

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 1 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450277

研究課題名(和文)人工光影響下におけるツツイカ目イカ類の摂餌集群説の検証

研究課題名(英文) Verification of hypotheses that Teuthida squids gather to artificial light for feeding

研究代表者

松下 吉樹 (MATSUSHITA, Yoshiki)

長崎大学・水産・環境科学総合研究科(水産)・教授

研究者番号：30372072

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：集魚灯を点灯中の生物群集の分布と密度を調べ、同時にツツイカ類(以降、イカ)の胃内容物を特定することで摂餌集群説を検討した。

集魚灯周囲の動物プランクトンにはカイアシ類と端脚類が多かった。イカの空胃率は日没から深夜にかけて高くなる傾向があった。19個体の胃内容物のDNAから、共食いの他、イワシ類、マルソウダやマハタなどが特定された。以西底曳網漁業により漁獲されたイカの胃内容物は底魚類であった。イカは分布水深に生息した生物を日和見的に捕食していることが推測された。イワシ類などは動物プランクトンを捕食するために集魚灯に蟄集した可能性があるため、複数の食段階を含んだ摂餌集群の可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：We verified the hypothesis that squid attract the artificial light source to feed organisms, in addition to a conventional hypothesis due to photo taxis. For this purpose, we conducted a field survey in Tsushima Strait. We sampled zoo plankton that distributed around the light source by net tows with time intervals. We also sampled 251 individuals of swordtip squid *Loligo edulis* by jigging and observed those stomach contents. Copepod and amphipod were most sampled but they were not observed in stomach contents. From DNA analysis of stomach contents, we identified they ate squids, sardines and some other fish species. We also conducted DNA analysis for squid captured by bottom trawl fishing and found that squid mostly ate demersal species in this case. We consider that squid showed an opportunistic feeding behavior that they ate most accessible organisms (e.g. fish attracted around the light).

研究分野：漁業生産工学

キーワード：光 イカ類 蟄集 餌生物 胃内容物 DNA

### 1. 研究開始当初の背景

近年、イカを対象とした漁業が注目されている。その理由は、これまで利用されてきた漁業資源の減少を考慮した場合に代替種となる豊富な資源量が考えられることと、高品質の蛋白質を含んでいることによる (Caddy, 1983; Roper et al., 1984)。

イカは持続的な利用が期待できる数少ない水産資源であるが、その漁獲方法には問題がある。日本や韓国、台湾など東アジアの漁業国はイカが光に集まる特性を利用して、光源を装備した船の周囲に集まったイカを疑似餌で釣り上げるイカ釣り漁業でスルメイカやケンサキイカ、ヤリイカなどを漁獲している。この漁業では、かつては数 kW の電力によってイカを集魚していたが、強い光がより多くの漁獲に結びつくと思われた結果、現在では大電力を発電して、光源を点灯している。この発電による化石燃料の消費量は非常に大きく、温室効果ガスの排出源として問題視されるとともに、燃油価格の高騰ともなって漁業経営の持続性が懸念されている。

こうした環境と産業の持続性に関する問題に対応して、数々の省エネ技術の開発が水産業においても行われており、イカ釣り漁業では発光ダイオードを用いて小電力でイカの集魚に有効な波長域の光を放射することで、化石燃料消費の削減をはかる研究開発が盛んに行われているが、実はその基礎となっている研究仮説は頑健なものではないと提案者は考えた。

### 2. 研究の目的

本研究では、光刺激に対するイカの反応行動と定位という従来の研究仮説を否定はしないものの、これに加えて摂餌集群説の検証を行うものである。暗条件の海中に光源が点灯されることにより、イカ以外の生物も、光源の方向を認識して正負のいずれかの走光性を発現し、ある方向に移動する光刺激への反応行動を行うとともに、分布と密度が変化した他の生物をイカが捕食するために移動することが考えられる。このようにイカの光源周囲への集魚は、光刺激が影響する範囲（以降、水塊）の生態系における生物の分布と密度が変化したことに起因する可能性も考えられる。本研究では、この局所的な生態系の変化を明らかにし、イカの光刺激に対する直接的な反応だけでは説明が困難である、イカの集魚灯への集魚機構を合理的に説明しようとするものである。

### 3. 研究の方法

本研究は対馬海峡におけるイカ釣り漁業を対象に実施する。集魚灯を点灯する前後に、継続して周囲の生物群集の分布と密度をプランクトンネット採集と計量魚群探知機を用いた調査によって把握した。同時に漁獲したケンサキイカを経時的に採集して、胃内容

物の量と質を評価した。胃内容物は研究室においてソーティング、検鏡を行うとともに、mtDNA 解析により目視観察で不明な生物種の同定と定量化を目指した。こうしたフィールド調査と分子生物学的検討を行うことで、イカが船上の光源に集まる現象における船周囲の生物群集の影響の度合いを明らかにして摂餌集群説を検証した。

### 4. 研究成果

集魚灯光源の配光特性、空中での減衰、水面での反射・屈折、水中での散乱・減衰等を考慮した光学モデルを開発した (下図)。そして集魚灯光の計測を屋内水槽および野外セミフィールドにおいて実施して、実測値とモデルからの推定値との平均二乗誤差 (RMSE) の値によりモデルを評価した。

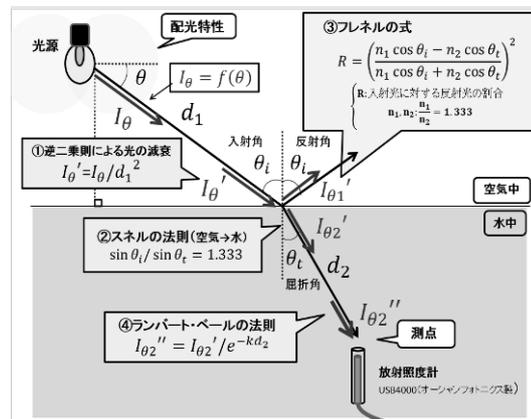


図. 任意の水中の放射照度を推定する光学モデルの概要

日本海西部海域で漁獲されたケンサキイカを用いて、胃内容物の同定、mtDNA 解析が可能で漁業の現場で適用可能な保存方法を検討した結果 EDTA に浸漬したのちに氷蔵する方法が、種同定が可能な数万塩基対の DNA を最も回収できた。

対馬海峡において人工光影響下の水中の生物群集の変化を調べるために、日没から日出までの間に LED 船上灯を点灯し、プランクトンネットによる動物プランクトン採集と音響機器による浮魚探査を 4 夜実施した。光源の周囲に分布した動物プランクトンはカイアシ類が大半を占め、端脚類が次に多かった。また、バッチ状に分布したヤコウチュウの影響を受ける場合もあった。動物プランクトン量の増減と時間帯には規則性は見られなかったが、光源点灯とともに増加する傾向はあった。

上記の集魚灯点灯中に疑似餌で釣獲したケンサキイカ 251 個体を船上にて即座に解剖して胃を摘出した。空胃率は時間帯によって異なり、日没から深夜にかけて高くなる傾向が認められた。胃内容物は消化が進み、目視での種同定はできなかった。そこで 19 個体の胃内容物から DNA の精製を試みた。その結果、ケンサキイカの胃内容物からはケンサ

キイカ（共食い）の他，スルメイカやイワシ類が特定された（表1）。また，マルソウダやマハタなど，成魚であればケンサキイカより食段階が上位と考えられる種も特定された。同様に以西底曳網漁業により東シナ海海底付近で漁獲されたケンサキイカの胃内容物も調べたところ，ケンサキイカに加えてエソ類やカイワリなどの底魚類が特定された（表2）。

表1．集魚灯下で釣獲されたケンサキイカの胃内容物のDNA分析による種同定結果

ID No	Description	Total score	E value
1	ケンサキイカ	848	0.0
2	ケンサキイカ	863	0.0
3	ケンサキイカ	846	0.0
4	ウルメイワシ	767	0.0
5	マルソウダ	754	0.0
6	サイウオ科	202	1.00E-48
7	ゴマハゼ	311	4.00E-81
8	ハダカエソ	721	0.00E+00
9	バクテリア	267	9.00E-68
9	ヒレアナゴ	534	3.00E-148
10	バクテリア	880	0.00E+00
11	マツバダコ	110	4.00E-21
12	マハタ	859	0.00E+00
12	バクテリア	446	1.00E-121
13	カタクチイワシ	819	0.00E+00
14	バクテリア	575	2.00E-160
14	ヒト	699	0.00E+00
15	ウルメイワシ	918	0.00E+00
15	バクテリア	691	0.00E+00
16	カタクチイワシ	340	6.00E-90
17	クエ	833	0.00E+00
18	スルメイカ	811	0.00E+00
19	ミミイカ	547	5.00E-165

表2．以西底曳網漁業で漁獲されたケンサキイカの胃内容物のDNA分析による種同定結果

ID No	Description	Total score	E value
1	バクテリア	195	1.00E-46
1	エゾヒトデ	104	4.00E-19

2	ホウボウ	684	0.0
3	オキイワシ	749	0.0
4	ツバメコノシロ	390	8.00E-105
5	アカエソ	392	2.00E-105
6	アカタチウオ	494	6.00E-136
6	チョウセンブナ	545	2.00E-151
7	ホソトビウオ	708	0.00E+00
8	ケンサキイカ	592	2.00E-165
9	ケンサキイカ	865	0.00E+00
10	カイワリ	950	0.00E+00
10	ヒト	275	4.00E-65
10	ホソトビウオ	761	0.00E+00

以上のことよりケンサキイカの胃からは人工光影響下の水中で多く見られた動物プランクトンは観察されず，高次の生物が特定された。また特定された生物は漁獲された水深帯に生息する生物が多かった。こうしたことよりケンサキイカは分布水深に生息した生物を日和見的に捕食していることが推測された。イワシ類やイカ類は人工光に蝟集することが知られているので，集魚灯下で密度が高くなったこれらの生物を日和見的に捕食した結果が胃内容物の分析結果に反映された可能性がある。また，特定された魚類のうち，イワシ類などの魚類は動物プランクトンを捕食するために集魚灯に蝟集した可能性があるため，ツツイカ類は複数の食段階を含んだ摂餌集団を行っている可能性が残された。こうした仮説の検証を今後は行っていく。

#### 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3件）

- (1) 松下吉樹，小型イカ釣り漁船のエネルギー収支，水産工学 査読有，52, 189～195(2016)
- (2) 串崎 康文，松下吉樹，いか釣り漁業の合理化について—漁業の現場から—，水産工学 査読有，52, 227～231(2016)
- (3) Masuda, D., S. Kai, N. Yamamoto, Y. Matsushita, P. Suuronen: The effect of lunar cycle, tidal condition and wind direction on the catches and profitability of Japanese common squid *Todarodes pacificus* jigging and trap-net fishing. Fisheries Science 査読有, 80(6), 1145-1157(2014)

DOI: 10.1007/s12562-014-0799-6

〔学会発表〕（計4件）

松下吉樹, 漁業技術としての光, 照明学会全国大会光放射応用分科会シンポジウム, 2016年8月31日, 日本大学工学部駿河台キャンパス(東京都千代田区)

松下吉樹, 小型イカ釣り漁船のエネルギー収支, 平成27年日本水産工学会春季シンポジウム, 2015年5月31日, 長崎大学(長崎県長崎市)

松下吉樹, 眞角聡, 清水健一, 舛田大作, 水田浩二, 古原和明, 近接して集魚灯を点灯する漁船間の水中の光量子束密度分布の変化, 平成26年度日本水産工学会学術講演会, 2014年6月1日, 銚子市商工会館(千葉県銚子市)

D. Masuda, M. Maeda, S. Kai, Y. Sasamoto, Y. Yanagino, K. Furukawa, Y. Matsushita, Application of low-power underwater light to a large-scale trapnet fishery. Sonar observation and tagging experiment, FAO-ICES FTFB, 2014年5月5日~9日, New Bedford市(米国)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松下 吉樹 (MATSUSHITA, Yoshiki)  
長崎大学・水産・環境科学総合研究科(水産)・教授  
研究者番号: 30372072

### (2) 研究分担者

菅 向志郎 (SUGA, Koushirou)  
長崎大学・水産・環境科学総合研究科(水産)・准教授  
研究者番号: 60569185

清水 健一 (SHIMIZU, Ken-ichi)  
長崎大学・水産・環境科学総合研究科(水産)・准教授  
研究者番号: 20533946

Application of low-power underwater light to a large-scale trapnet fishery. Sonar observation and tagging experiment