

原著論文

太陽光パネルによる電力自給システムを利用した海面網生簀におけるカタクチイワシの育成に及ぼす夜間電照の影響

黒坂浩平*1・米田道夫*2・高山 剛*3・津崎龍雄*2,*5・稲葉太郎*4,*6・
齋田尚希*4・保尊 脩*1

Effect of photovoltaic-powered night-time lighting on growth of Japanese anchovy
Engraulis japonicus in sea net-cages

Kohei KUROSAKA, Michio YONEDA, Go TAKAYAMA, Tatsuo TSUZAKI, Taro INABA,
Hisaki SAIDA and Osamu HOSON

We examined the effects of night-time lighting in a sea net-cage lit by photovoltaic-powered LEDs on the growth, survival, and feeding of Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) in Komame Bay, Kochi Prefecture, and Usui Bay, Kagoshima Prefecture. Under continuous light, numbers of prey organisms, including copepods, were maximum from night to early morning, and then sharply decreased after sunrise. The rates of growth and survival at the end of the experiment were both significantly higher with lighting than without; and the stomach of specimens held many different prey types, including copepods, mysids, and fish larvae. The effect of night-time lighting on the growth, survival, and feeding of the Japanese anchovy was significant. This suggests that photovoltaic-powered night-time lighting could enhance the productivity of Japanese anchovy in sea net-cages for use as live bait in pole-and-line fisheries for skipjack tuna.

キーワード：カタクチイワシ, 電力自給システム, 海面網生簀, 夜間電照
2018年11月5日受付 2019年9月20日受理

カツオ *Katsuwonus pelamis* を対象とした一本釣り漁業では、操業時に船首から散水と活餌魚を撒くことによって、魚群を漁船へ誘導するとともに、索餌行動を活性化させ、カツオを釣る（若林2004）。我が国のかつお一本釣り漁業で用いられる主な活餌魚はカタクチイワシ *Engraulis japonicus* である（小長谷1975）。活餌魚として

のカタクチイワシはまき網や定置網で漁獲され、餌問屋（餌屋）あるいは餌屋が仲介する定置網漁業者が海面網生簀で1~2週間蓄養した後、近海かつお一本釣り漁船（当業船）へ供給される。カタクチイワシは日本周辺沿岸域に広く分布すること、活餌魚の代替として使用されるマイワシ *Sardinops melanostictus* と比べて漁獲量やサイズ

*1 国立研究開発法人水産研究・教育機構開発調査センター

〒220-6115 横浜市西区みなとみらい2-3-3タイムズタワーB棟15階

Marine Fisheries Research and Development Center, Japan Fisheries Research and Education Agency, Yokohama, Kanagawa, 220-6115, Japan
koheik@affrc.go.jp

*2 国立研究開発法人水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所伯方島庁舎

*3 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産工学研究所

*4 高知県水産振興部水産試験場（本場）

*5 現所属 国立研究開発法人水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所屋島庁舎

*6 現所属 高知県水産振興部内水面漁業センター

が安定していることなどから、カツオ活餌魚供給基地は東北太平洋沿岸～九州西岸域に点在している（小長谷1975）。近海かつお釣りでは年間1隻あたり500～800万尾、近海かつお釣り漁船全体では約33,800万尾の餌料用カタクチイワシが必要とされている。しかしながら、近年では餌問屋の減少や不安定な気象・海象の影響により当業船への安定した餌料供給が出来ないことが顕在化しており、活餌魚の販売数量の制限や価格の高騰、操業経費の増大、出漁の停止などが起きている。この問題解決のため、カタクチイワシの代替餌として人工餌やサバヒーを用いたカツオの釣獲試験が実施されたが、カタクチイワシと比較して、いずれも釣獲量は劣っており、普及には至っていないのが現状である（伊加ら2003, 山下ら2011）。

一方、餌料用カタクチイワシの安定供給を目的として、本種を親魚養成し、得られた受精卵から人工種苗を生産し、餌サイズまで育成させる「養殖」の生産技術の開発が行われた（松田ら2014, 藤井ら2015）。その結果、約10万尾の養殖カタクチイワシの生産を可能とした。これらを100トン超型の当業船に積み、釣獲試験を行った結果、餌屋で供給される通常の蓄養カタクチイワシと比べても餌料として遜色のないことが確認された（黒坂ら2017）。しかしながら、カタクチイワシの養殖では蓄養カタクチイワシに比べて生産コストがかかるため普及には至っていない。このため、現状の養殖技術では、大量のカタクチイワシを消費する当業船に養殖生産魚だけで需要を満たすことは当面困難と考えられることから、かつお釣り漁業においては海面網生簀で蓄養されたカタクチイワシを安定供給していくことが重要と考えられる。

魚類をはじめ、海洋生物の多くは光刺激に対して正または負の走光性を示し、特に魚類の主要な餌生物となるカイアシ類、端脚類、十脚目類などは光源に対して蝟集することが知られている（井上1978, Saigusa and Oishi 1998, 大美ら2007）。このような特色を利用して、海面網生簀に電照装置を設置することにより、電照に蝟集した天然プランクトンを餌料として供給しながらハタハタ *Arctoscopus japonicus* やマダラ *Gadus macrocephalus* 仔稚魚を育成する試みがなされている（森岡2002, 荒井ら2006）。その結果、海面網生簀において天然餌料のみで育成された個体の成長・生残は、人工餌料を給餌して育成させた陸上水槽の種苗や周辺海域の天然魚に比べて、優れていることが明らかになり、海面網生簀での魚類育成における電照利用の有効性が示されている。カタクチイワシの主要な餌生物はカイアシ類であるが、沿岸域では端脚類、アミ類、多毛類、仔魚など多様な餌生物を摂食する食性であることが知られている（木立1969, 陣之内1970, 山本・片山2015）。また、カタクチイワシは餌条件が良ければ成長が促進されること（鶴田1995, Yoneda *et al.* 2014）、海上生簀では通常夜間に電照を使用することはないが、かつお一本釣り漁船の活魚船にお

けるカタクチイワシの維持・管理には船内点灯が有効であること（小瀬谷1975）が報告されている。これらのことは、夜間電照に蝟集した天然餌料をカタクチイワシに供給することによって、海面網生簀での蓄養魚の生産性を向上させられる可能性を示唆している。

そこで本研究では、海面網生簀での餌料用カタクチイワシ蓄養技術を向上させるための基礎知見として、電力自給システムを利用した夜間電照がカタクチイワシの成長、生残、食性に及ぼす影響を調べた。電照試験では、収容尾数および網生簀の規模に基づいて、小規模試験を高知県古満目湾において、大規模試験を鹿児島県薄井湾においてそれぞれ実施するとともに、夜間電照の有効性を確認するため、餌生物試験も併せて実施した。

材料と方法

電力自給システムの構成 電照装置の光源は、システムが供給する電力に限られていることから、省電力のLED光源を採用することとし、実用化に際しての汎用性を考慮して市販のLED電球を使用した。カタクチイワシの網膜は発育に伴って薄明環境に適応した形態的变化を示すこと（Awaiwanont *et al.* 2001, 米田ら未発表）、親魚網膜に分布する各種錐体視細胞および桿体視細胞の視物質最大吸収波長は475～502 nmであることが知られている（Kondrashev *et al.* 2012）。また、水槽での行動実験から、仔魚は青色LEDの光源近くで集群するが、稚魚～親魚は光源を中心としてある一定の距離を保ちながら遊泳するとともに、光源の強度によってその距離が変化することが示されている（米田ら未発表）。以上のことから、光源近くに餌生物とカタクチイワシをともに蝟集させることを企図して、分光分布に青色光に相当する短波長の成分を多く含み、かつ発光強度が比較的低い白色LED電球（パナソニック製LDA7DGK40W全光束485lm：白熱電球40W相当色温度6,700K定格消費電力6.6W）を光源として選択した。電力自給システムは太陽電池で発電した電力をバッテリーに蓄えて負荷に供給する装置で、外部からの給電が不可能な海上生簀において、長期間にわたり照明装置を駆動することができる。電力自給システムの構成を（図1）に示す。太陽電池パネル（シャープ製NT-84L5H公称最大出力84W）は、充放電コントローラ（未来舎製PV-1230D1AB）を介してバッテリー（AC Delco製M24MF, 2台並列接続）に接続した。充放電コントローラの負荷側には、プログラムリレー（オムロン製ZEN-10C1DT-D-V2）とインバータ（2015年：セルスター工業製HG-500/12V出力AC55Hz 100V 400W, 2017年：同社製FTU-30B出力AC55Hz 100V 24W）を接続し、インバータから供給される交流電力によってLED電球を点灯した。LED電球は、耐候性を高める目的で汎用の防水ハウジングに収納し、プログラムリレーのタイマー機能により実験内容に応じて点消灯時刻を制

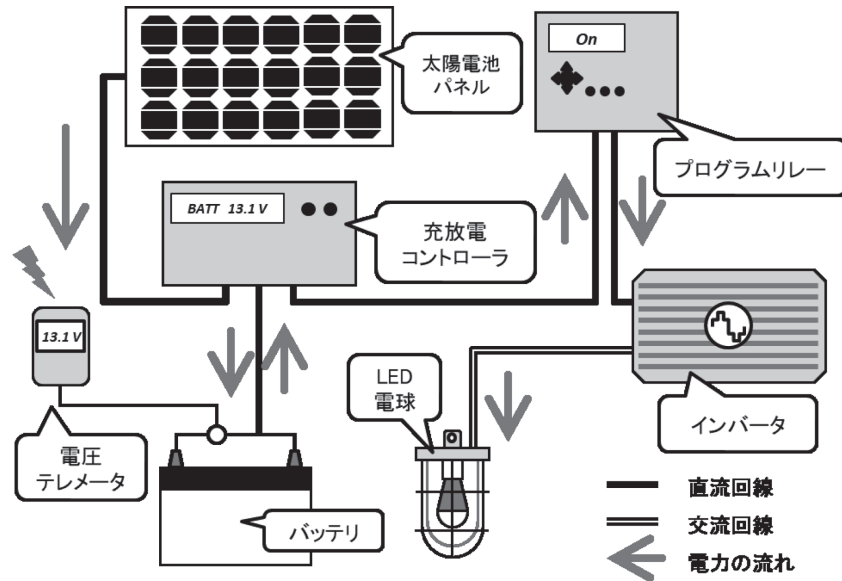


図1. 電力自給システムの構成

御した。後述する山崎技研古満目事業所で2015年に実施した実験では、バッテリーの充放電状態を監視するため、携帯回線を利用する電圧テレメータ（ティアンドデイ製RTR-505V及びRTR-500MBS）をバッテリーに接続した。電圧テレメータは、リアルタイムのバッテリー電圧の情報をクラウドサーバに送信する設定としたほか、バッテリー電圧がシステムの稼働限界である10V以下に低下した場合、メールで警報を送信する設定とし、システムの稼働状態を監視した。

餌生物試験 2015年6月23～24日に山崎技研古満目事業所（高知県幡多郡大月町；以下、古満目）の沖合小割筏および2017年2月4～5日に（有）水口松夫水産（薄井餌場；鹿児島県出水郡長島町諸浦；以下、薄井）の沖合小割筏においてそれぞれ実施した（図2）。実施場所はともに砂泥域であり、水深は約10mであった。魚類などによる捕食防止のため、沖合小割筏に小割網（古満目：2×2×2m、目合4mm；薄井：7×7×5.5m、目合14.4mm）を設置し、小割網の中央にLED電球を配置した。現地の日没と日出の時間を考慮し、古満目では6月23日18時～6月24日6時まで、薄井では2月4日18時～2月5日8時まで、海表面上約30cmに設置したLED電球を点灯させた。古満目では6月23日18～21時および6月24日4～6時の1時間間隔、薄井では2月4日17時と20時、2月5日の6時に、それぞれLED電球直下の深度1.0m付近からプランクトンネット（口径0.55m、目合118 μ m）を海面まで鉛直曳網し、生物を採取した。なお薄井において、電照による生物の罨集効果を比較するための対象として、2月4日20時に小割生簀より約10m離れた地点において同様の深度1.0m付近から鉛直曳網を行い、生物を採取した。採取された生物は10%海水ホルマリンで固定した。採集した標本の採集個体数を調べるため、ま

ず標本を5,000～10,000mL海水で希釈し、100～200mLビーカーにより3回無作為に抽出したものを二次標本とし、その液内の採集個体数を引き延ばして一網当たり（濾水量0.245m³）の採集個体数を推定した。対象とした生物種はカタクチイワシの餌料となり得るカイアシ類、カニ類（幼生）、アミ類、ヨコエビ類、多毛類、仔稚魚類とした（木立1969、陣之内1970、山本・片山2015）。

電照試験 小規模試験を行った古満目において、2015年7月3日に沖合小割筏に照明区と非照明区の網生簀（4×4×2m、目合4mm）をそれぞれ設置した。非照明区は照明区から約15m離れた場所に設置した。試験は2015年7月3日～7月23日の21日間行った。標本には、高知県宿毛湾で採取されたカタクチイワシを瀬戸内海区水産研究所伯方島庁舎において親魚養成し、自家生産した49日齢の種苗計7,000尾（3,500尾/区画）を用いた。種苗生産に使用した親魚のカタクチイワシは2013年11月に宿毛湾で採取されたものであり、2015年5月まで自然日長・自然水温、体重当たり約3%の配合飼料（ニューアルテックK-4（粒径1.0～1.5mm）、日清丸紅飼料（株））を与えて飼育した。得られた受精卵約50,000粒を50トン水槽に収容し、水温20～22°Cにおいて孵化後2日目からS型ワムシを20個/mL以上に維持しながら適宜給餌した。また、30日齢から体重当たり0.5～3%の配合飼料（ニューアルテックK-2（粒径0.35～0.6mm））を与え、40日齢以降は配合飼料（ニューアルテックK-4）のみを給餌した。自給発電システムを小割筏に設置し、照明区では日没前の18時から翌朝日出後の6時までの12時間、LED電球を自動で点灯・消灯させた。照明区を設置した小割筏に水温ロガー（Tidbit, Onset）を取り付け、実験期間中における表面水温を30分間隔で記録した。標本維持のため、荒天時を除き、照明区および非

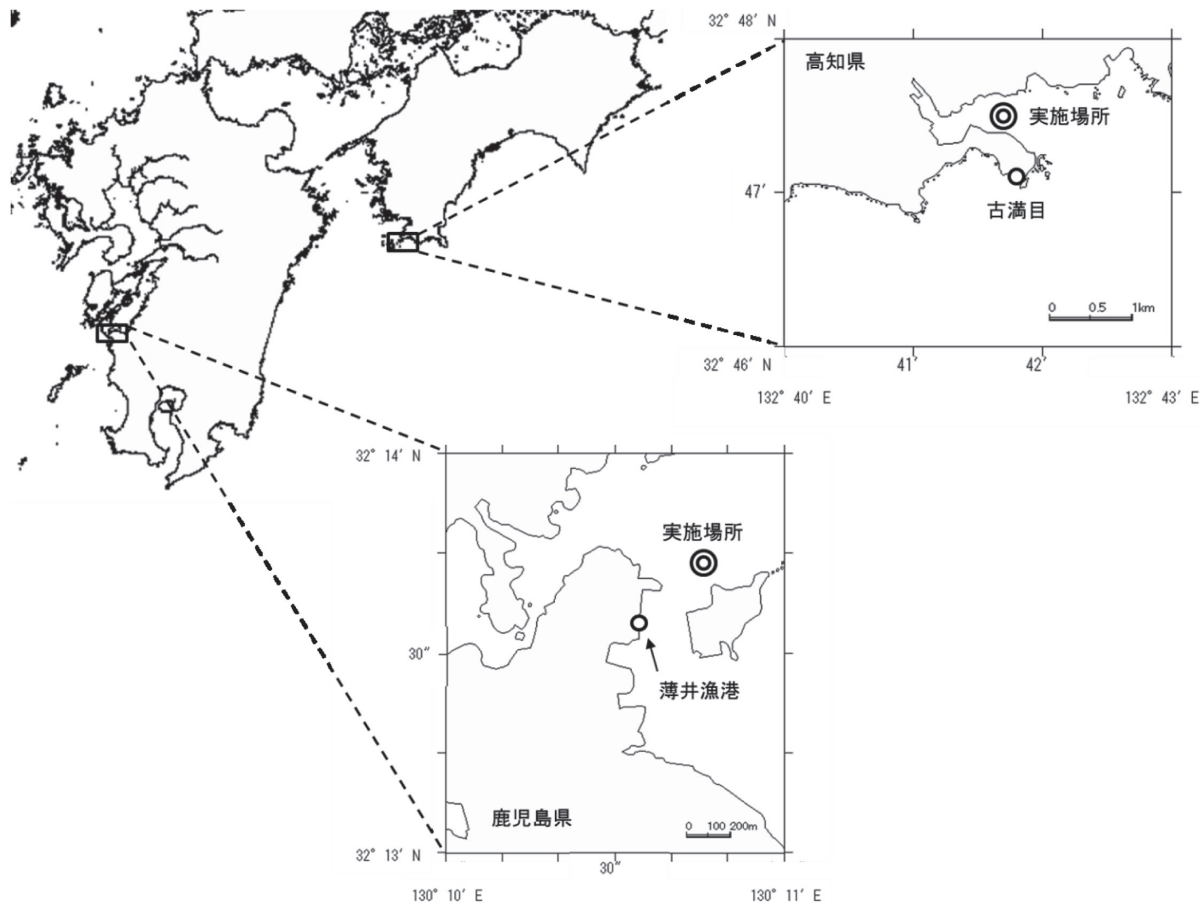


図2. 電照試験の実施場所

照明区に1日1回100gの配合飼料(ニューアルテックK-4)を日中に与えた。7月23日午前5時30分に実験を終了し、各区画から無作為に抽出した標本の全長(mm)と体重(g)を測定するとともに、肥満度を次式により求めた。

$$\text{肥満度} = \text{体重} / \text{全長}^3 \times 10^5$$

各区画の標本の平均体重に基づいて、全個体の総重量から生残尾数を求め、実験期間中の生残率を推定した。摂餌状況を調べるため、標本は腹部を開腹した状態で15%ホルマリンに保存した。ホルマリン保存された個体の体重(体重, g)を計測した後、胃の内容物を実体顕微鏡下で取り出し、胃内容物重量(g)を測定した。摂餌強度の指標として、個体の胃内容物重量指数を次式より求めた(山本・片山2012)。

$$\text{胃内容物重量指数}(\%) = \text{胃内容物重量} / \text{体重} \times 100$$

大規模試験を行った薄井において、2017年2月3日に沖合小割筏に照明区と非照明区の網生簀(7×7×5.5m、目合14.4mm)を設置した。非照明区は照明区と約10m離れた場所に設置した。試験は2017年2月15日～3月4日の18日間行った。小規模試験同様、照明区を設置した小割筏にロガーを取り付け、実験期間中における水温を30分間隔で記録した。標本は八代海で採取されたカ

タクチイワシを使用し、小割生簀で1週間馴致させた後、約20,000尾を照明区と非照明区にそれぞれ収容した。標本の一部を無作為に採取し、実験開始時の全長と体重を推定した。自給発電システムを小割筏に設置し、日没前の17時から翌朝日出後の8時までの16時間、LED電球を自動で点灯・消灯させた。標本維持のため、配合飼料(黒潮クランプル(粒径1.0mm)、(有)坂本飼料)を1日1回各区画に660g与えた。3月4日に試験を終了し、魚体測定のため無作為に標本を採取した。残りの標本については近海かつお釣り漁船の第五萬漁丸へ積み込んだ。試験終了時の生残数は、漁船に積込の際に計測した積込用のバケツ一杯当たりの重量、積込杯数および各区画の個体の平均体重から推定した。

$$\text{生残数} = \text{バケツ一杯当たりの重量} \times \text{積込杯数} / \text{平均体重}$$

なお、漁船への積込作業を優先させるため、積込前日の日中に電灯を撤収したことにより、胃内容物調査は行わなかった。

統計解析 標本の体長や肥満度などの生物特性値について、全ての統計解析はPrism ver 6.05 (GraphPad Software, Inc.)を用いて実施した。実験終了時の照明区と非照明区の有意差をMann-Whitney *U*-test (*U*-test)

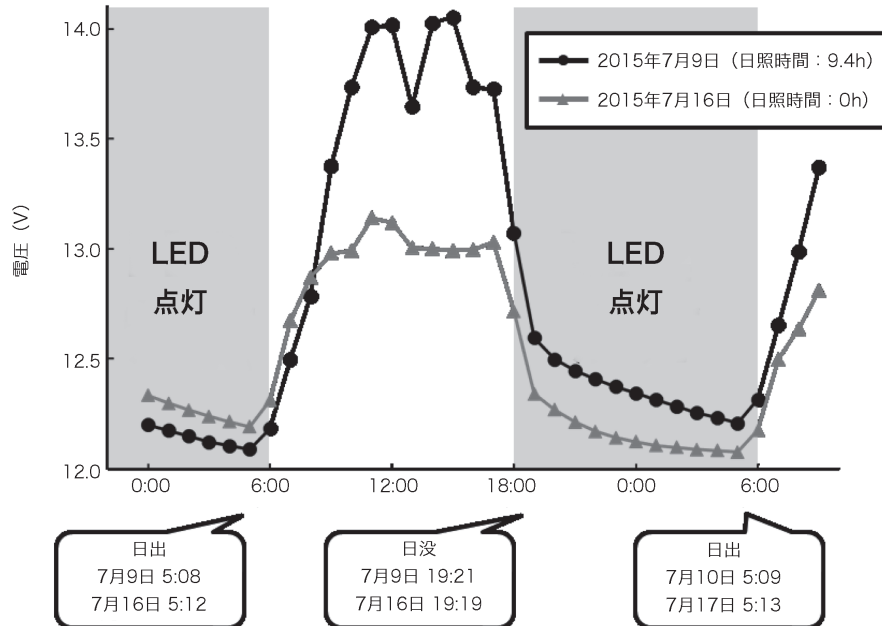


図3. 電力自給システムのバッテリー電圧の経時変化 (古満目)

にて検定した。実験開始時と実験終了時の照明区と非照明区における3区画間について、平均値の95%信頼区間を比較することにより、照明の有効性を考察した。胃内容物重量指数について、観察されたデータをアークサイン変換した後、検定に供した。薄井での大規模試験について、標本の全長組成から大小2群で構成されていると考えられた。このため、観察値に対して単峰と二峰のガウス分布曲線をそれぞれ当てはめ、修正済み赤池情報量基準 (AIC) により二峰性であることを確認した後、任意の全長に基づいて大型群と小型群に区別し、区画間における肥満度の差異を調べた。

結 果

電力自給システムの運用 電力自給システムのバッテリー電圧の経時変化の例を図3に示す。図の事例は古満目で行った2015年7月9日～10日、及び7月16日～17日における1時間毎の電圧の経時変化である。日照時間が9.4時間と長かった2015年7月9日は、日出後から電圧が上昇し、11時には電圧が14.0Vに到達した後、17時までの間、およそ13.6Vから14.0Vの間を推移した。17時以降電圧が急激に下降し、日没時刻に近い19時には12.6Vに到達した。日没後は翌日の日出時刻までの間緩やかに電圧が下降し、5時にこの日最低となる12.2Vまで到達した後、再び上昇した。他方、台風の接近の影響で日照が皆無であった7月16日は、7月9日同様、日出後から11時まで電圧が上昇する傾向が認められたが、最高電圧は13.1Vにとどまった。その後電圧はおよそ13.0Vから13.1Vの間を推移した後、17時以降電圧は急激に下降し、日没近い19時には12.3Vまで達した。日没後から翌日5時にかけて緩やかに電圧は下降し、5時の電圧は

12.1Vであった。以上のように、日射量に応じて太陽電池による充電量が変化し、これに起因してバッテリー電圧が変動することが確認された。しかし、実験期間中、バッテリー電圧が設定値 (10.0V) を下回った際に発報される警報は受信されなかったことから、バッテリーが放電して電力供給が停止するような事態は起こらなかったと判断された。2017年の薄井における実験では、電圧テレメータによるバッテリー電圧データの収集は行わなかったが、点灯状況を目視により確認し、システムが正常に稼働していることを確認した。

餌生物試験 古満目において、カイアシ類の出現は全ての調査時間で認められたが、時間帯によりその採集個体数は大きく変化した。カイアシ類は日没 (19:20) 後の20時より急激に増加し、5時にピークを迎えた後 (日の出5:01)、減少した (図4)。一方、カニ類幼生、アミ類、ヨコエビ類、多毛類、仔稚魚類の出現傾向は概ね類似していた。それら5生物種の採集個体数は20時から急激に増加し、21時または4時に最大となったが、5～6時にはほとんど採集されなかった。古満目での調査中、カイアシ類の採集個体数は他の5生物種に比べて最も多く、また生物種が最も出現したのは4時であった。なお、21時および4時に採取された仔稚魚類 (カタクチイワシ仔魚) の胃の中にはカイアシ類が認められた。薄井において、古満目同様、カイアシ類の出現は全ての調査時間で認められ、20時の採集個体数が最も多かった (表1)。カニ類幼生、ヨコエビ類、仔稚魚類の出現傾向は類似しており、20時にいずれも採集個体数が最大となり、17時と6時には僅かもしくは全く認められなかった。一方、20時の非照明区ではカイアシ類、カニ類幼生、ヨコエビ類が出現したが、照明区に比べると、その採集個体数

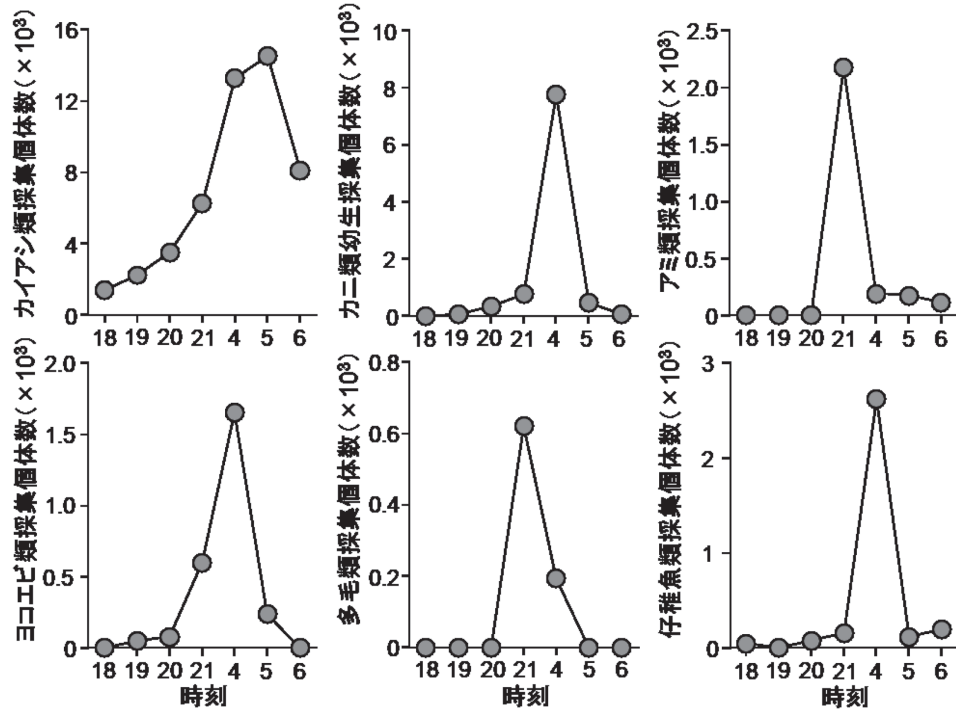


図4. 古満目における照明下での餌生物6種の時間別採集個体数(個体数/網)の変化(6月23~24日)

表1. 薄井における餌生物種の時間帯別採集個体数の変化(個体数/網)

採集時刻	カイアシ類	カニ類幼生	ヨコエビ類	仔稚魚類
17:00	215	0	0	0
20:00	1033	233	100	192
6:00	280	20	10	0
20:00*	720	11	44	0

*非照明区

餌生物試験は2017年2月4日~2月5日にかけて実施した

は少なかった。20時に採取された仔稚魚類(カサゴ)の胃内容物にはカイアシ類が認められた。薄井での調査中、アミ類や多毛類の出現は認められなかった。

電照試験とカタクチワシの成長との関係 古満目での小規模試験において、水温は23℃台から緩やかに上昇し、実験13日目(7月15日)には日中の最高水温が26℃台に達した(図5)。しかし、台風の影響により実験14~15日目(7月16~17日)に水温が一時的に23℃台まで低下したが、その後26℃台へ急速に上昇した。実験期間中(21日間)、荒天による影響で給餌は13日間に留まり、実験終了前4日間は無給餌であった。実験終了時における照明区と非照明区の全長は実験開始時に比べて大きくなるとともに(図6)、照明区は非照明区に比べて全長で約1.1倍大きかった。照明区の肥満度は実験開始時および非照明区よりも高かったが、非照明区の肥満度は実験開始時とほぼ類似した。実験終了時の生残率は照明区が39%、非照明区が26%であると推定された。胃内容物重量指数(%、平均±標準偏差)について、照明区では 1.43 ± 1.61 ($n = 25$)、非照明区では 0.23 ± 0.07

($n = 25$)であり、照明区は非照明区に比べて約6.3倍高かった(U -test, $p < 0.001$)。照明区の個体の胃にはカイアシ類、アミ類、ヨコエビ類、仔稚魚類などが認められたが、非照明区の個体はほぼ空胃であり、一部の個体において海草の断片やウミホタルなどが観察された。

薄井での大規模試験について、一日の平均水温は13.7~14.1℃で推移し、荒天などによる無給餌日はなかった(図5)。標本の全長組成から、実験開始時、実験終了時の照明区および非照明区のいずれにおいても全長約95mmと約140mmにそれぞれモードを持つ二峰性のガウス曲線が選択された(図7)。このため、全長120mmを境界サイズとみなし、小型群(>120mm)と大型群(≤ 120 mm)の肥満度を区画間で比較した(図8)。小型群では、照明区の肥満度は実験開始時および非照明区の肥満度よりも高かったが、非照明区の肥満度は実験開始時の肥満度とほぼ類似した。大型群では、照明区の肥満度は実験開始時の肥満度とほぼ類似したが、非照明区の肥満度は実験開始時および照明区よりも低い傾向が認められた。試験終了時の推定生残率は照明区では59%、非照明区では52%であった。

考 察

本研究では、海面網生簀でのカタクチイワシ蓄養技術を向上させるための基礎知見として、電力自給システムを利用した夜間電照によるカタクチイワシの蓄養試験を古満目および薄井にて実施した。その結果、開発した電

力自給システムによる電力供給は実験期間中の日射量に拘わらず停止することはなく、指定した時間にLED球が点灯・消灯していたことが確認された。さらに、海域、実施時期、収容尾数、標本のサイズ組成など、異なる条件下であったにも拘わらず、照明区の標本は非照明区に比べて体サイズが大きく、生残率も高かった。この結果は、マダラやハタハタの先行研究（森岡2002, 荒井ら2006）と一致しており、陸上からの電力供給が困難な海面網生簀におけるカタクチイワシの蓄養においても、本システムを利用した夜間電照の有効性が初めて明らかになった。

古満目の餌生物試験では、いずれの生物種も日没後の20時から採集個体数が急激に増加し、21時または4時において最大となったが、日出直後の5時および6時には激減した。このような傾向は薄井でも同様であり、夜間電照によりカタクチイワシの餌となり得る多くの生物種を光源直下に蝟集させられることが判明した。古満目および薄井ともに、カイアシ類は調査した生物種の中で採集個体数が最も多く、電照により蝟集した仔魚の胃の中にもカイアシ類が認められた。天然カイアシ類はワムシやアルテミアなどの人工生産餌料に比べて栄養価が高いことが知られており、養殖対象魚種の育成に有用であることが示されている（松成ら2003, Rajkumar and Kumaraguru 2006）。また、カイアシ類よりも高次であるアミ類、ヨコエビ類、仔稚魚類などについても、電照による蝟集効果により、カタクチイワシがそれらを摂食していることが古満目の電照試験終了時に確認された。これはカタクチイワシが生息環境の餌生物の出現状況に応じて柔軟に餌を摂食していることに起因しているためだと考えられる（木立1969, 陣之内1970, 山本・片山2015）。一方、出現する餌生物の種類や密度は海域や季節などによって大きく変化することが予測されるため

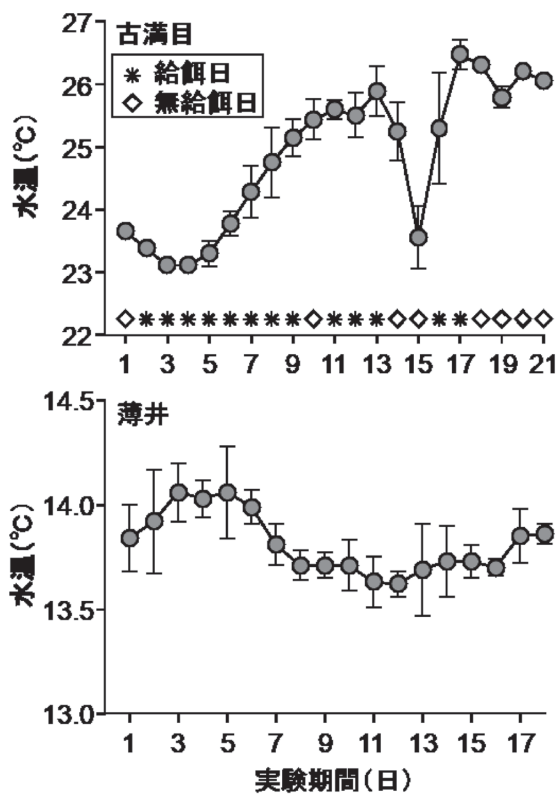


図5. 実験期間中における古満目(7月3日～7月23日)と薄井(2月15日～3月4日)の水温変化と配合飼料の給餌記録
薄井では実験期間中毎日配合飼料を給餌した
エラーバーは標準偏差を示す

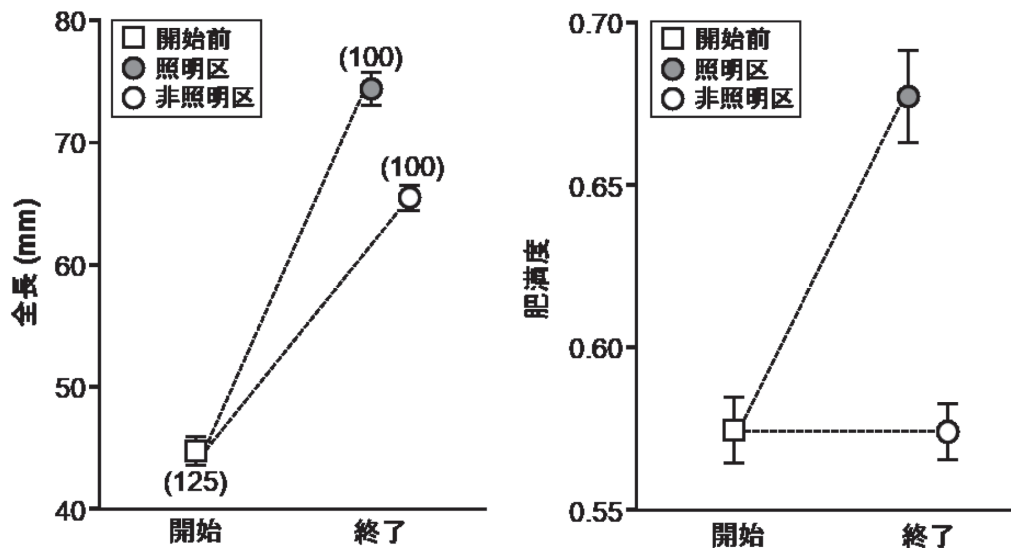


図6. 古満目での実験開始時および終了時の照明区と非照明区の全長と肥満度
括弧内の数字は個体数、エラーバーは95%信頼区間を示す

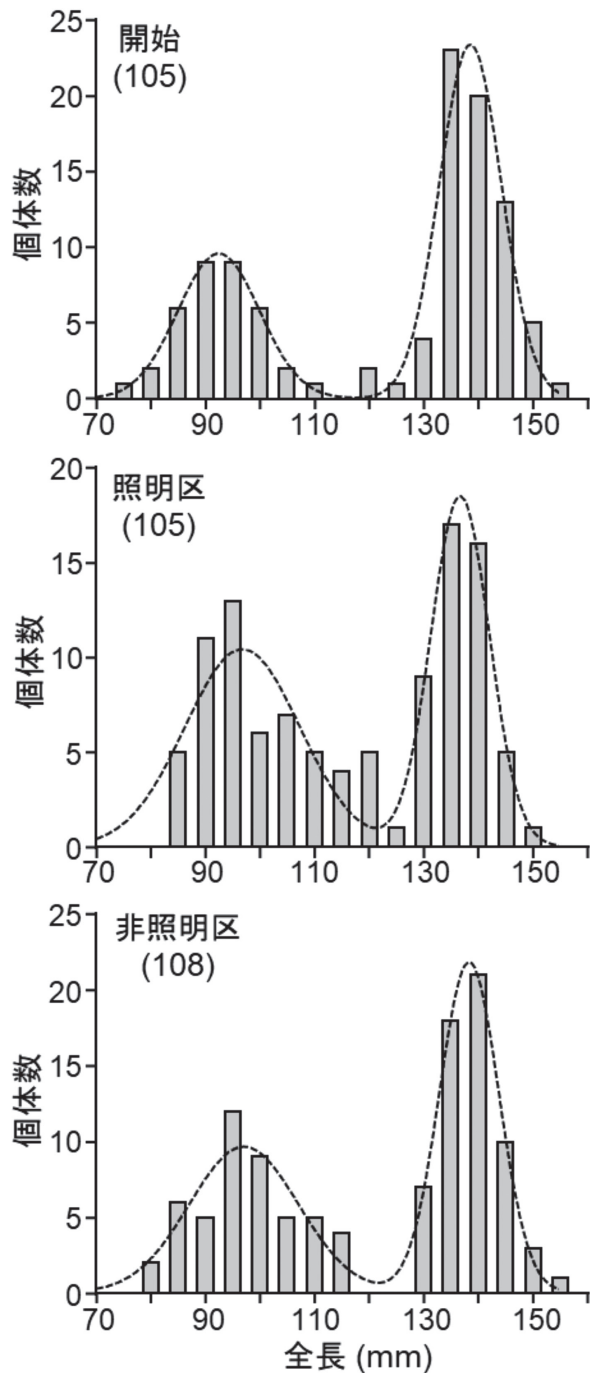


図7. 薄井における実験開始時および終了時の照明区と非照明区の全長組成
点線はガウス分布を当てはめた推定曲線、括弧内の数値は個体数を示す

(田中1981, Saigusa and Oishi 1998), 夜間電照を利用したカタクチイワシの蓄養には事前の現場調査によりその出現傾向を把握しておくことが必要であろう。

古満目での電照試験では、実験終了時の全長および肥満度において差異が認められ、いずれも照明区が非照明区よりも大きく、また、非照明区の肥満度は実験開始時と類似していた。全21日間の実験期間中、荒天や台風の影響により、配合飼料の給餌が13日間に留まり、実験終了前4日間は無給餌であった。高水温下における無

給餌条件はカタクチイワシの肥満度を急速に減少させてしまうことが知られていることから (Yoneda *et al.* 2014), このような給餌状況は両区画の標本の成長や生残において少なからず負の影響があったかもしれない。その一方で、実験終了時の胃内容物重量指数には区画間において有意な違いが認められ、照明区 ($1.43 \pm 1.61\%$) は非照明区 ($0.23 \pm 0.07\%$) よりも約6倍高かった。本州太平洋沿岸におけるカタクチイワシの摂餌量は体重の0.5~0.9%, 燧灘のカタクチイワシでは0.45~0.68%であることが報告されている (木立1969, 山本・片山2015)。本試験での胃内容物調査は実験終了時のみ実施したものであるが、照明区の胃内容物重量指数はこれら天然魚よりも高いこと、カイアシ類等の生物種が全ての個体の胃の中に認められたことなどから、荒天時においても電照に蝟集した生物種を餌として利用していたことが窺える。このような照明区と非照明区における餌利用状況の違いが、両者の体サイズや生残率の差異をもたらした主因ではないかと考えられた。

薄井での電照試験では、標本の全長組成が約95mmと約140mmにそれぞれモードを持つ二峰型を示したことから、全長120mmを境に小型群と大型群に区別した。九州北西岸のカタクチイワシは主に春と秋の発生群が存在していること、いずれの群も被鱗体長120mmで成長が鈍化し、140mmで停滞することが示されている (大下2006)。このことから、本試験で用いた標本は発生時期の異なる群が混在していたと考えられたため、サイズ別に標本の肥満度に基づいて夜間電照の影響を調べた。成長途中にある小型群では、実験終了時の照明区の肥満度は非照明区や実験開始時よりも高く、古満目での試験結果と一致した。一方、成長が鈍化・停滞した大型群では、実験終了時の照明区の肥満度は実験開始時と類似したが、非照明区の肥満度よりも高い傾向が認められた。薄井での餌生物試験からカイアシ類を含む餌生物の採集個体数は古満目よりも少なく、また電照試験では1区画の収容尾数が古満目の約5.7倍であった。さらに、カタクチイワシの水温実験から、低水温下では高水温下に比べて、体長当たりの体重の増加(肥満度)が抑えられることが報告されている (Yoneda *et al.* 2015)。これらのことは、冬季に実施した薄井の標本では、実験期間中の肥満度に及ぼす夜間電照の影響が夏季に実施した古満目に比べて小さくなる可能性を示唆している。しかしながら、実験終了時には大型・小型群においても区画間で肥満度に違いが認められたことから、薄井での大規模試験でも夜間電照による天然餌料の供給が標本の体サイズの増加や維持および生残率の向上をもたらしたのではないかと考えられた。

カツオ活餌魚供給基地では、終年にわたりカタクチイワシを供給している餌屋と漁期に応じて季節的あるいは臨時的に本種を供給している餌屋がある (小長谷1975)。特に、後者の餌屋は主に前者の餌屋からカタクチイワシ

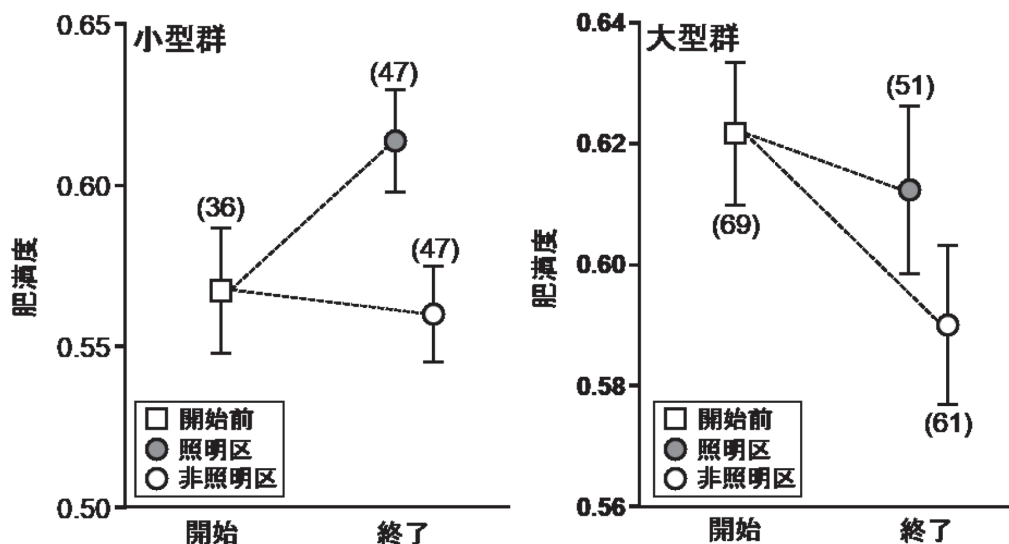


図8. 薄井での実験開始時および終了時の照明区と非照明区の肥満度
左図は小型群，右図は大型群，括弧内の数字は個体数，エラーバーは95%信頼区間を示す

を買い付け、運搬船を利用して水揚港の近隣にて蓄養することが知られている。このため、運搬時や蓄養中のカタクチイワシの維持・管理の効率化、省力化、低コスト化が喫緊の課題として挙げられてきた。今回使用した電力自給システムは、15万円程度と比較的廉価で設置可能であること、荒天時で給餌が困難な場合でも蓄養魚の速やかな成長が期待できることなどから、海面網生簀での蓄養における本システム導入のメリットは大きいと考えられる。一方、夜間の電照にカタクチイワシが群泳している様子は、サギ科の水鳥やカワウなどを引き寄せる可能性があるため、照明設置の際には小割網に防鳥ネットを設置する必要がある。また、これら水鳥の糞害によって太陽光パネルの発電量が低下することも想定されることから、電力自給システムについても水鳥を遠ざける対策が必要であろう。以上のことから、電力自給システムを利用した夜間電照は、海面網生簀におけるカタクチイワシの育成に有効であると考えられ、今後の現場での適用が期待される。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、多大なご協力を賜った(株)山崎技研の坂本志奈子氏、(有)水口松夫水産の水口和広氏、鹿児島県東町漁協の職員の皆様に厚く御礼申し上げます。調査や計測に御協力いただいた国立研究開発法人水産研究・教育機構開発調査センターの木村拓人氏、佐藤晴朗氏、高知県水産振興部水産試験場渡辺 貢氏にお礼申し上げます。また、調査全般の調整に関しては、同機構開発調査センター所長の福田安男氏(現所属全国漁業調査取締船事業協同組合)、同機構開発調査センター事業推進役の小河道生氏(現所属水産業・漁村活性化推進機構)にご協力いただいた。本研究は、海洋水産資源

開発事業(近海かつお釣(九州周辺~三陸沖周辺海域))(平成27年度~平成28年度)の一環として実施した。関係各位に謝意を表する。

文 献

- 荒井大介・友田 努・森岡泰三(2006)天然プランクトンを利用した海上網生簀によるマダラ *Gadus macrocephalus* 仔稚魚の飼育。水産増殖, **54**, 409-410.
- Awaiwanont K, Gunarso W, Sameshima M, Hayashi S, Kawamura G (2001) Grouped, stacked rods and tapeta lucida in the retina of Japanese anchovy *Engraulis japonicus*. *Fish. Sci.*, **67**, 804-810.
- 藤井徹生・島 康洋・太田健吾・高橋 誠・山田徹生・米田道夫・河野悌昌・町口裕二・濱田和久・三輪 理・釜石 隆(2015)餌料用カタクチイワシの安定供給システムの開発に関する調査。平成25年度 海洋水産資源開発事業報告書(遠洋かつお釣(太平洋中・西武海域)), 国立研究開発法人水産総合研究センター開発調査センター, 神奈川, pp.25-44.
- 伊加 聖・宮崎政宏(2003)平成14年度海洋水産資源利用合理化開発事業[かつお釣: 太平洋中・西部海域]。海洋水産資源開発センター, 東京, pp.42-48.
- 井上 実(1978)魚の行動と漁法。恒社厚生閣, 東京, 211 p.
- 陣之内征龍(1970)冠水時の干潟域に出現する水産動物についてII 食性。山口県内海水試報, **29**, 36-45.
- 木立 孝(1969)本州太平洋系群カタクチイワシの食性について。東海区漁場海況概報, **38**, 38-45.
- 小長谷輝夫(1975)II. 餌料問題3. 活魚餌の供給と輸送。「南保カツオ漁業-その資源と技術」(日本水産学会編), 恒社厚生閣, 東京, pp.46-62.
- Kondrashev SL, Gnyubkina VP, Zueva LV (2012) Structure and spectral sensitivity of photoreceptors of two anchovy species: *Engraulis japonicus* and *Engraulis encrasicolus*. *Vision Res.*, **68**, 19-27.

- 黒坂浩平・櫻井正輝・日高浩一・保尊 脩・小田憲太郎・佐谷守明・廣瀬太郎・小河道生（2017）平成27年度海洋水産資源開発事業報告書（近海かつお釣〈九州周辺～三陸沖周辺海域〉）. 国立研究開発法人水産研究・教育機構開発調査センター, 神奈川, pp.119-121.
- 松田圭史・橋本 博・木村拓人・伏島一平・増田賢嗣・神保忠雄・今泉 均（2014）餌料の違いがカタクチイワシの親魚養成と産卵成績, 仔魚に及ぼす影響. 水産技術, **6**, 139-146.
- 松成宏之, 竹内俊郎, 村田裕子, 高橋 誠, 石橋矩久, 中田 久, 荒川敏久（2003）人工種苗生産ブリ仔稚魚におけるタウリン含量の変化および天然稚魚との比較. 日水誌, **69**, 757-762.
- 森岡泰三（2002）プランクトン蝟集ランプを設置した海面網生簀におけるハタハタ稚仔魚の食性. 日水誌, **68**, 526-533.
- 大美博昭・有山啓之・日下部敬之・辻村浩隆（2007）大阪湾南部の石積傾斜護岸において灯火に蝟集した魚類幼稚仔. 大阪水試研報, **17**, 9-17.
- 大下誠二（2009）九州北西岸におけるカタクチイワシの生物特性に関する研究. 日本海ブロック資源研究会報告, pp.51-60.
- Rajkumar M, Kumaraguru vasagam KP (2006) Suitability of the copepod, *Acartia clausi* as a live feed for seabass larvae (*Lates calcarifer* Bloch) : Compared to traditional live-food organisms with special emphasis on the nutritional value. *Aquaculture*, **261**, 649-658.
- Saigusa M, Oishi K (1998) Patterns of emergence in marine invertebrates: on the influence of a field light. *Benthos Res.*, **53**, 95-104.
- 田中 克（1981）海産仔魚の摂餌と生残-IV. 天然海域における餌生物の密度. 海洋と生物, **15**, 293-299.
- 鶴田義成（1992）カタクチイワシの成熟・産卵と再生産力の調節に関する研究. 水工研報, **13**, 129-168.
- 山下秀幸・横田耕介・笹尾 信（2011）近海かつお一本釣り漁業におけるカタクチイワシ活餌の代用餌としてのサバヒューの可能性: 比較操業試験による漁獲効率の評価. 日水誌, **77**, 902-904.
- 山本昌幸・片山知史（2012）1995年の瀬戸内海燧灘東部におけるカタクチイワシとマイワシの食性の比較. 水産海洋研究, **76**, 66-76.
- Yoneda M, Kitano H, Tanaka H, Kawamura K, Selvaraj S, Ohshimo S, Matsuyama M, Shimizu A (2014) Temperature- and income resource availability- mediated variation in reproductive investment in a multiple-batch-spawning Japanese anchovy. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **516**, 251-262.
- Yoneda M, Yamamoto M, Yamada T, Takahashi M, Shima Y (2015) Temperature-induced variation in sexual maturation of Japanese anchovy *Engraulis japonicus*. *J. Mar. Biol. Assoc. UK.*, **95**, 1271-1276.
- 若林良和（2004）カツオの産業と文化. 成山堂書店, 東京, 188p.