドスルメイカなど水産資源として重要なものを含む。中には年間漁獲量が 100 万トンに上る種もある。

\*\*融合触腕: 2 本の触腕が 1 本に融合した状態の触腕。アカイカ類の特徴は、幼生期に融合触腕を持つことにある。

2. 研究の目的

本研究は、水産上きわめて重要な外洋性のアカイカ類の孵化幼生の生残戦略の解明に焦点を当てる。そこで、人工授精孵化手法を外洋性アカイカ類の孵化幼生に適用することで、従来の野外標本の分析では困難であった初期生態(食性等)や初期生残過程の解明に資することを目標とし、近年開発された人工授精孵化手法を応用し、船上での孵化幼生の飼育実験を行い、生残や成長を左右する初期餌料や物理環境条件を特定することを目的とした。また、複数種のアカイカ類を用いた実験により、天然幼生の生残研究に応用可能な新たな日齢形質の検証や生残特性の解明することも目的とした。

3. 研究の方法

外洋性アカイカ類に焦点を当て、定期的実施される資源調査の航海を活用して、野生幼生の採集と船上での人工授精実験を中心に、既存標本分析、生残実験、形態観察分析、

総合解析の計5ユニットによるアプローチで初期生残過程の解明を行う。ユニット1では、調査時に採集された成熟イカを用いて船上で人工授精を行い、実験飼育用孵化幼生を生産する。ユニット2では、予備実験で得られた人工孵化幼生標本の形態を分析する。ユニット3では、ユニット1で得られた孵化幼生を用いて、水温条件、餌料条件、浮上遊泳力実験を実施する。ユニット4では、新たに加えられた幼生の各硬組織を詳細に分析し、日齢検証および種特異的な初期形態の記載を行う。ユニット5では、ユニット1~4で得られた結果に基づき、複数種の外洋性アカイカ類の初期生残戦略を総合的に検討する。

#### 4. 研究成果

##### (1) アカイカの胚発生と生残

外洋性のアカイカ科イカ類の生残や成長を左右する初期餌料や物理環境を特定する目的に、調査船の船上における人工授精を行った。その結果、アカイカ (*O. bartramii*)、トビイカ (*Sthenoteuthis oualaniensis*)、およびスジイカ (*Eucleoteuthis luminosa*) の人工授精に成功し、胚発生の観察を行った (図2-A)。

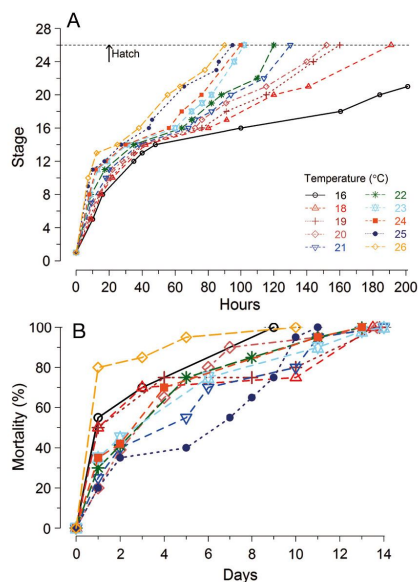


図2. アカイカ人工孵化受精卵の飼育水温ごとの胚発生速度と死亡率 (Vijai ら 2015a)

また、アカイカについては16°C~26°Cにおいて10段階の飼育温度環境で受精から孵化にいたる飼育を行い、飼育水温ごとの死亡率を観測した (図2-B) 正常孵化率を推定した。

この実験によって、アカイカの適正産卵水温が18°C~25°Cの範囲であることが明らかになった (図3)。この結果はアカイカの潜在的産卵海域を推定することを可能にする。

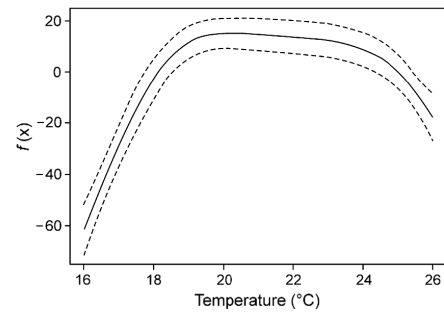


図3. アカイカ人工孵化受精卵の飼育水温ごと正常ふ化率 (Vijai ら 2015a)

##### (2) アカイカの孵化稚仔

人工授精手法によって正常孵化したアカイカ稚仔の形態的特徴を観測し、内部卵黄 (inner yolk) の残存過程を明らかにした (図4)。孵化稚仔はステージ34では卵黄を使い尽くし、外部栄養である外部の餌料を摂取する段階となることを明らかにした。

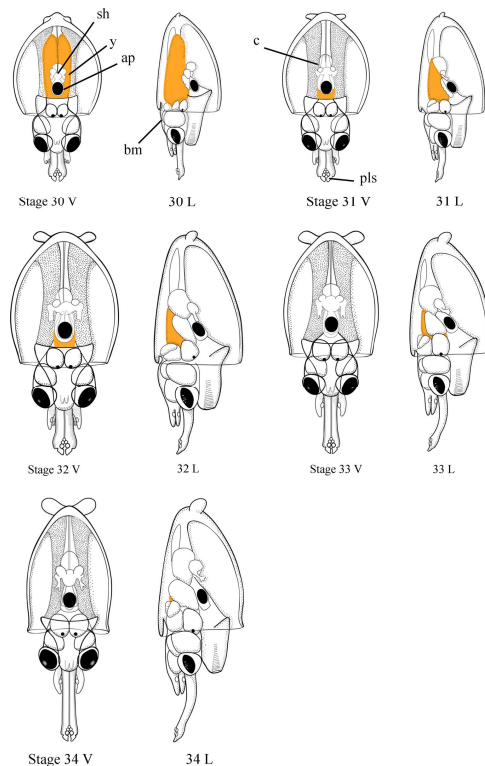


図4. アカイカ孵化稚仔のふ化ステージごとの内部卵黄の残存過程の特徴 (Vijai ら 2015b)

##### (3) アメリカオオアカイカの胚発生 船上に設置したタンクに収容したアメリカ

カオアカイカの成熟雌が、タンク内で偶発的な産卵を行った。この時、産み出された受精卵を観察し、水温 20 °C における胚発生過程を観測した(図 5)。

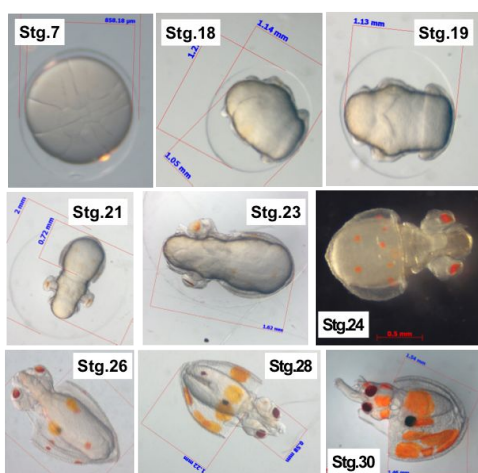


図 5 . アメリカオオアカイカの受精卵胚発生過程 (Sakai ら 2017)

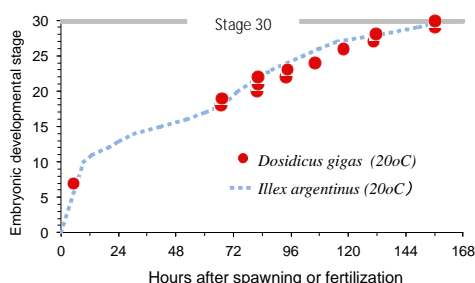


図 6 . アメリカオオアカイカの胚発生速度 (赤丸) と既報のマツイカの発生速度 (水色の破線、Sakai ら 1999) との比較。(Sakai ら 2017)

また、胚発生の観測から飼育水温 20 °C の環境での受精直後から正常孵化段階と考えられるステージ 30 までの发育段階ごとの孵化速度を推定し、同じアカイカ科のマツイカの孵化速度との比較を行った(図 6)。この結果、種が異なってもアカイカ科のイカ類における胚発生は発生孵化水温が同じであればその発生速度には違いがないことが示唆された。

#### <引用文献>

Ichii 他 7 名: Mar Ecol Prog Ser 441: 151-164 (2011)  
 森・中村: Nippon Suisan Gakkaishi, 69, 23-29 (2003)  
 O'dor 他: Vie Milieu, 35:267-271 (1985)  
 Sakurai, Y 他 4 名: ICES Journal of Marine Science, 57: 24-30 (2000)  
 Sakai, M. & Brunetti, NE: Fisheries Science, 63:664-667 (1997)

Sakai, M. 他: South African J. Marine Science 20, 255-265 (1998)  
 Sakai M, Brunetti NE, Ivanovic ML, et al (1999) Embryonic development and mortality of *Illex argentinus* as a function of temperature. In: Seminario final del proyecto: Avances en metodos y tecnologia aplicados a la investigacion pesquera. JICA-INIDEP, Mar del Plata, Argentina, pp 35-37.  
 Sakai, M. 他: Marine and Freshwater Research 55, 403-413 (2004)  
 Sakai, M. 他: Japan Agricultural Research Quarterly 45, 301-308  
 Sakurai, Y. 他: American Malacological Bull., 13: 89-95 (1996)  
 Uchikawa, K. 他: Fisheries Science, 75:317-323 (2009)  
 Vidal & Haimovic: Bulletin of Marine Science, 63: 305-316 (1998)  
 Villanueva, R. 他: Aquaculture 342 - 343 (2012) 125-133

#### 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)

(1) Sakai M, K.Tsuchiya, L Mariatequi, T. Wakabayashi, and C. Yamashiro. Vertical migratory behavior of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) off Peru: Records of acoustic and pop-up tags. JARQ、査読あり、51 巻、2017 年、171-179. <https://www.jircas.go.jp>  
 (2) Sakai M, D. Vijai, C. Yamashiro, T. Wakabayashi. Observations on an egg mass and embryonic development of the jumbo squid *Dosidicus gigas* under captive conditions. IMARPE Bulletin 査読あり (2017) (in press)  
 (3) Vijai D, Sakai M, Kamei Y, Sakurai Y Spawning pattern of the neon flying squid *Ommastrephes bartramii* (Cephalopoda: Oegopsida) around the Hawaiian Islands. Sci. Mar. 査読あり、78 巻、2014 年、511-519. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/scimar.04112.27B>  
 (4) Vijai D, M Sakai, Y Sakurai Embryonic and paralarval development following artificial fertilization in the neon flying squid *Ommastrephes bartramii*. Zoomorphology 査読あり、134 巻、2015 年、417-430. DOI 10.1007 / s00435-015-0267-6  
 (5) Vijai D, Sakai M, Wakabayashi T, Yoo H-K, Kato Y, Sakurai Y Effects of temperature on embryonic development and paralarval behavior of the neon flying squid *Ommastrephes bartramii*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 査読あり、529 巻、2015 年、145-158. doi: 10.3354/meps11286

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

酒井 光夫 (Sakai Mitsuo)

研究者番号：70371937

国立研究開発法人 水産研究・教育機構  
東北区水産研究所・資源海洋部・主幹研究員

### (2) 研究分担者

桜井 泰憲 (Sakurai Yasunori)

研究者番号：30196133

北海道大学・水産科学研究科・教授

若林 敏江 (Wakabayashi Toshie)

研究者番号：80392918

国立研究開発法人 水産研究・教育機構  
水産大学校・海洋生産管理学科・准教授