

1 タイトル：配光特性を調整した水中灯を装備する沿岸小型イカ釣り漁船の漁獲
2 解析

3 ランニングタイトル：水中灯を用いた沿岸イカ釣りの漁獲解析

4

5 舂田大作, ^{*1a} 甲斐修也, ¹ 前川英樹, ^{1b} 山下由起子, ² 松下吉樹²

6

7 ¹ 長崎県総合水産試験場, ² 長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科

8

9 Catch Performance of Coastal Squid Jigging Boats equipped with Underwater Lamps
10 having the Shading Structure

11

12 DAISAKU MASUDA, ^{*1a} SYUYA KAI, ¹ HIDEKI MAEKAWA, ^{1b} YUKIKO YAMASHITA
13 ² AND YOSHIKI MATSUSHITA²

14

15 ¹ *Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries, Taira, Nagasaki, 851-2213*, ² *Graduate*
16 *School of Fisheries Science and Environmental Studies, Bunkyo, Nagasaki University,*
17 *Nagasaki, 852-8521, Japan*

18

19 *Tel: 81-95- 850-6308. Fax: 81-95- 850-6346. Email:

20 masuda-daisaku@pref.nagasaki.lg.jp

21 a 現所属：長崎県対馬振興局 対馬水産業普及指導センター(Tsushima Fisheries
22 Extension Center, Nagasaki Prefecture Tsushima Regional Office, Tsushima, Nagasaki,
23 817-0342, Japan)

24 b 現所属：長崎県水産部漁港漁場課(Fishing Harbors & Grounds Division, Fisheries
25 Department, Nagasaki Prefectural Government, Edo, Nagasaki, 850-8570, Japan)

26

和文要旨

配光特性を調整した水中灯を装備する沿岸小型イカ釣り漁船の漁獲解析

舩田大作, 甲斐修也, 前川英樹 (長崎水試), 山下由起子, 松下吉樹 (長大院水環)

イカ釣り集魚灯への水中灯導入の可能性を検討するために, 長崎県壱岐北部海域において, 沿岸の小型イカ釣り船に水中灯を装備して漁獲試験を行った。2隻の同日の漁獲量を比較したところ, 水中灯船の漁獲量は対照とした船上灯船よりも有意に低くなった。しかし, 一般化線形モデルの解析では, 漁獲量は資源量, 月齢と潮汐, イルカの出現, 風向で説明され, 水中灯は漁獲に有意な影響を及ぼさなかった。

キーワード: イカ釣り, 一般化線形モデル, イルカ, 月齢, 水中灯, スルメイカ, 潮汐, 風向

1 **Abstract**

2

3 This study aimed to examine the possibility of using underwater lamps in a coastal
4 squid jigging fishery. Fishing trials were carried out in the periods during 2009 to 2011
5 using coastal squid jigging boats (6.4-6.6 ton) equipped with an underwater lamp
6 apparatus with a shade to create high/low light intensity fields in the water column.
7 The catch amount of the squid jigging boat with the underwater lamp apparatus
8 (experimental boat) was compared with the catch of the control boat equipping with
9 conventional surface lamps, which simultaneously operated in the same water. The
10 catch amount of the experimental boat was significantly less than the catch of the
11 control boat ($p < 0.05$). However, catch amounts were expressed by squid abundance,
12 lunar phase, tide, presence of dolphins and wind direction, and the effect of using the
13 underwater lamp apparatus was insignificant in the generalized linear modeling
14 analysis. Thus, underwater lamps did not increase squid catch, but was considered
15 applicable in controlling the depth of squid aggregation by changing the depth of
16 underwater lamps.

1 長崎県では、沿岸に来遊してくるスルメイカ *Todarodes Pacificus*, ケンサキイ
2 カ *Photololigo edulis* 等を古くから沿岸のイカ釣りや定置網で漁獲しており,¹⁾
3 現在もイカ釣りや定置網は沿岸水域における主要な漁業である。また、頭足類
4 (主としてイカ類)は、これまで海洋資源として利用されてきた多くの魚介類
5 の資源が減少に転じる中、近年、それらの減少した資源を補完する海洋資源と
6 して世界的に注目されている。²⁾

7 イカ釣り漁業は、夜間に船上の集魚灯を点灯することでイカを集魚し、擬餌
8 針を用いて選択的に漁獲する。集魚灯の光源には、明治後期から大正時代にか
9 けては石油灯やアセチレン灯が、1950年代以降には漁船の動力化とともに電力
10 を容易に得ることが可能となったことから白熱灯が使われ、近年では放電灯の
11 一種であるメタルハライド灯が多用されている。こうした光源の変化とともに、
12 集魚灯の光が強いほど漁船周囲にイカが集まり、漁獲量が増加すると考えられ
13 た結果、イカ釣り漁船間の光力競争は激化し、1960年代には、数 kW であった
14 消費電力は1990年頃には300 kW を超えるまでに増大した。³⁾長崎県では現在、
15 資源の保護、経営安定を図るという観点から、5トン以上30トン未満の漁船が
16 行う小型イカ釣り漁業を許可漁業とし、集魚灯の消費電力、操業海域、期間な
17 どを制限している。更に、5トン未満のイカ釣り漁船に対しても、漁業法に基
18 づく漁業調整委員会指示によって同様の規制が設けられている。⁴⁾このように
19 集魚灯の消費電力の上限を設定しても、現在のイカ釣り漁業の燃油消費量は依
20 然として多く、^{5,6)}近年の燃油高騰によって経営が悪化している。また、地球温
21 暖化対策や世界的な原油需要の高まりによる代替エネルギー開発の情勢を考慮
22 すると、化石燃料に対する依存度を下げる必要性は増しており、省エネルギー
23 技術の開発と普及は重要な課題になっている。そこで操業中の省エネルギー策
24 として、発光ダイオード (Light Emitting Diode, 以降、LED と呼ぶ) を用いた
25 集魚灯の実用化試験が進められている。⁷⁻⁹⁾しかしながら、省エネルギーのた

1 めには、光源をメタルハライドから LED に変更するだけでなく、光源の特性
2 に応じて配光も検討することが望ましい。

3 集魚灯を点灯するイカ釣り漁船からある程度離れた低照度域に分布するイカ
4 は、光刺激を感知して光源方向へと移動し、次に船周辺では高照度域を避けな
5 がら船体の影となる低照度域で滞留するという仮説が四方ら¹⁰⁾により報告さ
6 れている。本研究でもこの仮説をもとに集魚灯設備とその配置の検討を行った。
7 現在船上灯として用いられているメタルハライド灯は、一般的に全方位に拡散
8 する配光特性を持つので、光がすべて海面方向に照射されているわけではなく、
9 さらに海面方向に照射された光も水中に入射する際に海面で散乱・反射するの
10 で、船上灯から放射された光は一部しか水中まで届かない。¹¹⁾一方、水中灯の
11 光は減衰の激しい水中で直接光を照射するため、船上灯に比べると、船から遠
12 く離れた位置の個体にまで光を届けられないものの、海面による光の散乱・反
13 射がなくなる分、漁船周辺の高照度域を避け、漁船直下でイカの釣獲深度に分
14 布するイカには出力が小さくとも効率的に光を届けることが期待できる。すな
15 わち、夜間のイカ釣り操業に水中灯を使用することで、漁船周辺の高照度域を
16 これまでよりも小さな電力でつくりだし、更に水中灯の一部に影を付け、低照
17 度域をつくることにより、イカ釣り集魚灯の省電力化が期待できる。そこで本
18 研究においては、水中灯に海底方向へ照射する光を遮断して水中灯より下の方
19 向に影をつくり出す構造の付加を考えた（以降、水中灯と灯具をあわせて水中
20 灯と呼ぶ）。すなわち、船から離れた位置に分布するイカに対しては、光の拡散、
21 反射、散乱などが影響するものの、水中灯よりも光を遠くまで届けることがで
22 きる船上灯を利用し、船の周囲に集まったイカに対しては、水面による反射と
23 散乱がなく、漁船周辺の高照度域と漁船直下の低照度域をつくり出す水中灯を
24 組み合わせた集魚灯配置を考案した。

25 この水中灯のイカ釣りへの導入の可能性を明らかにすることを目的に水中灯

1 の有無について比較操業試験を行い、得られたデータを一般化線形モデル
2 (Generalized Linear Models, GLM) を用いて解析することで、水中灯使用の有
3 無が漁獲に与える影響を示す。

4

5

材料および方法

6

7 **漁獲試験** スルメイカを対象とした漁獲試験を Fig. 1 に示す長崎県壱岐北部海
8 域で、2009年2月17日～3月26日(2009試験)、2010年1月18日～3月25
9 日(2010試験)、2011年1月12日～2月10日(2011試験)の3つの期間に行
10 った。操業回数(1操業は夕方から翌朝まで)は、2009試験は23回、2010試
11 験は30回、2011試験は22回であった。

Fig. 1

12 漁獲試験には、Table 1 に示す勝本町漁業協同組合所属のイカ釣り漁船2隻を
13 用いた。1隻は、水中灯(メタルハライド(MH) 6 kW または青緑色 LED 2 kW、
14 株式会社拓洋理研製、試験年で異なる、Table 2) と船上灯(MH 9～39 kW また
15 は MH 0～24 kW と青色 LED 5.4 kW、高木網業株式会社製、試験年で異なる、
16 Table 2) を装備し、もう1隻は従来の船上灯(MH 45 kW) をそのまま使用し
17 た。以降では水中灯を装備した漁船を試験船、従来の船上灯を使用した漁船を
18 対照船と呼ぶ。漁獲試験は試験船と対照船が同時に操業を行い、漁獲量を比較
19 した(比較操業試験)。なお、試験船と対照船は、1海里離れた状態で操業開始
20 した。

Table 1

21 水中灯は、2つの光源を囲う鉄枠を有し、その一部を樹脂製遮光幕で覆うこ
22 とで海底方向への光を遮断した(Fig. 2)。この水中灯をイカ釣り漁船中央の深
23 度約5 m の位置に垂下して点灯した(Fig. 3)。

Fig. 2

Fig. 3

24 漁獲試験における試験船の集魚灯の組み合わせを Table 2 に示した。試験船の
25 集魚灯は、2009試験と2010試験では水中灯と船上灯を同時に点灯し、2011

Table 2

1 試験ではイカ釣り操業前半には船上灯のみを点灯し、操業後半に青色 LED 船上
2 灯と水中灯を点灯した。また、各試験において、水中灯の光源には、前半に
3 MH、後半に青緑色 LED を使用した。対照船については、全ての操業において
4 船上灯 (MH 45 kW) を全て点灯した。

5 **データ解析** 比較操業試験の 75 操業分のデータに関して、試験船と対照船の
6 集魚灯の点灯条件の違いによるスルメイカの日々の漁獲量には差がないという
7 仮説を Wilcoxon signed-rank test により有意水準 5% で検討した。

8 一方、イカ釣り漁業における漁獲には、集魚灯の出力や光源の種類だけでは
9 なく、様々の環境要因が影響することが知られている。¹²⁾ そこで比較試験操業
10 におけるこれらの影響と水中灯の効果を区別して評価するために GLM 解析を
11 行った。比較操業試験における漁獲量 (箱数) には大きな分散が認められたた
12 め、モデルには、標本の平均とは独立に分散も自由に指定できる負の二項分布
13 を採用^{13,14)} した。ここでは、漁獲の期待値 $E(C)$ と分散 $\text{var}(C)$ は以下の (1,2)
14 式で表される。

$$15 \quad E(C) = \mu \quad (1)$$

$$16 \quad \text{var}(C) = \mu + \mu^2 / \theta \quad (2)$$

17 ただし、 $\mu (> 0)$ は平均値、 $\theta (> 0)$ は分散を決めるパラメータである。

18 まず、漁獲量 C は、イカ釣りの漁獲に影響を与える、漁場のイカ現存量や漁
19 具能率によって変化する要因 f と漁獲努力量 E を用いて次の (3) 式で表される
20 と仮定した。

$$21 \quad C = fE \quad (3)$$

22 本研究では、漁獲努力量 E を日々の操業時間 (h) とした。イカ釣りの漁獲に
23 与える要因 f には、集魚灯設備 (Boat)¹²⁾、操業した日の月齢 (Lunar)¹²⁾、潮
24 汐 (Tide)、風向 (Wind)、漁船周囲におけるイルカの出現 (Dolphin) と漁場の

1 イカの現存量 (N) を考慮した。日々の漁獲量は、上述の影響要因を組み入れ
2 た以下の log リンク関数のモデル式を仮定した。

$$\begin{aligned} 3 \quad \text{Ln}C &= \beta_0 + \beta_1 \text{Boat} + \beta_2 \text{Lunar} + \beta_3 \text{Tide} + \beta_4 (\text{Lunar} \times \text{Tide}) \\ 4 &+ \beta_5 \text{Dolphin} + \beta_6 \text{Wind} + \beta_7 N + \text{offset } E + \varepsilon \quad (4) \end{aligned}$$

5 ここで、試験船は、各試験において、前半は MH、後半は青緑色 LED 水中灯
6 を装備したので、それぞれの試験における水中灯の効果を比較するため、*Boat*
7 を試験ごとおよび水中灯の種類ごとに 6 つに分類した (2009MH, 2009LED,
8 2010MH, 2010LED, 2011MH, 2011LED)。また、対照船は、年ごとに異なる
9 漁船を使用したため、*Boat* を試験ごとに 3 つに分類した (2009, 2010, 2011)。
10 月齢 (*Lunar*) の影響として、満月の時期には、月明かりによって環境照度が高
11 くなることで、集魚灯の効果が低下することが考えられる。また月齢が異なる
12 と月の出現する時間帯も変化し、漁獲量に影響を与える可能性も考えられるの
13 で、*Lunar* を新月 (new), 上限半月 (half 1), 満月 (full), 下弦半月 (half 2)
14 の 4 つに分類した。潮汐 (*Tide*) は、大潮 (fast), 中潮 (medium), 小潮 (slow)
15 の 3 つに分類した。更に、潮汐の変動には月齢が影響することから、月齢と潮
16 汐の影響をそれぞれ単独に考えるとともに、交互作用としても考慮した。試験
17 船と対照船によるイルカ目撃情報 (*Dolphin*) と操業日の風向 (*Wind*) は、冬季
18 の壱岐北部海域におけるイカ釣りでは、イカ釣り操業中にイルカが出現した場
19 合や東方向の風の日には、イカの漁獲が低くなることを漁業者が指摘している
20 ので、それぞれ 2 つのカテゴリ変数 (*Dolphin* (presence, absence), *Wind* (east, west))
21 として影響を考慮した。なお、イルカ目撃情報は、操業中にイルカが出現した
22 場合には、船長がイルカの出現を操業日誌に記載しており、操業日誌からイル
23 カの出現の有無を確認した。操業日の風向については、気象庁長崎海洋気象台
24 芦辺観測所における気象データにより操業日の最多風向を求め、北北東～南方
25 向を east, 南南西～北を west とした。漁場のイカの現存量 (N) は、各年の月

1 ごとに異なるものと仮定し、7つのカテゴリ（2009 Feb, 2009 Mar, 2010 Jan, 2010
2 Feb, 2010 Mar, 2011 Jan, 2011Feb）に分類した。漁獲努力量（ E ）は、各操業に
3 おける操業時間である。今回の漁獲試験に用いた漁船は、イカ釣り機等の設備
4 が同規模であったので、努力量の指標とした。また、操業時間が長いほど漁獲
5 が増加すると考え、漁獲量 C が E と線形関係であることを示す offset 項として
6 モデルに組み入れた。また、 ε は、誤差項である。 $\beta_0 \sim \beta_7$ は、各説明変数のパラ
7 メータ推定値である。

8 一般化線形モデルの適用とパラメータの推定には、統計解析ソフト R
9 ver.2.12.1, MASS パッケージの `glm.nb` を用いた。モデルの採択には、null モデ
10 ルの状態から次第に説明変数を増やし、それぞれのモデルにおける AIC
11 （Akaike's information criterion）を算出し、最も小さな AIC の値を持つモデルを
12 選んだ。

13

14

14 結 果

15

16 **試験船と対照船の漁獲量比較** 2009～2011 試験の 1 日当たりの漁獲量は、2009
17 試験の試験船が 1～31 箱（平均 7.2 ± 71.88 SD）、対照船が 2～73 箱（平均 13.1
18 ± 337.63 SD）、2010 試験の試験船が 1～41 箱（平均 5.9 ± 76.02 SD）、対照
19 船が 1～95 箱（平均 11.3 ± 301.14 SD）、2011 試験の試験船が 1～74 箱（平均
20 21.9 ± 411.61 SD）、対照船が 1～98 箱（平均 25.9 ± 629.90 SD）であった
21 （Fig. 4）。3 期間における試験船の漁獲量は、対照船よりも有意に少なくなっ
22 た（Wilcoxon signed-rank test $p < 0.05$ ）。

Fig. 4

23 **沿岸イカ釣り漁獲モデル解析結果** 比較操業試験の 75 操業のデータを対象と
24 して、集魚灯条件のほか月齢、潮汐、イルカの出現、風向の影響なども含め、
25 比較操業試験の漁獲を GLM 解析した。その結果、AIC の値が最小となったモ

1 デルは、イカの現存量と月齢、イルカの出現、風向、月齢と潮汐の交互作用を
2 説明変数とするモデル 11 で、集魚灯設備の影響要因は含まれなかった (Table 3)。
3 モデル 11 によって予測した漁獲と比較操業試験の漁獲結果を比較すると、実際
4 の漁獲結果が 60 箱より少ない場合には、モデルによる予測値は、実際の漁獲を
5 よく表現できていた (Fig. 5)。

Table 3

Fig. 5

Table 4

Fig. 6

6 モデル 11 の説明変数の係数を Table 4 に、この係数をもとに各要因が漁獲量
7 に与える影響を Fig. 6 に示した。イカの現存量の変化により、漁獲量は 2009 年
8 2 月に比べて 2009 年 3 月が 0.27 倍 ($p < 0.05$), 2010 年 1 月が 0.54 倍 ($p < 0.05$),
9 2010 年 2 月が 0.31 倍 ($p < 0.05$), 2010 年 3 月が 0.31 倍 ($p < 0.05$), 2011 年 1
10 月が 0.58 倍 ($p > 0.05$), 2011 年 2 月が 1.10 倍 ($p > 0.05$) に変化すると推定され
11 た。イカ釣りの漁獲には、月齢の影響が大きく、満月に比べて新月が 5.01 倍 (p
12 < 0.05), 上弦半月が 3.17 倍 ($p < 0.05$), 下弦半月が 2.23 倍 ($p < 0.05$) となると
13 推定された。またイルカが出現しない場合には、イルカが出現したときに比べ
14 て漁獲量は 2.53 倍 ($p < 0.05$), 風向に関しては、西方向の風の場合には、東方
15 向の風に比べて漁獲量は 1.62 倍 ($p < 0.05$), 月齢と潮汐の交互作用に関しては、
16 満月の中潮 (旧暦 : 13, 18 日) に 1.77 倍 ($p > 0.05$), 上弦半月の中潮 (旧暦 :
17 4-6, 12 日) に 1.47 倍 ($p > 0.05$), 下弦半月の中潮 (旧暦 : 19-21, 27 日) に
18 1.22 倍 ($p > 0.05$), 新月の中潮 (旧暦 : 3, 28 日) に 0.44 倍 ($p < 0.05$) となり、
19 これらの要因はイカ釣りの漁獲に影響を与えていた。

20

21

考 察

22

23 比較操業試験の結果から、試験船と対照船の単純な漁獲量の比較では、試験
24 船の漁獲量は、対照船よりも有意に少なくなった ($p < 0.05$)。

25 今回の比較操業試験で試験船に用いた船上灯の出力は、水中灯の出力も考慮

1 して対照船よりも低く設定した。荒川ら¹⁵⁾は、船上のMH灯の点灯出力と海中
2 の放射照度の関係を調べ、スルメイカの視感度のピーク¹⁶⁾に近い波長510nmの
3 光の放射照度は舷外方向に90m離れた点でも表層付近では出力の増加に応じ
4 て高くなることを報告し、船上灯の光源出力の増加による漁獲量の増大は、他
5 の波長の光に比べて水中での減衰が少ない490~510nmの光がより広い範囲に
6 まで届くことに関係すると考察している。そこで2010試験と2011試験では、
7 水中での減衰が少ない前述の波長範囲に近い光（ピーク波長470nm）を放出す
8 る青色LED船上灯¹⁷⁾を追加して、スルメイカを広範囲から誘集しようと考え
9 た（Table 2）。さらに2011試験では、操業前半は出力の大きな船上灯の組み合
10 わせ（MH+青色LED）でより広範囲のスルメイカを集魚し、操業の後半には
11 MH船上灯を消灯することによって、燃油消費の削減を図りながら集魚したス
12 ルメイカを水中灯下の陰影部に駆集させることを意図して漁獲試験を行った。
13 その結果、2009試験と2010試験の試験船の平均漁獲量が対照船の0.52~0.55
14 倍程度であったことに対し、2011試験の試験船の平均漁獲量は対照船の0.85
15 倍と改善された。

16 次に船周囲に誘集されたイカに対する水中灯の効果について考察する。イカ
17 釣りにおける水中灯の効果は、これまでの先行研究より対象種や操業時間帯で
18 異なっている。大型アカイカの昼釣り操業では、水中集魚灯をアカイカが昼間
19 遊泳する深層まで垂下し、点灯することによって、アカイカが水中灯からある
20 程度の範囲まで接近し、水中灯を使用することで漁獲に対して正の効果がある
21 ことを確認している。^{18,19)}一方、日本海中央部の大和堆付近の海域におけるス
22 ルメイカを対象とした夜間のイカ釣り操業では、操業中に水中灯を船下に垂下
23 して点灯した結果、水中灯より上に分布していたイカが船底下から逃避して釣
24 獲尾数が減少し、消灯すると水中灯より下に逸散していたイカが陰影部に集群
25 して釣獲尾数が増加した。¹⁰⁾このように夜間操業においては、水中灯がつくり

1 だす高照度域に釣り具を下しても漁獲は期待できない。他の影響要因を考慮し
2 た GLM 解析の結果からは、水中灯と船上灯を併用した試験船の集魚灯設備と
3 対照船の集魚灯設備で漁獲量が有意に影響を与えるとは判断されなかった。

4 GLM 解析では、試験船と対照船の漁獲量は、月ごとのイカの現存量に加えて、
5 月齢と潮汐、イルカの出現、操業日の風向で説明された。これらの影響要因の
6 うち、月齢に関しては、島根県隠岐島の冬季のスルメイカー一本釣り²⁰⁾、東シナ
7 海のケンサキイカ釣操業²¹⁾で、イルカの影響についても本研究と同じ海域（山
8 下未発表）や地中海のイカ釣操業²²⁾で報告されている。また、潮汐の影響もイ
9 カ群と遭遇する確率を高めるために漂流を行う操業方法では、一般的に知られ
10 ている。⁴⁾ 当該海域における操業では、操業前半は潮汐流によって北又は北東
11 方向に漂流し、操業後半にかけてその方向が反転することが一般的である。し
12 かし東寄りの風が卓越した場合、操業前半の風と潮汐流の向きが逆となること
13 から、イカの誘集を行うべき操業前半の漂流距離が短くなり十分な集魚ができ
14 ないことと釣具ラインを真下に下すことが困難になり、隣接する釣具ラインと
15 の絡まる可能性が高まることなどによって、漁獲が減少したと考えられる。

16 本研究における水中灯と船上灯の併用は、対照船の従来の集魚灯設備と比べ
17 て、漁獲を増加させる効果は認められなかった。しかし、漁船付近に誘集した
18 イカ群の行動や分布を制御する場合には利用できる可能性がある。すなわち四
19 方ら¹⁰⁾が行った日本海のスルメイカを対象として行った水中灯の試験では、
20 水中灯を点灯することで、スルメイカが海底方向へ逃避しており、本研究で提
21 案する海底方向の光を遮断した水中灯は、船底下の陰影部を海底方向に任意に
22 移動させる機能を有し、例えば密集操業で自船の周辺のイカが他船の船上灯光
23 の影響を受けることが好ましくないような状況において、イカの鉛直分布を他
24 船の船上灯光の影響が小さい海底方向に制御することも期待できる。そのため
25 には船上灯と水中灯の出力や配光、あるいは本研究で明らかにした漁獲に影響

1 与える環境要因の変化に対する船周囲のイカ群の行動や分布の変化を船上で
2 観察・把握できることが重要である。近年では西日本のイカ釣り漁船にもスキ
3 ャニングソナーを搭載した船が増えつつある。こうした機器を使用しながら、
4 さらに各集魚灯の出力や配光を調整してイカ群の分布や行動を制御するための
5 知見の蓄積が望まれる。

6

7

謝 辞

8

9 本研究の操業実験にご協力頂いた勝本町漁業協同組合並びに同漁業協同組合
10 所属のイカ釣り漁業者、本研究で使用した集魚灯に関する情報と資材を提供い
11 ただいた高木綱業株式会社、株式会社拓洋理研、長崎天幕株式会社に深く感謝
12 申し上げます。また、本報のご校閲を賜った2名の査読者の方々には有益なご指
13 摘とご助言をいただいた。ここに記して謝意を表する。

14

15

文 献

- 16 1) 片岡千賀之. 第2章 戦前における長崎県のイカ釣り漁業とスルメ加工の展
17 開. 「長崎県漁業の近現代史」長崎文献社, 長崎. 2011 ; 39-67.
- 18 2) FAO. Review of the state of world marine fishery resources. FAO Fisheries
19 Technical Paper. 2005 ; 457 : 175.
- 20 3) 有元貴文. 集魚灯技術. 「スルメイカの世界」(有元貴文, 稲田博史編). 成山
21 堂書店, 東京. 2003 ; 203-221.
- 22 4) 日本水産学会監修. 「漁灯を活かす技術・制度の再構築へ」(稲田博史, 有元
23 貴文, 長島徳雄, 飯田浩二編). 恒星社厚生閣, 東京. 2010.
- 24 5) 高山剛. 小型いか釣り漁船における集魚灯運転コストと漁獲量の関係につい
25 て. 平成15年度イカ類資源研究会議報告. 日水研. 2004 ; 17-20.

- 1 6) 渡邊一仁, 田原聖隆, 藤森康澄, 清水晋, 三浦汀介. イカ漁業の LCI と環境
2 負荷. 環境科学誌 2006 ; **19**(1) : 15-24.
- 3 7) 山本憲一, 甲斐修也, 一丸俊雄, 高木信夫, 鎌田正幸. イカ釣り LED 集魚灯
4 (船上灯) 試験 (ながさき型新水産業創出事業). 平成 19 年度長崎水試事業
5 報告. 長崎県総合水産試験場, 長崎. 2008 ; 34-35.
- 6 8) 社団法人マリノフォーラム 21. 平成 16~18 年度青色発光ダイオード集魚灯
7 によるイカ釣り漁業革命事業に関する報告書. 社団法人マリノフォーラム 21,
8 東京. 2005~2007.
- 9 9) (社) 海洋水産システム協会. 平成 18~21 年度省エネルギー技術導入促進事
10 業報告書. (社) 海洋水産システム協会, 東京. 2007~2010.
- 11 10) 四方崇文, 島敏明, 稲田博史, 三浦郁男, 臺田望, 貞安一廣, 渡部俊広.
12 イカ釣り操業時に船上灯光により形成される船底下陰影部のスルメイカの誘
13 集・釣獲過程における役割. 日水誌 2011 ; 77 : 53-60.
- 14 11) 有元貴文, 中村善彦. 線光源モデルを用いた小型イカ釣り漁船集魚灯の水
15 中照度分布解析. 日水誌 2003 ; **69**(1) : 44-51.
- 16 12) Yamashita Y, Matsushita Y, Azuno T. Catch performance of coastal squid jigging
17 boats using LED panels in combination with metal halide lamps. *Fish.Res.* 2012 ;
18 **113** : 182-189.
- 19 13) Venables, W.N., Dichmont, C.M. GLMs, GAMs and GLMMs: an overview of
20 theory for applications in fisheries research. *Fish.Res.* 2004 ; **70** : 319-337.
- 21 14) Venables, W.N., Ripley, B.D. Modern applied statistics with S. Springer-Verlag
22 Press, New York. 2002.
- 23 15) 荒川久幸, 崔漸珍, 有元貴文, 中村善彦. 小型イカ釣り漁船の集魚灯光の
24 海中放射照度分布. 日水誌 1996 ; **62** : 420-427.
- 25 16) 清道正嗣, 鬼頭勇次. ホタルイカの眼, 「ホタルイカの素顔」(奥谷喬司編).

- 1 東海大学出版会，東京．2000；85-134.
- 2 17) 四方崇文，山下邦治．平成19年度日本海沖合海域におけるいか釣り用青色
3 発光ダイオード船上集魚灯試験結果報告書．石川県水産総合センター，能登．
4 2008.
- 5 18) 稲田博史，廣川純夫，宮崎勝男，木村正晴．水中集魚灯を利用した昼間操
6 業における大型アカイカの釣獲特性．日水誌 1995；61：732-737.
- 7 19) 稲田博史，廣川純夫，谷津明彦．大型アカイカの昼釣り操業における水中
8 集魚灯の効果．日水誌 1996；62：73-77.
- 9 20) 浜部基次．月齢に伴うスルメイカの生態行動．日水誌 1964；30(3):209-215.
- 10 21) 萩野隆太．東シナ海，1992年漁期ケンサキイカの資源状態と漁況の変動要
11 因について．神水試研報 第14号．1993；65-70.
- 12 22) Buscaino, G, Bellante, A., Buffa, G., Filiciotto, F., Maccarrone, V., Di Stefano, V.,
13 Tranchida, G., and Mazzola, S. Depredation of striped dolphin on squid fishery and
14 behavioural responses to interactive pinger. Journal of Acoustical Society of
15 America. 2011;129(4): 2399.
- 16

1 **【Figures caption】**

2 **Fig.1** Fishing grounds off Iki. Each point (●) represents the location where fishing was
3 carried out.

4

5 **Fig.2** Underwater lamps used in this study.

6

7 **Fig.3** Arrangement of the underwater lamps during fishing.

8

9 **Fig.4** Comparisons of catch amount between the experimental and the control boats. *
10 designates significant difference at $p < 0.05$. The band in the box is the median
11 values and the bottom and top of the box are the lower and upper quartiles,
12 respectively. The ends of the whiskers represent the 1.5 interquartile range and
13 plots depicted as open circles designate the outliers.

14

15 **Fig.5** Comparison of predicted catch (boxes) and observed catch (boxes). ○;
16 experimental boats, ×; control boats.

17

18 **Fig.6** Changes in relative catch amount by factors taken in this study, estimated by the
19 optimal generalized linear model (11). Initial condition is 2009 Feb, Lunar full,
20 Dolphin, Wind east, new moon. Horizontal dotted line means the effect in the
21 initial condition. Vertical line indicates relative catch amount against the initial
22 condition.

23

1 Table 1 Squid jigging boats used in the experiment

	Experimental boat	Control boat
2009 experiment		
17 Feb 2009 - 26 Mar 2009	6.6 t	4.8 t
2010 experiment		
18 Jan 2010 - 25 Mar 2010	6.6 t	6.6 t
2011 experiment		
12 Jan 2011 - 10 Feb 2011	6.4 t	7.3 t

2

3

4

1 Table 2 Lighting condition and the number of operations in each year

	Underwater lamps	Surface lamps	Number of operations
2009 experiment			
17 Feb 2009 - 18 Mar 2009	MHs 6kW	MHs 9-39kW	19
19 Mar 2009 - 25 Mar 2009	LEDs 2kW	MHs 33-39kW	4
2010 experiment			
18 Jan 2010 - 9 Feb 2010	MHs 6kW	MHs 0-15kW , LEDs 5.4kW	15
17 Feb 2010 - 24 Mar 2010	LEDs 2kW	MHs 15kW , LEDs 5.4kW	15
2011 experiment			
12 Jan 2011 - 27 Jan 2011	MHs 6kW	MHs 12-24kW , LEDs 5.4kW	11
28 Jan 2011 - 10 Feb 2011	LEDs 2kW	MHs 18-24kW , LEDs 5.4kW	11

2

3

1 Table 3 The formulae and values of statistics from GLMs analysis

	Formula	Null deviance	Null d.f.	Residual deviance	Residual d.f.	AIC	θ (s.e)
0	$C \sim 1$	166.85	149	166.85	149	1093.3	0.82(0.090)
1	$C \sim \text{offset } E$	163.16	149	163.16	149	1079.6	0.87(0.096)
2	$C \sim \text{offset } E + \textit{Boat}$	222.46	149	155.47	141	1039.0	1.23(0.148)
3	$C \sim \text{offset } E + \textit{Lunar}$	207.34	149	157.39	146	1041.7	1.14(0.134)
4	$C \sim \text{offset } E + \textit{Tide}$	170.09	149	162.24	147	1075.9	0.91(0.102)
5	$C \sim \text{offset } E + \textit{Dolphin}$	181.69	149	160.40	148	1061.5	0.98(0.111)
6	$C \sim \text{offset } E + \textit{Wind}$	181.62	149	160.71	148	1061.9	0.98(0.112)
7	$C \sim \text{offset } E + N$	271.79	149	154.36	143	1003.9	1.55(0.199)
8	$C \sim \text{offset } E + \textit{Lunar} + \textit{Lunar} \times \textit{Tide}$	232.12	149	155.38	142	1030.4	1.29(0.157)
9	$C \sim \text{offset } E + N + \textit{Lunar} + \textit{Lunar} \times \textit{Tide}$	355.87	149	152.22	136	977.4	2.14(0.302)
10	$C \sim \text{offset } E + N + \textit{Lunar} + \textit{Lunar} \times \textit{Tide} + \textit{Dolphin}$	412.90	149	153.18	135	960.1	2.58(0.390)
11	$C \sim \text{offset } E + N + \textit{Lunar} + \textit{Lunar} \times \textit{Tide} + \textit{Dolphin} + \textit{Wind}$	434.62	149	152.86	134	954.9*	2.75(0.422)
12	$C \sim \text{offset } E + N + \textit{Lunar} + \textit{Lunar} \times \textit{Tide} + \textit{Dolphin} + \textit{Wind} + \textit{Boat}$	455.37	149	147.85	128	955.7	2.92(0.454)

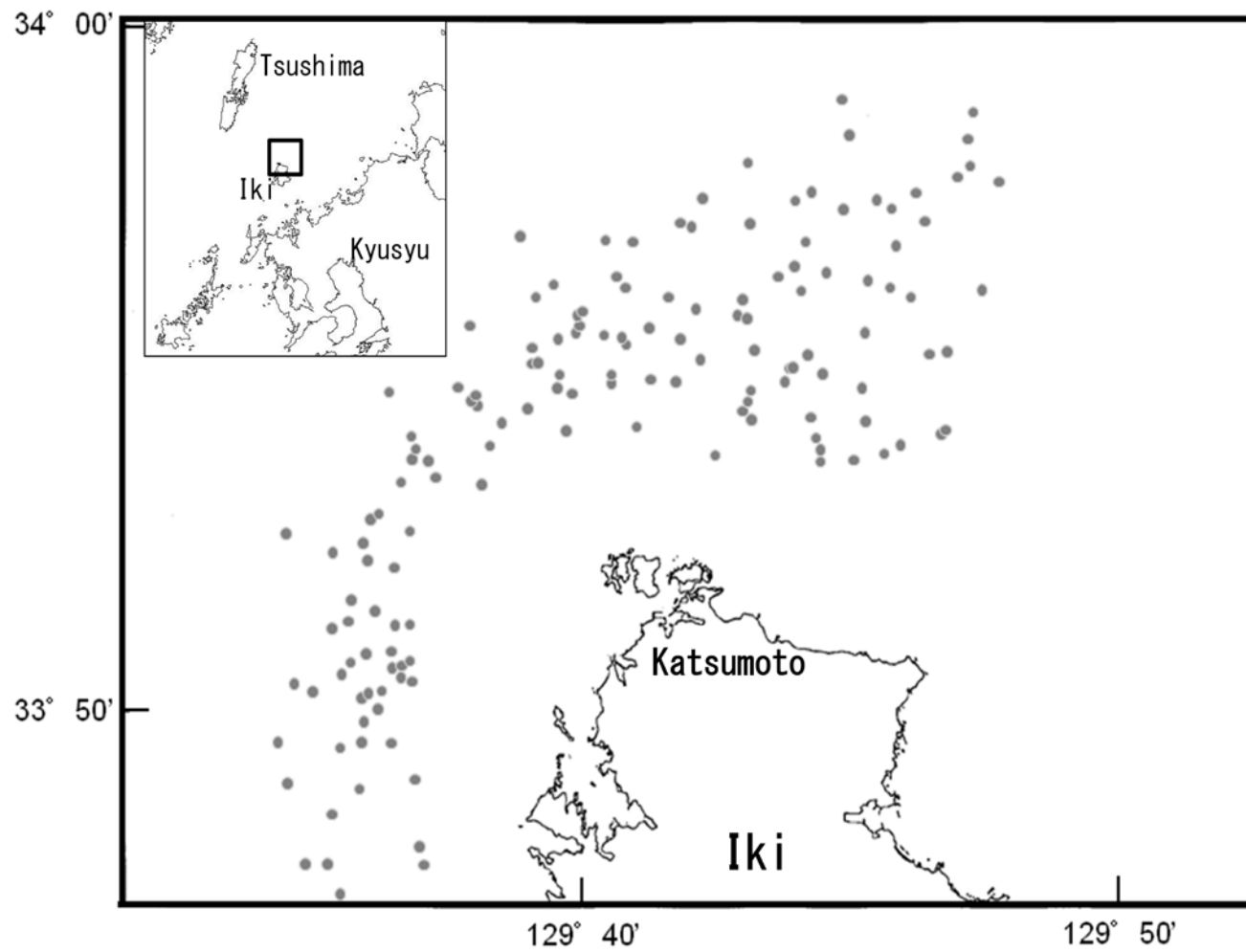
*Lowest AIC value.

1 Table 4 Parameter estimates, standard errors (s.e.), Wald's statistics (W), and their
 2 p-value in the optimal generalized linear model (11) fitted to the experiment

Parameter	Estimate	(s.e.)	W	p-value
Intercept	-2.40	(0.32)	-7.53	<0.001*
<i>N</i>				
2009 Mar	-1.31	(0.25)	-5.26	<0.001*
2010 Jan	-0.61	(0.30)	-2.03	0.04*
2010 Feb	-1.17	(0.26)	-4.47	<0.001*
2010 Mar	-1.17	(0.29)	-4.02	<0.001*
2011 Jan	-0.54	(0.29)	-1.90	0.06
2011 Feb	0.10	(0.26)	0.38	0.71
<i>Lunar</i>				
half 1	1.15	(0.24)	4.83	<0.001*
half 2	0.80	(0.26)	3.10	0.002*
new	1.61	(0.29)	5.55	<0.001*
<i>Dolphin</i>				
absence	0.93	(0.20)	4.59	<0.001*
<i>Wind</i>				
west	0.48	(0.16)	2.97	0.003*
<i>Lunar × Tide</i>				
full : medium	0.57	(0.46)	1.25	0.21
half1 : medium	0.38	(0.20)	1.89	0.06
half2 : medium	0.20	(0.23)	0.86	0.39
new : medium	-0.86	(0.29)	-2.91	0.004*

*Statistically significant ($p < 0.05$). Estimate of intercept includes effects of the basis of incorporated factors as categorical variables (N : 2009 Feb , $Lunar$: full , $Dolphin$: presence , $Wind$: east).

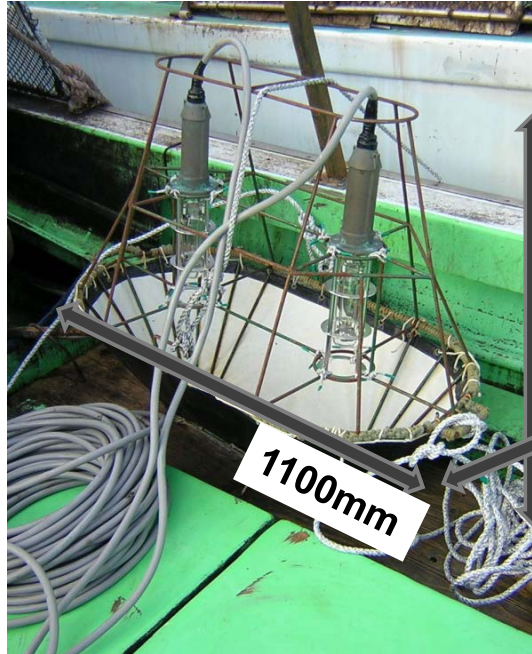
3



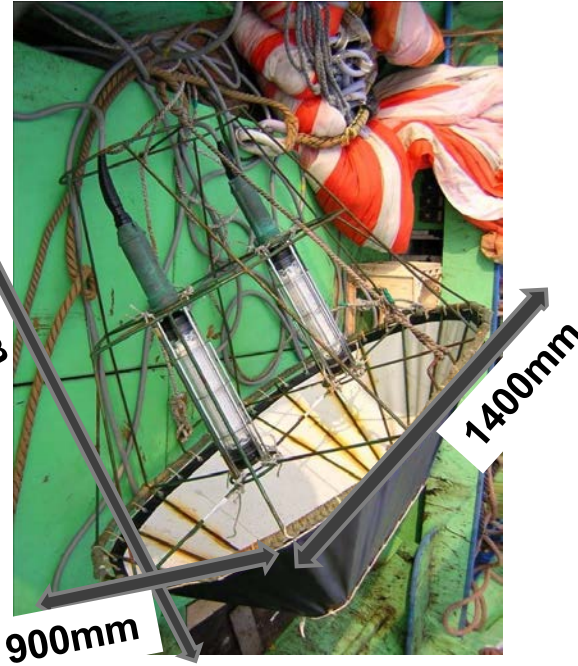
1

2 Fig.1 Masuda et al.

MH underwater Lamps



LED underwater Lamps

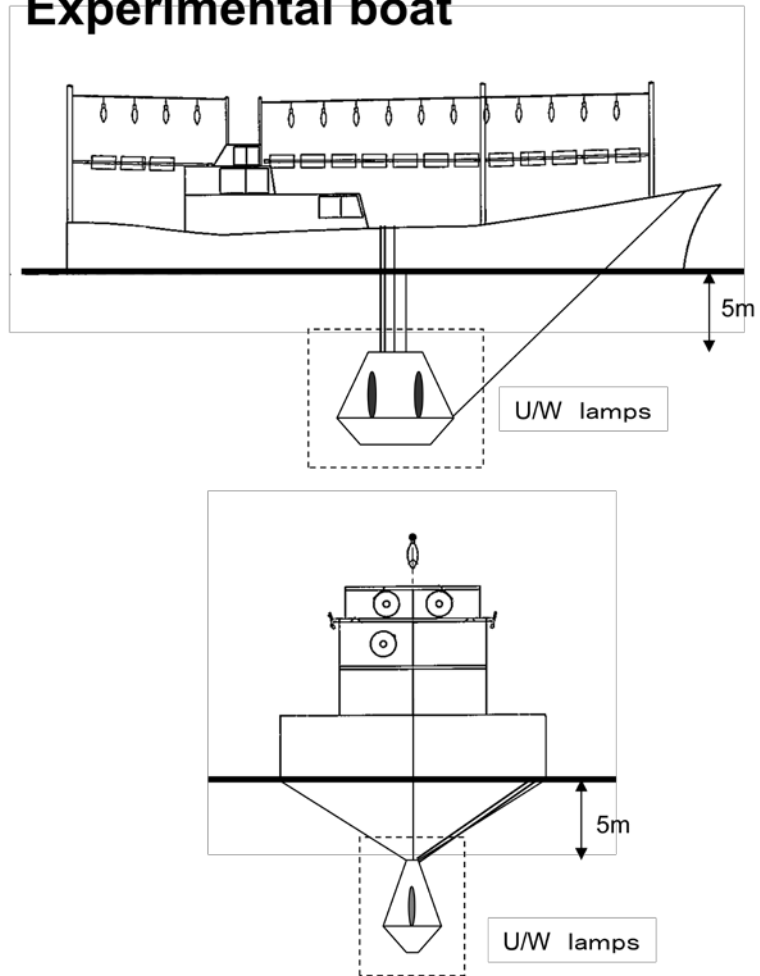


1

2 Fig.2 Masuda et al.

3

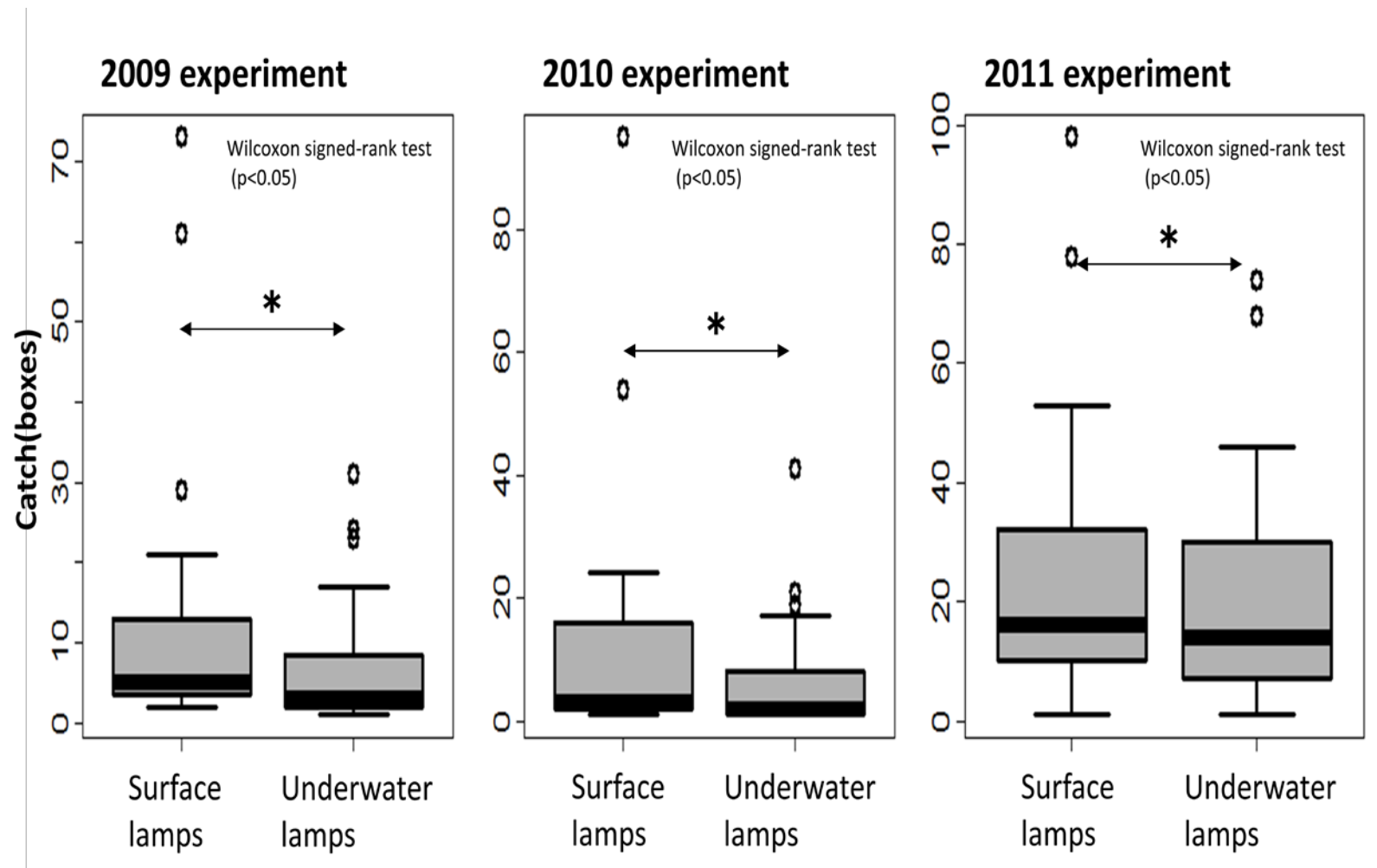
Experimental boat



1

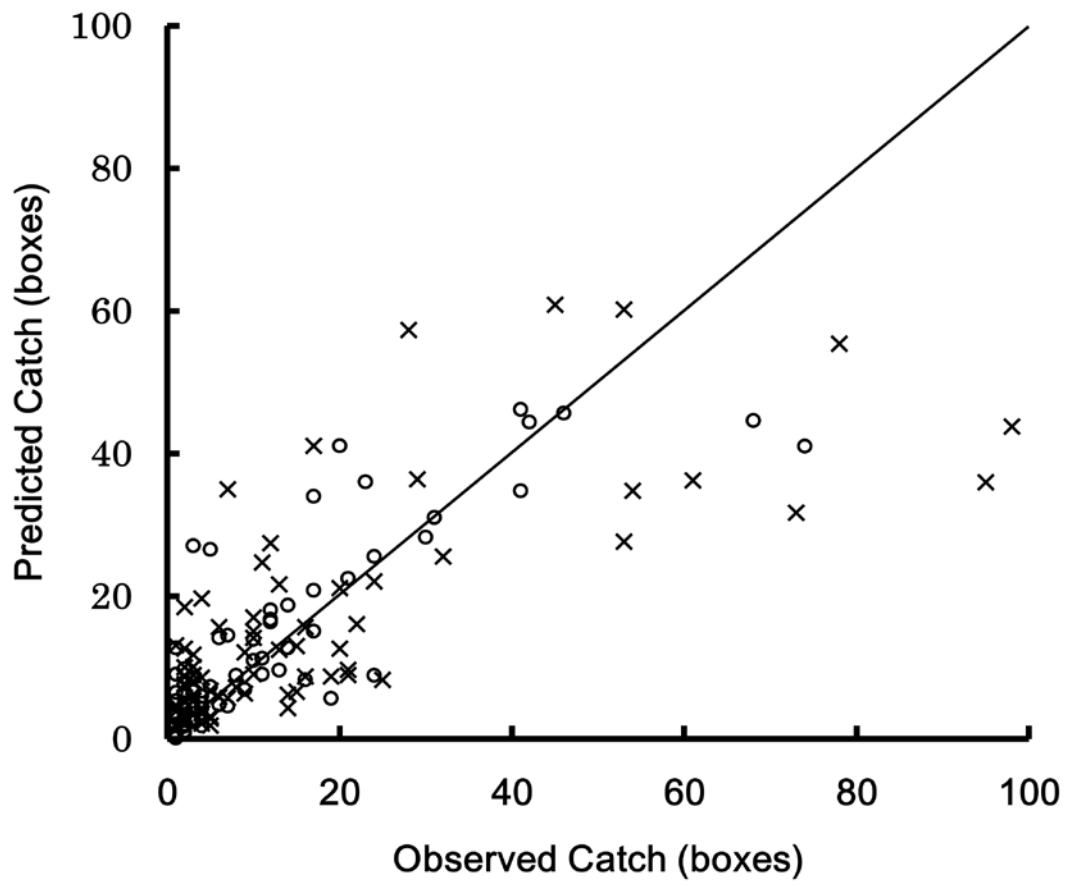
2 Fig.3 Masuda et al.

3



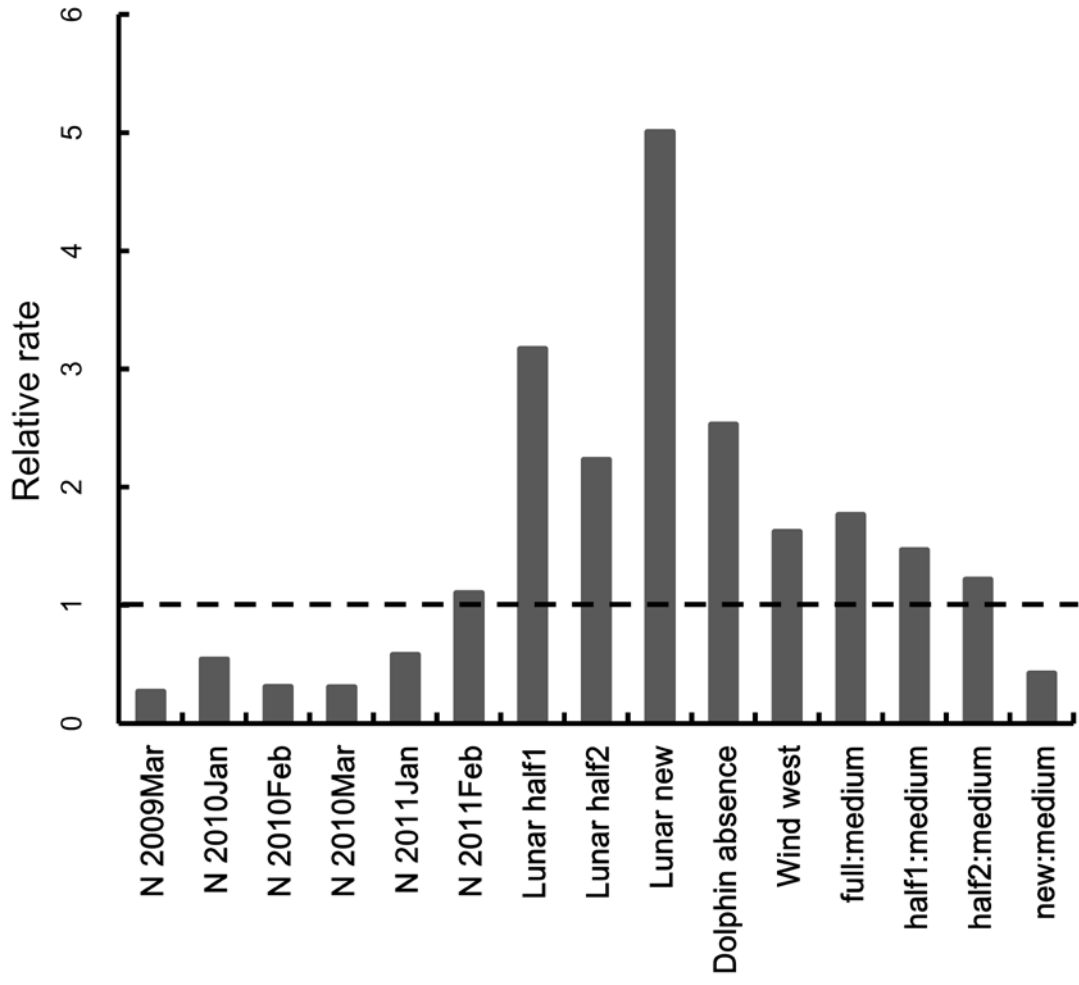
1

2 Fig.4 Masuda et al.



1

2 Fig.5 Masuda et al.



1

2 Fig.6 Masuda et al.