

1 タイトル：垣網への水中灯装着による定置網の漁獲の変化

2

3 ランニングタイトル：水中灯装着による定置網の漁獲の変化

4

5 舛田大作, *¹熊沢泰生, ²武内要人, ²甲斐修也, ¹松下吉樹³

6

7 ¹長崎県総合水産試験場, ²ニチモウ株式会社研究開発室, ³長崎大学大学院水

8 産・環境科学総合研究科

9

10 Changes in catch composition and amount of the set-net by equipping the low-power

11 underwater light at the leader-net

12

13 DAISAKU MASUDA, *¹TAISEI KUMAZAWA, ²YOHTO TAKEUCHI, ²SYUYA KAI¹

14 AND YOSHIKI MATSUSHITA³

15

16 ¹*Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries, Nagasaki, 851-2213, Japan,*

17 ²*Research and Development Department, Nichimo Co.,Ltd. Shimonoseki, Yamaguchi,*

18 *750-1136, Japan, ³Graduate School of Fisheries Science and Environmental Studies,*

19 *Nagasaki University, Nagasaki, 852-8521, Japan*

20

21 *Corresponding author

22 Tel : 095-850-6308 ; Fax : 095-850-6346 ; e-mail : masuda-daisaku@pref.nagasaki.lg.jp

23

1 和文要旨

2

3 垣網への水中灯装着による定置網の漁獲の変化

4

5 舛田大作 (長崎水試), 熊沢泰生, 武内要人 (ニチモウ), 甲斐修也 (長崎水試),

6 松下吉樹 (長大院水環)

7

8 定置網の垣網周辺で水中灯を点灯して魚群を滞留させ, 明け方前に消灯して
9 魚群を身網へ誘導することで漁獲増加を目指す実験を行った。長崎県対馬の大
10 型定置網の垣網に消費電力 55W の水中灯を取り付け, 点灯日と非点灯日を繰
11 り返す試験を 2007~2009 年の間に 157 日実施した。その結果, 点灯時の一日
12 の総漁獲量は, 非点灯時よりも多くなった。2007 年はウルメイワシ, 2008 年
13 はケンサキイカとブリ類, 2009 年はマサバが漁獲物中の優占種で, 点灯時のこ
14 れらの種の漁獲量は, 非点灯時の漁獲量より有意に多くなった。

15

16 キーワード: 定置網, 水中灯, 垣網, 漁獲量解析

17

Abstract

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15

A 55-W underwater discharge lamp was set on one side of the leader-net of the set-net off Tsushima, Nagasaki to lure migrating fish during the nighttime. The lamp was turned off by a timer in the morning to direct fish into the set-net prior to hauling. The purpose was to improve the catch efficiency of set-nets using low power underwater lighting. Illuminated and non-illuminated fishing experiments were conducted repeatedly from 2007 to 2009. When light was turned on, the daily catch amount was significantly larger than that of conventional operation without light ($P < 0.05$). The round herring *Etrumeus teres* was the dominant catch in 2007, the swordtip squid *Photololigo edulis* and yellowtails *Seriola quinqueradiata* and *S. dumerili* in 2008, and the chub mackerel *Scomber japonicus* in 2009. Catch of these dominant species were significantly higher with illumination ($P < 0.05$). Thus, use of low-power underwater light improved the catch performance of the set-net.

1 定置網漁業は、操業に要するエネルギー消費量が少なく、魚類生息場への悪
2 影響も少ないことから、環境への負荷が小さな漁業として注目されている。¹⁾
3 また、定置網の操業では、漁獲物を活魚として水揚げできるので、漁業者は漁
4 獲物の蓄養による出荷調整や養殖用種苗としての出荷などで、漁獲物の付加価
5 値を向上させることができる利点もある。¹⁾

6 定置網漁業では、魚介類がある一定期間にわたって来遊してくる漁場を選ぶ
7 ことが漁獲の成否に大きな影響を及ぼす。また大規模な漁具なので一旦敷設し
8 てしまうと、敷設位置や漁具の構造を変更することは容易ではない。そのため、
9 定置網漁業者は、海底地形や潮流などを考慮して、敷設位置や構造を決定する。
10 また、漁具メーカーや研究機関は、海底地形や潮流、漁場周辺の魚群の行動な
11 どを調べ、漁業者に科学的な判断材料を提供している。²⁾特に、海底地形や潮
12 流に対して来遊した魚群がどのように行動するかについては、漁業者の経験則
13 以外の知見が少なく、漁場毎に、音響機器³⁻⁵⁾や水中カメラ^{6,7)}などを用いて観
14 察することが重要と考えられる。

15 これまで、神奈川県的大型定置網周辺における魚群行動調査では、垣網に遭
16 遇した魚群数のうち3割程度は身網に入網しないで逃避することが報告されて
17 いる。⁸⁾また、神奈川県と岩手県的大型定置網の周辺で魚群の移動を観察した
18 調査⁹⁾からは、垣網に遭遇した魚群が身網へ入網する割合は、観察された魚種
19 にかかわらず、魚群の進行方向と垣網のなす角度や、進行方向が変化したとき
20 の垣網からの距離によって、大きく異なることが指摘されている。すなわち魚
21 群は、垣網に近づき、進行方向と垣網の設置方向が大きく変わらないときに漁
22 獲されやすい。⁹⁾したがって定置網の漁獲を高めるためにはまず、垣網が来遊
23 した魚群を遮断・誘導する効果を高めることが重要である。そのための方法の
24 ひとつに、垣網周辺に魚を誘導あるいは滞留させる刺激をつくりだすことが考
25 えられる。

1 これまで日本では、漁業権が設定された水面外から定置網に魚群を積極的に
2 誘導するために、大電力（250～1000W）の集魚灯を装備した漁船などによる
3 魚群の誘導実験^{10,11)}や定置網周辺に誘導魚礁を設置した試験¹²⁾が行われ、光に
4 蝟集する魚種など、特定の魚種への効果が確認された。海外でも近年、光や匂
5 い、音響などを用いて、小型定置網の漁獲効率を向上させる試みが行われてい
6 る。¹⁾しかし、我が国のように一定の水面において他の漁業を排斥する定置網
7 では、大電力の集魚灯を利用した集魚は、他漁業との調整に問題が生じる可能
8 性が高い。また定置網では、光に蝟集しない魚も含めた多種多様な魚種を対象
9 とするので、大電力集魚灯や魚礁等の新たな投資を回収するだけの漁獲増加が
10 期待できないと考えられ、実用化には至っていない。

11 そこで本研究では、新たにバッテリーとタイマーを内蔵した水密容器とこの
12 容器内のバッテリーのみで点灯可能な小電力の水中灯からなる装置を開発した。
13 そして魚群の定置網への積極的な集魚を意図せず、魚類が視覚によって垣網を
14 認識しづらくなる夜間に、垣網周辺に来遊してきた魚群を小電力の水中灯の光
15 で滞留させ、明け方前に水中灯を消灯することで、滞留した魚群を身網へ効率
16 的に誘導する方法について、その効果を検証することを目的とした。

17

18

材料および方法

19

20 漁獲試験は、Fig.1 に示す長崎県対馬市美津島町尾崎の大型定置網漁場で、
21 2007年10月2日～2008年2月29日（以降、2007試験と呼ぶ）、2008年8
22 月1日～8月31日（2008試験）、2009年10月21日～12月7日（2009試験）
23 の3つの期間に行われた。定置網の構造をFig.2に示す。網型は垣網、運動場、
24 昇網および箱網からなる両端口片落網で、身網の全長は222m、垣網の全長は
25 345mである。

Fig.1

Fig.2

1 実験に使用した水中灯の光源には、定置網周辺に来遊する多様な魚種の波長
2 別光感度特性¹³⁾を考慮して、安価で400～650nmの範囲の複数の波長を放出す
3 る白色のメタルハライド灯^{14,15)}(株式会社拓洋理研製, HID 55W, DC12V, 瞬
4 時点灯型, 耐圧水深20m)1灯を用いることにした。この水中灯を直径13mm,
5 長さ5mの水中灯用ケーブルで、点灯・消灯を自動で行うモータ式タイムスイ
6 ッチ(Omron社製, H2F), 光源用安定器(定格入力DC12V, 安定時出力55W)
7 および蓄電池(DC12V, 40B19R, 2個)を収納した水密容器(SUS製, 440
8 ×260×255mm)と接続した(Fig.3)。水密容器には、蓄電池から発生する水
9 素ガスを外部に放出できるように上面に排出口を設け、容器上面が必ず海面に露
10 出するように浮力約1.3kgwの浮子4個を取り付けた。¹⁶⁾この水密容器と水中
11 灯を端口から75m, 垣網から20m離して側張りの浮子に固定した(Fig.2)。

Fig.3

12 実験当初に水中灯を6時間点灯した際の蓄電池の電力消費量を確認したとこ
13 ろ、6時間の点灯が最長と考えられたことより、水中灯はモータ式タイムスイ
14 ッチにより夜間に5～6時間点灯した後、日出の3～6時間前に消灯するよう
15 に試験期間ごとに設定した。試験期間中の点灯時刻と消灯時刻および点灯、非点
16 灯時の操業数をTable 1に示した。

Table 1

17 そして水中灯を点灯することによる漁獲の変化を把握するため、水中灯を点
18 灯する日(以下、点灯)と点灯しない日(非点灯)を可能な限り交互に設定し
19 て、操業日ごとの漁獲量と漁獲種を操業日誌から調べた。操業日誌には操業日、
20 点灯の有無、漁獲種、漁獲量(箱又はkg)が記載されていた。なお、定置網の
21 揚網時刻は試験期間に関係なく午前7時前後であった。

22 また、2007試験のうち11月13日の水中灯点灯時には、水中灯周辺の魚群
23 の分布状況をボトムソナー(本多電子株式会社HE-811, 周波数:400kHz, 探
24 知角度:90°)で確認した。

25

1 結 果

2
3 **漁獲物の魚種組成** 試験期間ごとに漁獲物の魚種組成を Fig.4 に示した。2007
4 試験の総漁獲量は 109,246kg で、そのうちウルメイワシ *Etrumeus teres* が全体
5 の 69%を占め、次いでマサバ *Scomber japonicus* が 14%、マアジ *Trachurus*
6 *japonicus* が 7%の割合で漁獲された。

Fig.4

7 2008 試験の総漁獲量は 19,544kg で、ケンサキイカ *Photololigo edulis* とブリ
8 類（主にブリ *Seriola quinqueradiata* とカンパチ *Seriola dumerili*）が全体の 65%
9 を占め、次いでアジ類（マアジとマルアジ *Decapterus maruadsi*）が 12%の割合
10 で漁獲された。

11 2009 試験の総漁獲量は 108,325kg で、マサバが全体の 91%を占めた。

12
13 **点灯、非点灯における総漁獲量の比較** 1日あたりの漁獲量の頻度分布を試験
14 期間ごと Fig.5 に示した。非点灯時には 2007~2009 試験にわたって 0~1,000
15 kg の漁獲量が多く、特に 2008 試験では 1,000kg を超える漁獲は無かった。一
16 方、点灯時には 2007~2009 試験のいずれも 1,000 kg 以上を漁獲した操業が増
17 加し、特に 2009 試験では 2,500 kg 以上の漁獲量が多かった。すなわち、点灯
18 時の方が非点灯時と比較して 1日あたりの漁獲量は多くなる傾向がみられた。

Fig.5

19 点灯と非点灯の操業における 1日あたりの漁獲量を試験期間ごとに比較した
20 ところ、いずれの試験期間においても、点灯時と非点灯時の漁獲量には有意な
21 差が認められ（Mann-Whitney の U-検定, $P<0.05$ ）、点灯時の漁獲量は非点灯
22 時より多くなることが示唆された。

23
24 **魚種毎の漁獲量の比較** 各試験期間の漁獲量の推移を主要な魚種別に Fig.6 に
25 示した。2007 試験の前半（10月）は低調な漁獲で推移したが、10月30日か

Fig.6

1 ら 11 月 1 日にかけてウルメイワシが大量に漁獲され、その後、12 月上旬まで
2 ウルメイワシに代わってマサバとマアジが主に漁獲された。そして、12 月中旬
3 以降は再びウルメイワシが主に漁獲された。そこで 2007 試験をさらに、2007
4 ウルメイワシ前期漁期 (10 月 2 日～11 月 1 日)、2007 マサバ・マアジ漁期 (11
5 月 4 日～12 月 10 日)、2007 ウルメイワシ後期漁期 (12 月 12 日～2 月 29 日)
6 とした。2008 試験と 2009 試験はそれぞれケンサキイカとマサバが多く漁獲さ
7 れ、期間中に主要漁獲種が変化しなかったため、それぞれ 2008 ケンサキイカ
8 漁期、2009 マサバ漁期と主に漁獲された種で分けた。

9 総漁獲量およびウルメイワシ、マサバ、マアジ、ケンサキイカ、ブリ類、の
10 点灯、非点灯時の漁獲量を漁期毎に比較した結果を Fig.7 に示した。2007 ウル
11 メイワシ後半漁期に漁獲されたケンサキイカを除き、主要魚種の点灯時の漁獲
12 量は、非点灯時の漁獲量を上回った。

Fig.7

13 魚種別にみると、ウルメイワシは 2007 ウルメイワシ後期漁期の点灯時に、
14 マサバは 2007 マサバ・マアジ漁期と 2007 ウルメイワシ後期漁期、2009 マサ
15 バ漁期の点灯時に漁獲量が有意に増加した (Mann-Whitney の U-検定, $P < 0.05$)。
16 同様にマアジは、2007 ウルメイワシ前期漁期と 2009 マサバ漁期の点灯時に漁
17 獲量が増加し ($P < 0.05$)、この傾向は 2007 マサバ・マアジ漁期にもみられた
18 ($P < 0.1$)。一方、マアジの漁獲量が全漁獲量の 6%未満でしかなかった 2007
19 ウルメイワシ後期漁期と 2008 ケンサキイカ漁期にはマアジの漁獲量に有意な
20 差は認められなかった ($P > 0.1$)。ケンサキイカは、2008 ケンサキイカ漁期の
21 点灯時に漁獲量が増加し ($P < 0.05$)、その他の漁期にはケンサキイカの漁獲量
22 に有意な差は認められなかった ($P > 0.1$) すなわち、マアジやケンサキイカは、
23 漁期中に大量に漁獲された場合にだけ、点灯時と非点灯で有意な差が認められ
24 た。一方ブリ類は、全漁期を通じて点灯と非点灯時で有意な差は認められな
25 かった ($P > 0.1$)。

1

2 **水中灯点灯時の魚群状況** 水中灯点灯時，水中灯周辺では魚群と思われる反応
3 が継続して確認された (Fig.8)。また，水中灯周辺にみられた魚種を確認する
4 ため，手釣りを行った結果，マアジとマルアジが釣獲され，この観察を行った
5 翌日の11月14日の定置網の漁獲状況を見てみると，総漁獲量は869kgで，マ
6 アジが全体の62%を占めていた。このことより，ボトムソナーの反応は水中灯
7 周辺に集まったアジ類である可能性が高いと思われる。

Fig.8

8

9

考 察

10

11 本研究の結果，夜間に水中灯を点灯した時の総漁獲量は，すべての試験で点
12 灯しない時よりも多くなった ($P<0.05$)。試験中に主に漁獲され，点灯と非点
13 灯で漁獲量に有意な違いがみられた魚種はウルメイワシ，マサバ，マアジ，ケ
14 ンサキイカであった。ウルメイワシ，マサバ，マアジは正の走光性を持つ魚種
15 とされており，¹⁷⁾ケンサキイカはスルメイカが正の走光性を持つこと¹⁷⁾から
16 同様に正の走光性を持つものと思われる。このため，これらを対象とする漁業
17 は集魚灯を使用しているものが多く，水中灯の光がこれらを垣網付近に滞留さ
18 せ，これらの種の漁獲の増加が点灯時の総漁獲量の増加につながったものと考
19 えられる。また，2007試験にボトムソナーで水中灯の周辺を観察した結果から，
20 水中灯周辺には継続して魚群の反応が観察され，水中灯周辺に来遊した魚群が
21 滞留しているものと推察された。今後，水中灯に蝟集した魚群量を把握して定
22 置網の漁獲量と比較し，その関係を定量化できれば，漁獲を高めるための水中
23 灯の取り付け位置や光源の出力の改善などに寄与できるだろう。

24

25

一方，ブリ類については漁獲量に有意な差はみられなかった。この原因は，
ブリ類が負の走光性を持つ魚種¹⁷⁾であることが一因として考えられるが，負の

1 走光性を持つにも関わらず、漁獲量は有意には減少していない。魚類が光に集
2 まる原因には、走光性の他にも摂餌集群説や好適照度説等¹⁸⁾が考えられている。
3 実際に長崎県で行われている水中灯を用いたイサキ *Parapristipoma trilineatum*
4 一本釣り漁業では、ブリ類は主要な混獲種であり、漁業者は水中灯により漁獲
5 対象種の餌生物であるカタクチイワシ *Engraulis japonica* やキビナゴ
6 *Spratelloides gracilis* を蝟集させることが重要と考えている（松下、未発表）。こ
7 のことより、ブリ類は水中灯の光に集まった小型魚の摂餌のために蝟集して定
8 置網で漁獲された可能性が考えられる。

9 定置網における水中灯の利用は、漁獲の増大だけでなく、労働条件などの改
10 善にも活用できると考える。定置網の揚網には多大な労力が必要であり、また、
11 定置網と養殖業等を兼業する場合や漁獲物を鮮魚として出荷する場合には時間
12 的な制約を受けることより、一日に1回の揚網が定時に行われることが多い。
13 しかし千葉県の小型定置網で行われた揚網時刻と漁獲の関係に関する研究では、
14 薄明時（7時、19時）にウルメイワシとマアジの漁獲量が増加したが、ウルメ
15 イワシは日没直前に入網と逃避がともに多くなるので、魚群の入網時刻に合わ
16 せて揚網することが重要と報告されている。^{19,20)}日没直前に入網と逃避が多
17 くなるといわれたウルメイワシの漁獲量の水中灯点灯による増加は、水中灯の点
18 灯と消灯がウルメイワシの入網（活動）時刻を変化させたことによる可能性が
19 考えられる。したがって水中灯の使用は、漁獲対象生物の入網時刻を制御し、
20 定置網の揚網時間を効率的に設定できる可能性を示唆している。

21 また水中灯は、使用する位置を条件に応じて柔軟に設定できる利点も持つ。
22 三重県で行われた定置網前面の天然礁周辺の魚群行動調査では、天然礁に來
23 遊・滞留したカタクチイワシ魚群が、天然礁から離れる際にその一部が入網す
24 ることが報告されている。²¹⁾垣網前面の構造物は來遊した魚群の滞留と蓄積を
25 促進し、定置網の漁獲の増加に寄与できる可能性がある。同様に特定の魚種に

1 対して滞留効果が期待できる水中灯は、構造物と異なり、魚群を滞留させる位
2 置と時間を自由に調整できるので、魚群を垣網の任意の位置に滞留させ、操業
3 時刻に合わせて滞留した魚群の身網への誘導を期待できる。

4 以上、定置網漁業における小電力水中灯使用の利点を述べたが、本研究結果
5 からは水中灯の使用によって期待する漁獲過程のうち、水中灯周辺で魚群が滞
6 留する過程 (Fig.8) しか確認していない。消灯による身網への誘導の過程は、
7 定置網の漁獲の増加からの推測によるので、今後、この過程を解明することが
8 課題であろう。このことに関連して、水中灯の装着位置と点灯・消灯時刻につ
9 いては、検討すべき点が多い。例えば、起伏のある海底地形を有する定置網漁
10 場では魚群は特定の入網経路を持つが、平坦な海底地形の場合は魚群の行動が
11 一定でないことが神奈川県的大型定置網周辺における魚群行動の調査により知
12 られている。²²⁾ 今後、水中灯の取り付け位置を検討することで、こうした魚群
13 のランダムな行動を変化させ、漁獲効率を向上できる入網経路を人為的につく
14 り出すことが可能かもしれない。また千葉県^{18,19)}や三重県²¹⁾、長崎県³⁾の研究
15 でみられたように、魚群が定置網前面に来遊する時間帯にピークがあるならば、
16 その時間帯から明け方までの点灯を設定するなど、電力の効率的な使用方法に
17 も検討の余地がある。

18 また、今回の試験を行った定置網は最も近い他の定置網から 2km 程度と遠
19 く離れていたため、他の定置網の漁獲への影響は無いものと考え、検討を行わ
20 なかったが、定置網が密集する地域では、水中灯の使用が他の定置網に与える
21 影響を検討する必要がある。漁業法では、定置網漁業における集魚灯利用の可
22 否については記載がない。今回の試験中に漁業調整上の問題は生じなかったが、
23 今後、このような点についても配慮すべきである。

24

25

謝 辞

1

2 本研究の洋上実験にご協力頂いた財部水産 財部安則代表に深く感謝申し上げる。
3 本研究のきっかけを与えて頂くとともに研究方法についてご指導頂いた
4 長崎県総合水産試験場漁業資源部 平川榮一部長に厚くお礼申し上げます。また、
5 本研究で使用した水中灯の開発において株式会社拓洋理研 花井慎一郎社長、水
6 口電装株式会社 水口千津雄社長、カネヤス株式会社 宗岡龍馬部長、西日本ニ
7 チモウ株式会社 和田隆行部長にご尽力頂いた。ここにお礼申し上げます。

8

9

文 献

- 10 1) Suuronen P, Chopin F, Glass C, Løkkeborg S, Matsushita Y, Queirolo D, Rihan D.
11 Low Impact and Fuel Efficient fishing - Looking beyond the horizon -. *Fish. Res.*
12 2012 ; **119-120** : 135-146.
- 13 2) 甲斐修也, 舛田大作, 前川英樹. 沿岸漁業開発調査. 平成 21 年度長崎水試
14 事業報告, 長崎県総合水産試験場, 長崎. 2010 ; 32.
- 15 3) 井上喜洋, 田原陽三, 松尾勝樹. 魚群の日周行動と定置網. 日水誌. 1986 ;
16 **52** : 55-60.
- 17 4) 岡座輝雄, 山口功, 市山大輔. 沿岸漁業開発調査. 平成 15 年度長崎水試事
18 業報告, 長崎県総合水産試験場, 長崎. 2004 ; 39.
- 19 5) 甲斐修也, 市山大輔. 沿岸漁業開発調査. 平成 16 年度長崎水試事業報告,
20 長崎県総合水産試験場, 長崎. 2005 ; 22.
- 21 6) Miura T. Trial Observation of Filefish Behavior in a Small Set-net with a Remote
22 Monitoring TV System. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 1993 ; **44(4)** : 171-178.
- 23 7) 秋山清二. 水中映像無線伝送システムによる定置網漁業の操業合理化. 水産
24 工学. 2006 ; **42(3)** : 213-217.
- 25 8) 平元泰輔. 相模湾における定置網型の変遷 - 1 . 神水試研報. 1994 ; **15** :

- 1 15-19.
- 2 9) 井上喜洋. ソナーによる定置網漁場における魚群の行動に関する研究. 水工
3 研報告. 1988 ; 9 : 227-287.
- 4 10) 宮本秀明. 定置網漁論. 河出書店, 東京. 1952 ; 214-215.
- 5 11) 徳永武雄, 森勇, 岩切欣弘, 只安正昭. パイロット定置網企業化試験. 漁具
6 漁法試験研究報告書. 長崎県総合水産試験場, 長崎. 1973 ; 362 : 83-97.
- 7 12) 町田末広. 定置網に対する誘導魚礁の効果試験報告書. 長崎県総合水産試験
8 場, 長崎. 1979 ; 429 : 1-19.
- 9 13) 長谷川英一, 有元貴文. 対象生物の光感覚と対光行動. 「漁灯を活かす技術・
10 制度の再構築へ」(稲田博史・有元貴文・長島徳雄・飯田浩二編). 恒星社厚
11 生閣, 東京. 2010;26-39.
- 12 14) 森川由隆, 柏俊行. 漁灯による海中光の特性とその測定. 「漁灯を活かす技
13 術・制度の再構築へ」(稲田博史・有元貴文・長島徳雄・飯田浩二編). 恒星
14 社厚生閣, 東京. 2010;40-56.
- 15 15) 中野邦昭, 清水義則. 漁灯光源としての白熱灯, 放電灯, LED. 「漁灯を活
16 かす技術・制度の再構築へ」(稲田博史・有元貴文・長島徳雄・飯田浩二編).
17 恒星社厚生閣, 東京. 2010;57-71.
- 18 16) 平川榮一, 熊沢泰生, 武内要人. 集魚灯装置および集魚灯装置を用いた漁具
19 並びに漁法. 特開 2010-178710. 2010.
- 20 17) 井上実. 灯に集まる魚. 「魚の行動と漁法」恒星社厚生閣, 東京. 1978;83-85.
- 21 18) Arimoto T, Glass CW, Zhang X. Fish vision and its role in fish capture. In: He P
22 (ed). *Behavior of marine fishes: capture processes and conservation challenges*.
23 Wiley-Blackwell, Hoboken. 2010; 25-43.
- 24 19) 秋山清二, Baskoro MS, 有元貴文. 小型定置網への魚群の入網時刻. 日水
25 誌. 1995 ; 61 : 738-743.

- 1 20)秋山清二, 有元貴文. 定置網の揚網間隔と漁獲量. 日水誌. 1997;**63**:340-344.
- 2 21)金文官, 有元貴文, 松下吉樹, 井上喜洋. 定置網漁場における天然礁に関連
- 3 する魚群の行動. 日水誌. 1993 ; **59** : 1337-1342.
- 4 22)井上喜洋, 渡部俊広. 片落とし及び両落とし定置網の漁獲過程における魚群行動.
- 5 日水誌. 1986 ; **52** : 1739-1744.
- 6

1 **【Figures caption】**

2 **Fig.1** Location of the set-net where fishing experiments were carried out.

3

4 **Fig.2** Position of the underwater lamp and the battery container in the set-net.

5

6 **Fig.3** Schematic diagram of the underwater lamp and the battery container used for the
7 experiments. Top: Detailed positions, Bottom: Interior of the battery container.

8

9 **Fig.4** Catch compositions of the set-net during the three experimental periods. * Mixed
10 category is a sales category consisting of several species.

11

12 **Fig.5** Catch frequencies with/without lighting during the three experimental periods.

13

14 **Fig.6** Daily catch amounts in time-series. Top two graphs show daily change in catch
15 amount with/without lighting in 2007. Bottom left two graphs; in 2008, Bottom
16 right two graphs; in 2009.

17

18 **Fig.7** Box-plots summarizing daily catch amounts according to fishing seasons and
19 captured species. Bold horizontal lines in the box-plots denote the medians.
20 Ends of the boxes and whiskers are the interquartile ranges (the 25th and 75th
21 percentiles), and the points outside are 1.5 times the interquartile ranges,
22 respectively. ‘*’ indicates significant difference with/without lighting (**:
23 $P < 0.05$, *: $P < 0.1$, Mann-Whitney U-test).

24

25 **Fig.8** Sonar image recorded during lighting. Observation was conducted during 21:45

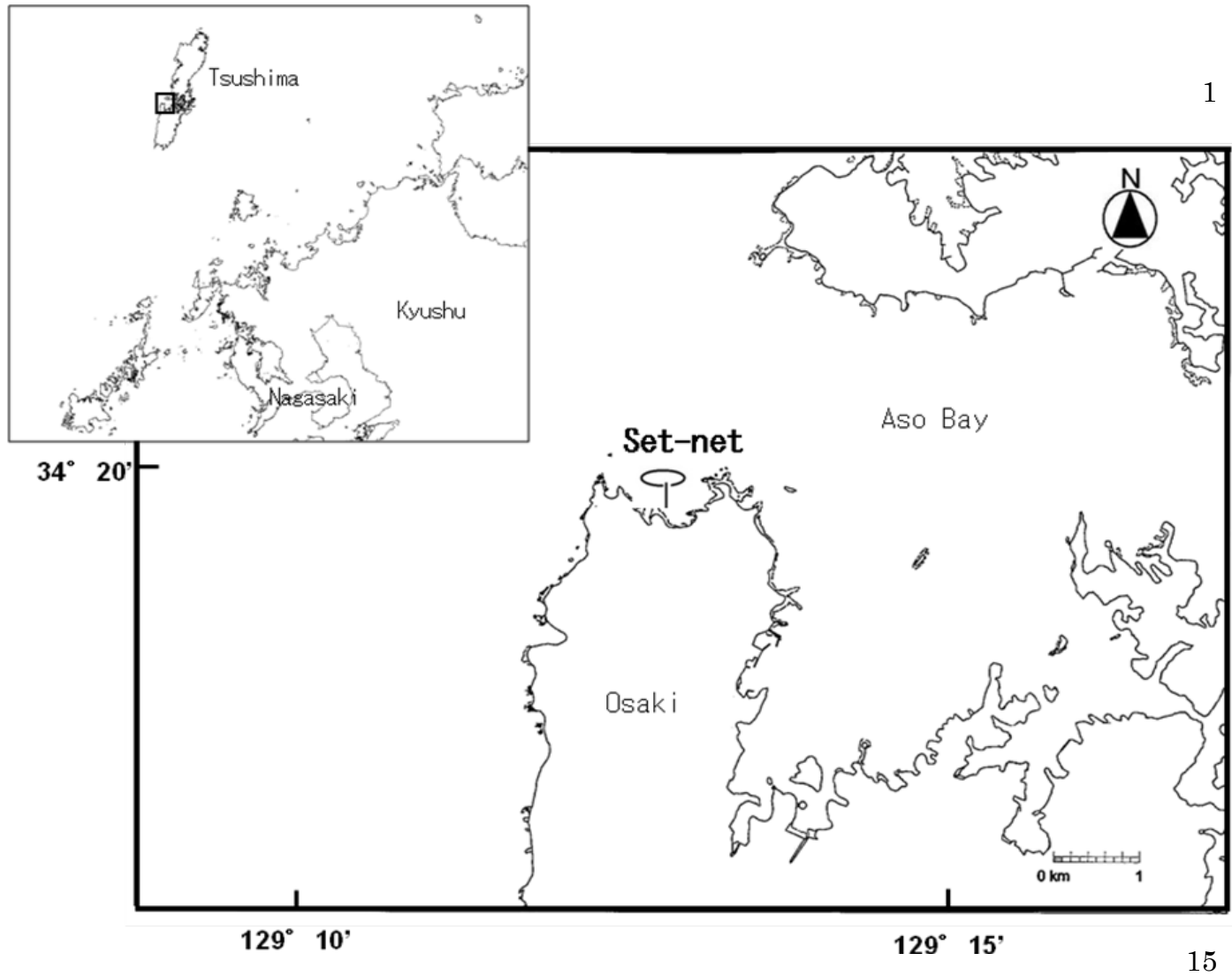
1 – 23:40 on November 13, 2007 to monitor the vertical cross section from the
2 sea surface to the bottom area around the underwater lamps and the leader-net.
3

1 **Table 1** Setting times for light-on, light-off, number of hauls conducted and times of
 2 sunrise/sunset during the experiment

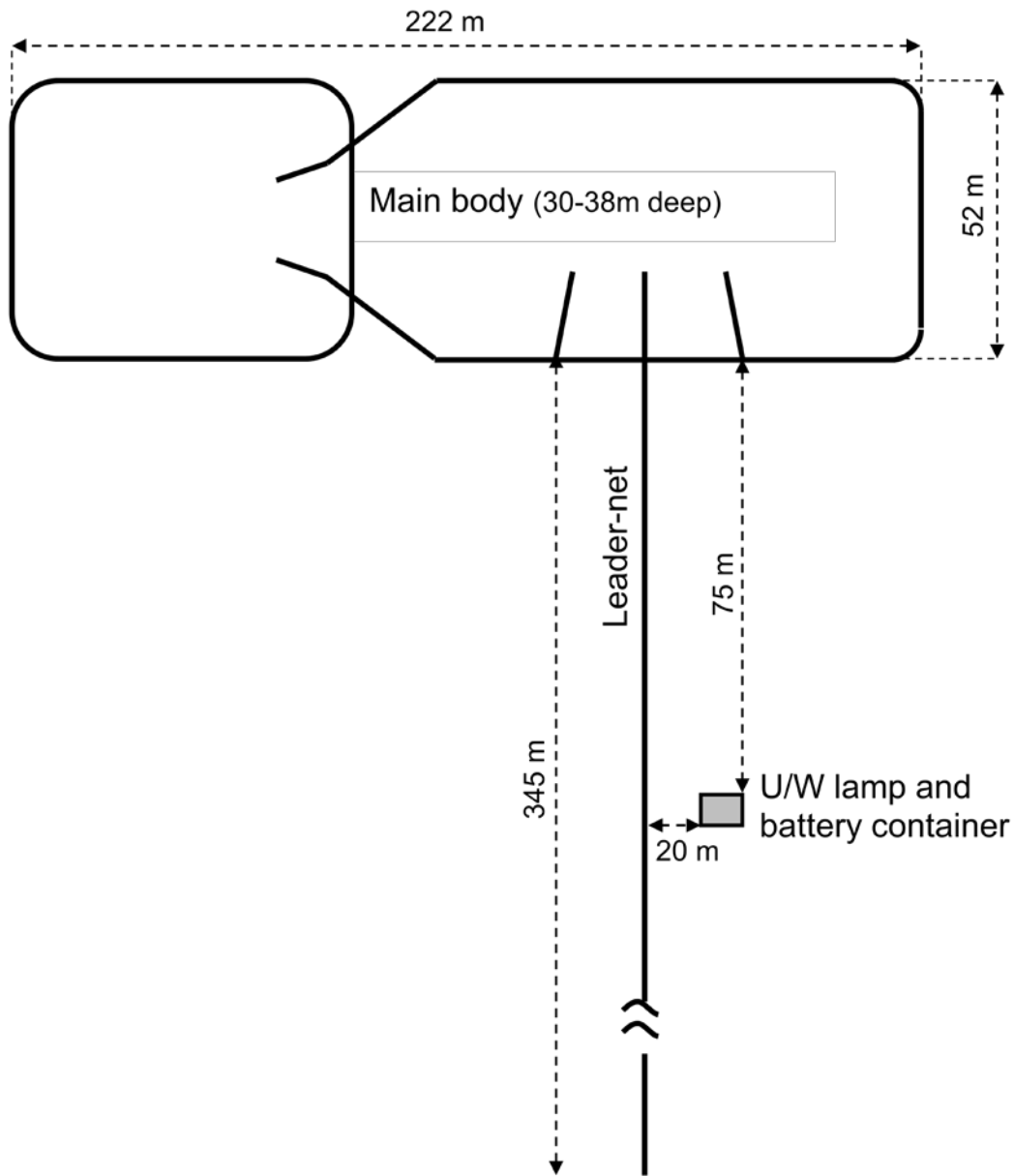
	Light-on (hh:mm)	Light-off (hh:mm)	No. of hauls	Sunrise (hh:mm)	Sunset (hh:mm)
Oct.2 2007-Feb. 29 2008	19:00	01:00	On 46 Off 55	06:15-07:23	17:14-18:16
Aug. 1 2008-Aug. 31 2008	20:00	01:00	On 11 Off 12	05:34-05:54	18:48-19:20
Oct. 21 2009- Dec. 7 2009	22:00	03:00	On 16 Off 17	06:28-07:09	17:14-17:42

3

4



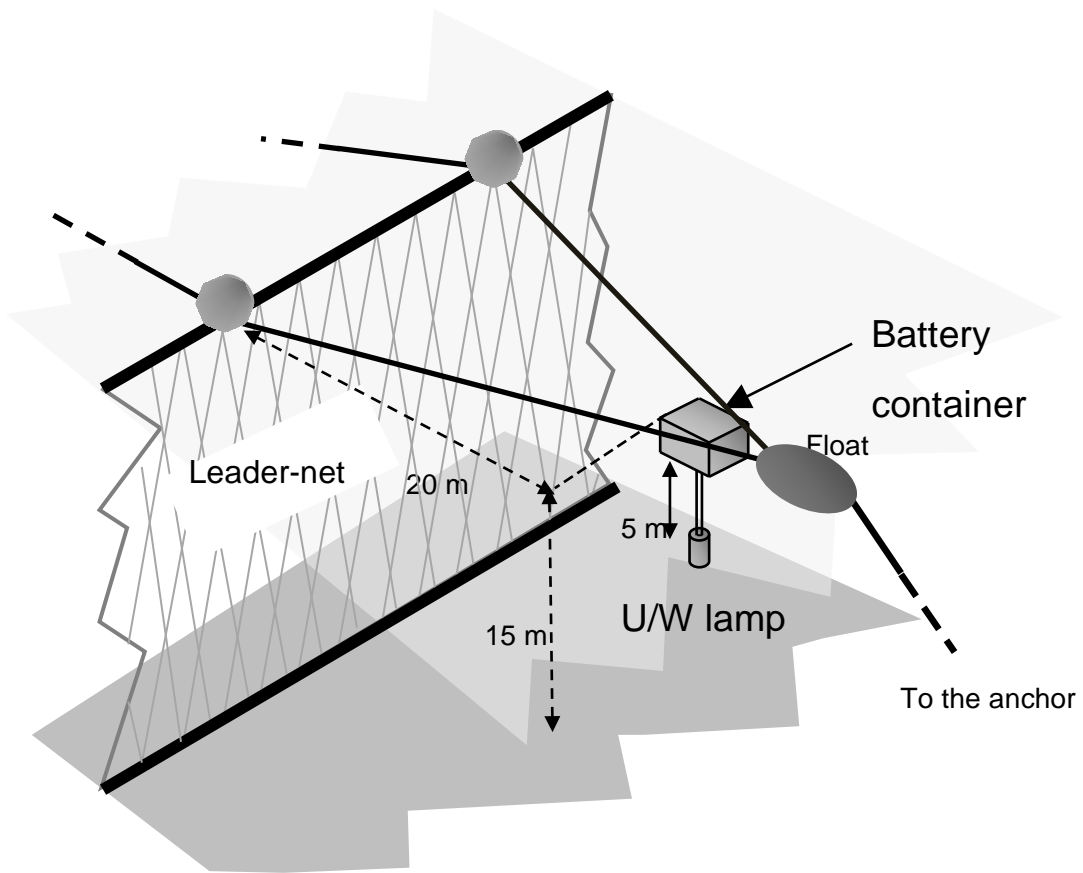
16 Fig.1 Masuda et al.



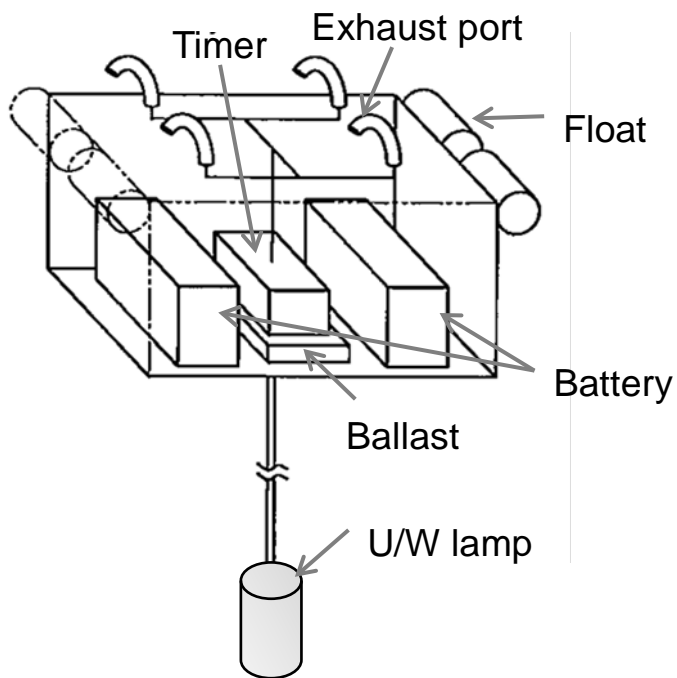
1

2 Fig.2 Masuda et al.

3



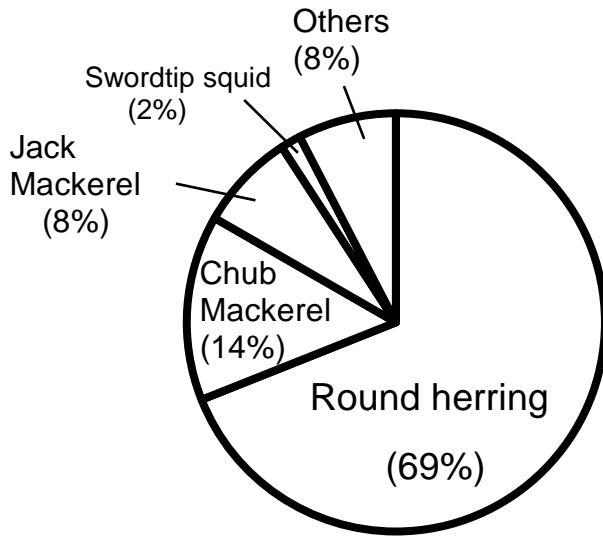
1



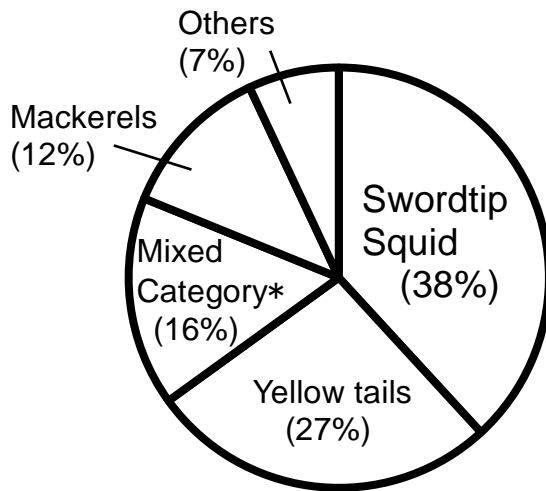
2

3

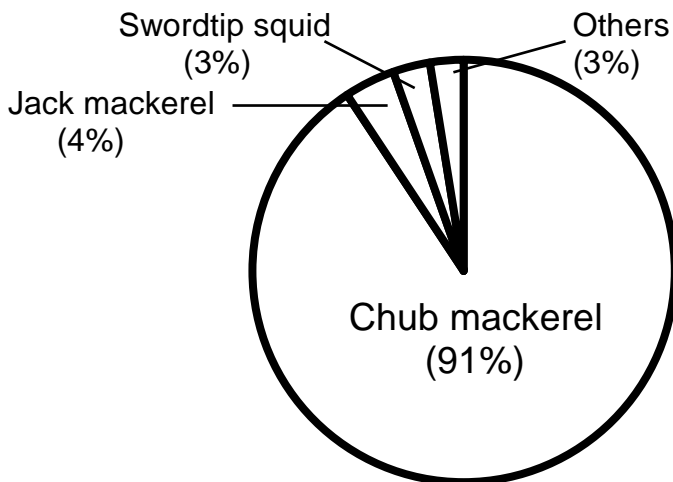
4 Fig.3 Masuda et al.



1 **2007: 109,246 kg (N=101)**

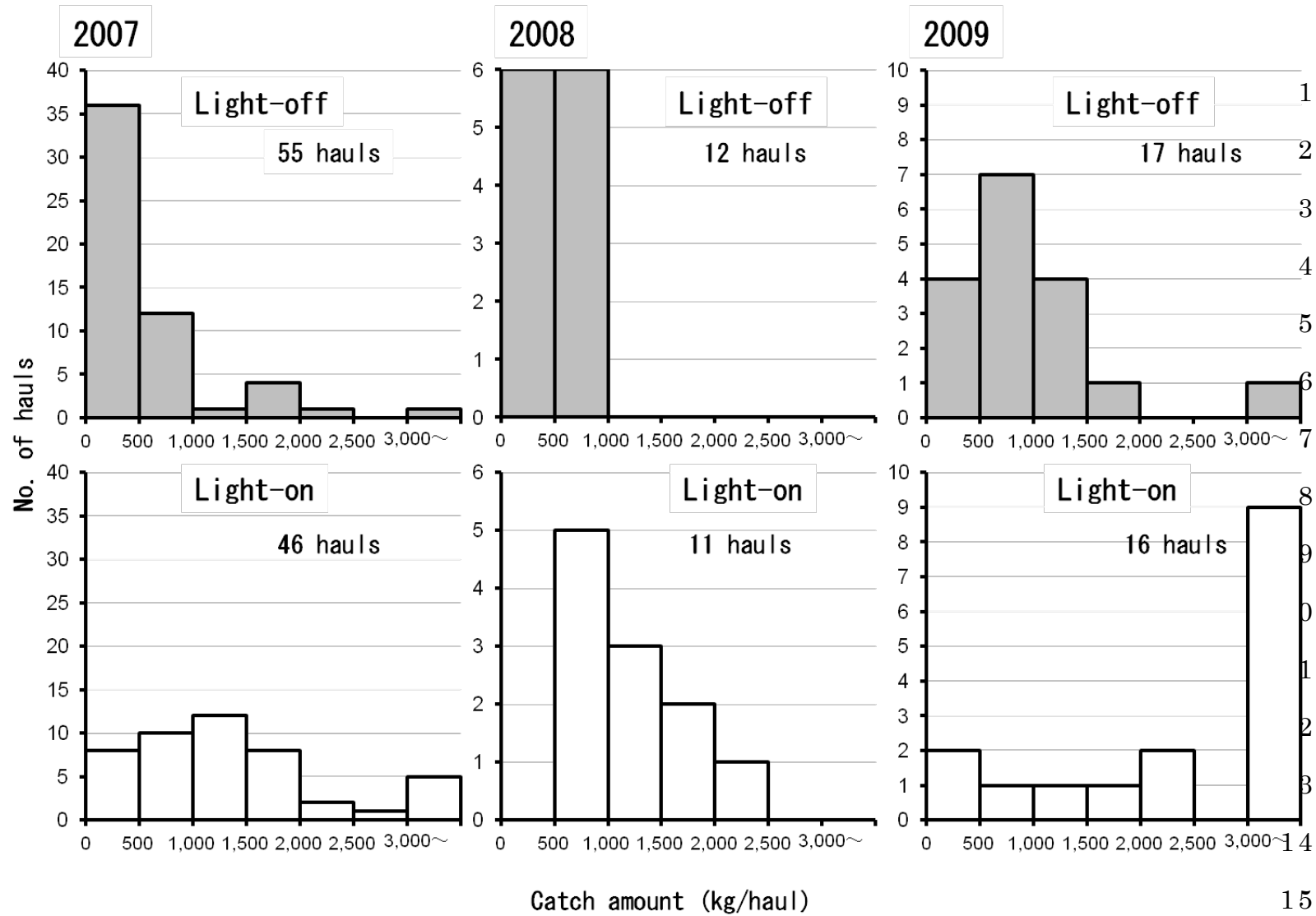


2 **2008: 19,544 kg (N=23)**



3 **2009: 108,325 kg (N=28)**

4 Fig.4 Masuda et al.

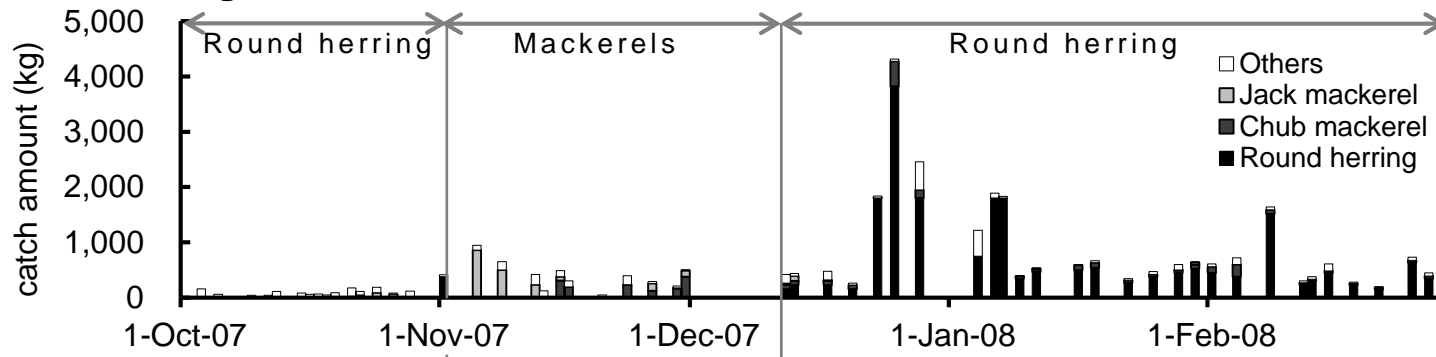


16 Fig.5 Masuda et al.

17

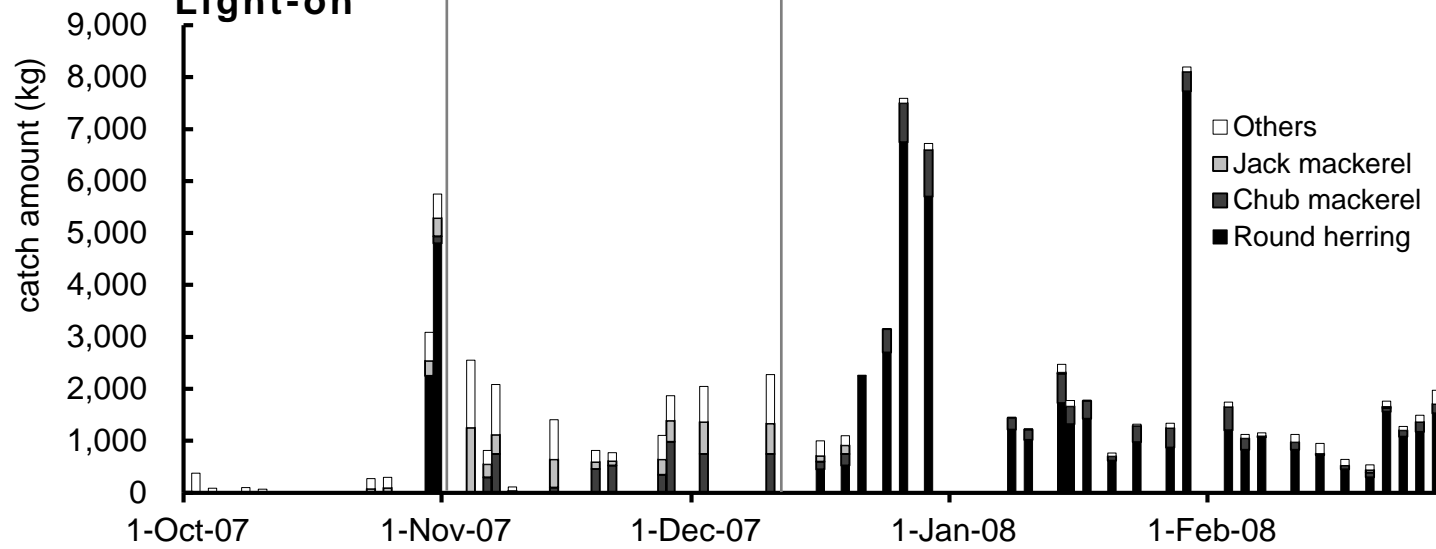
2007

Light-off



1

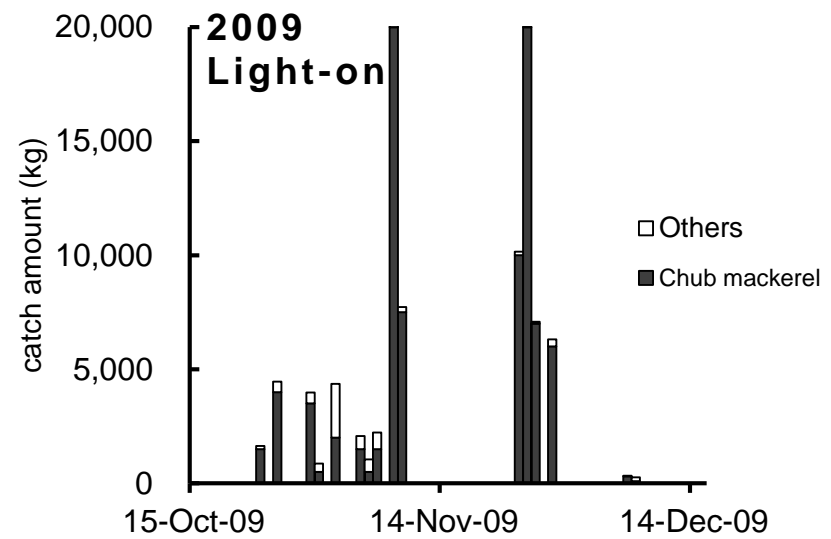
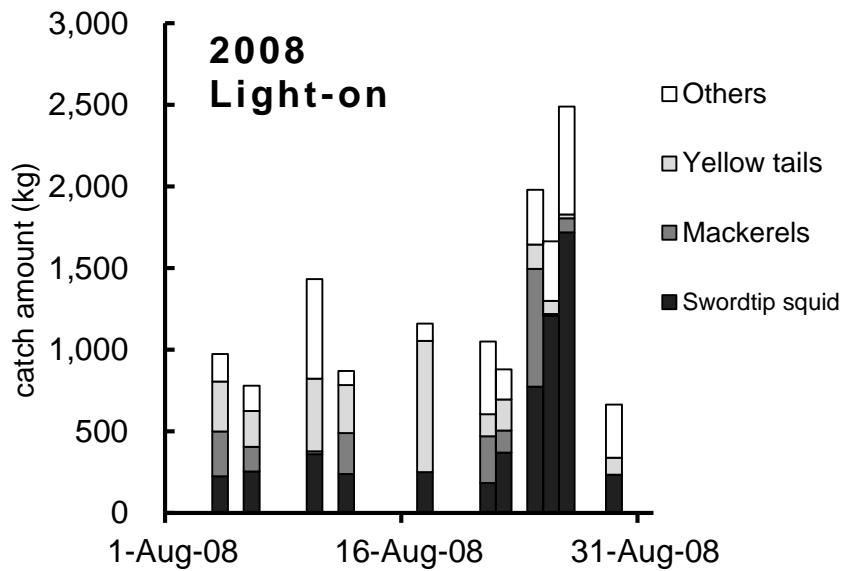
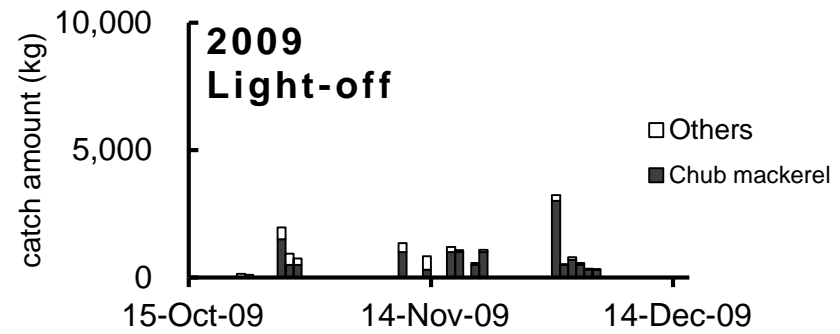
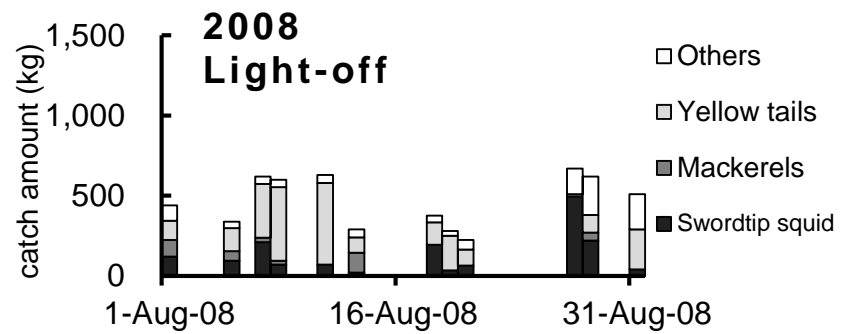
Light-on



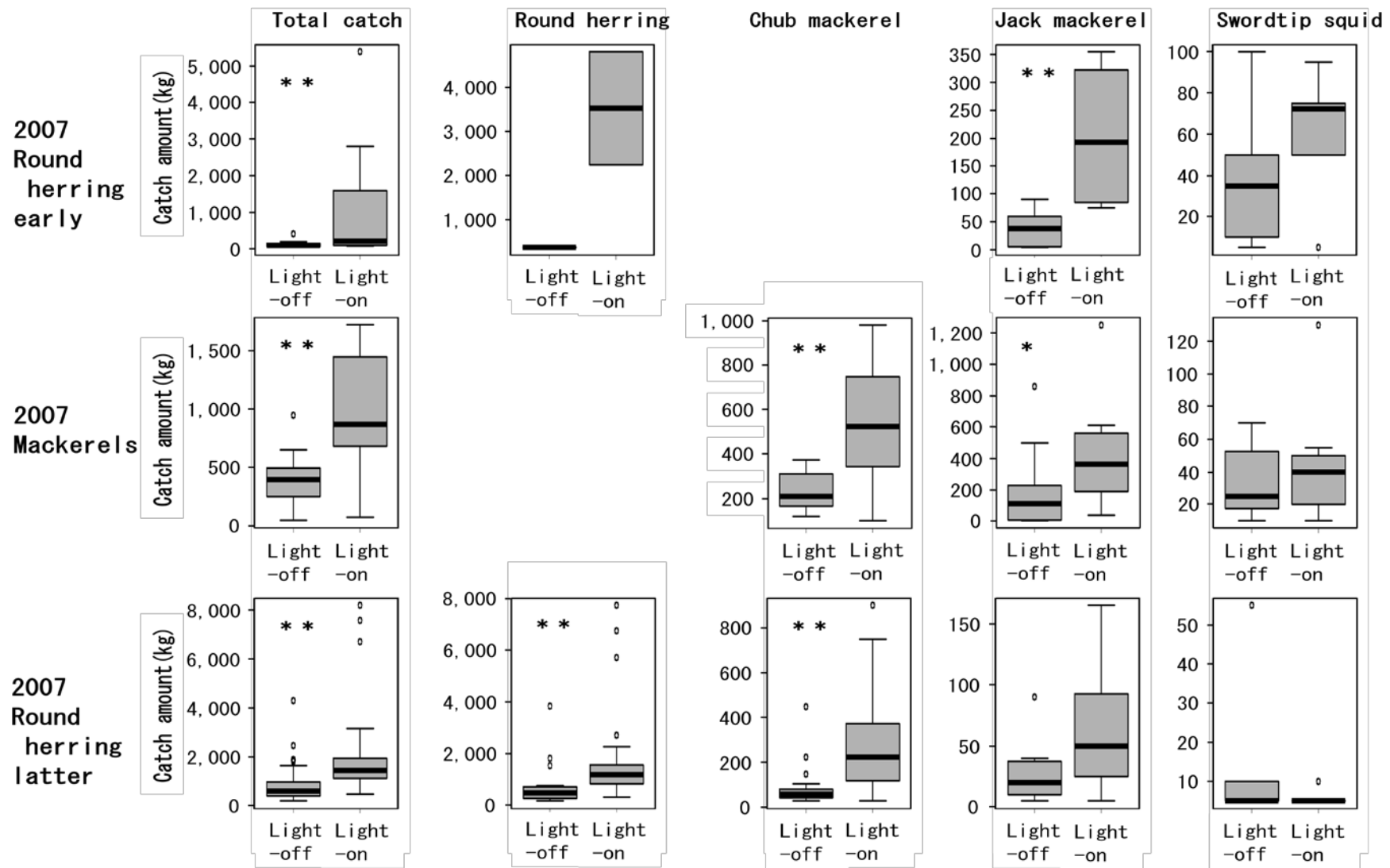
2

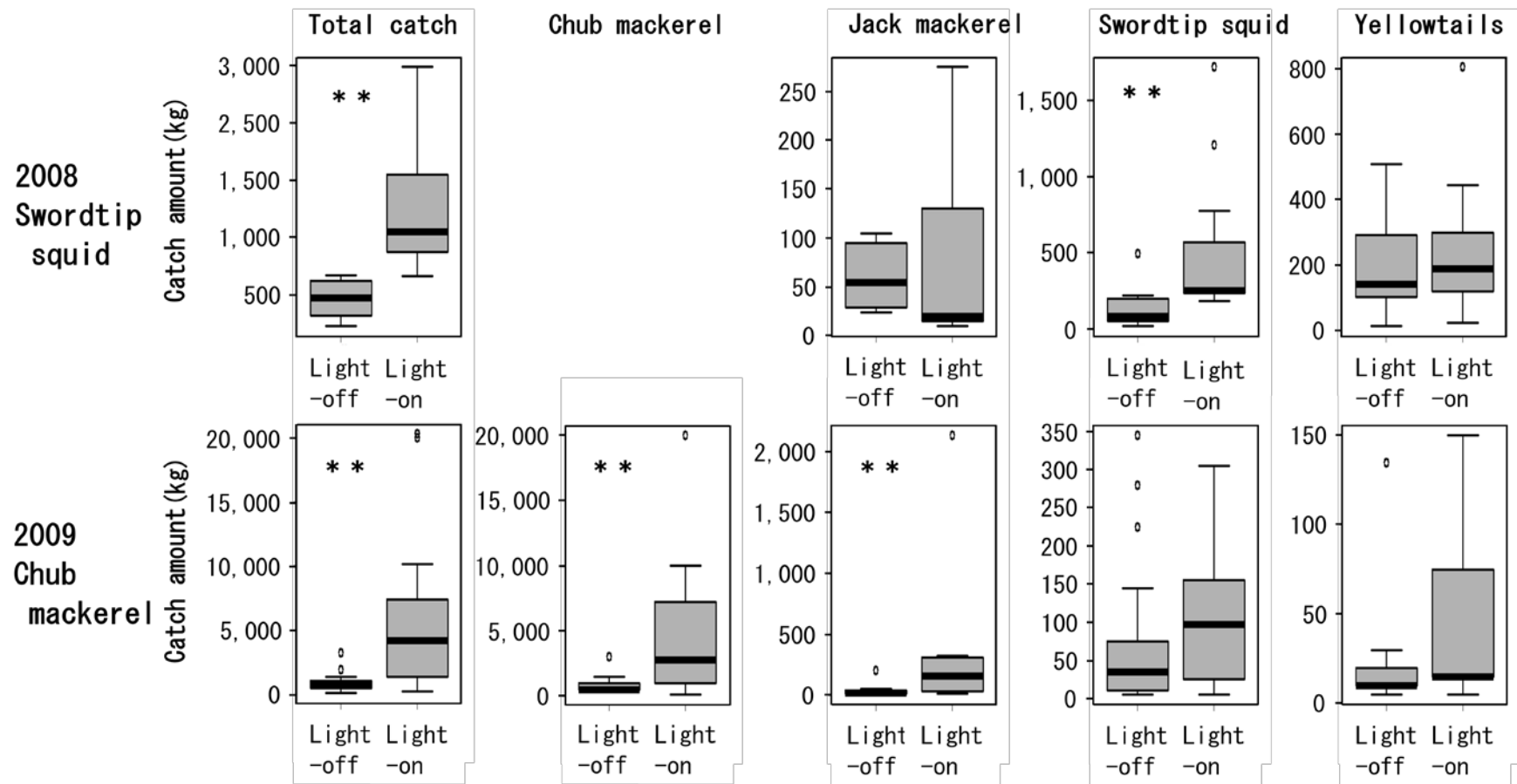
3

4



1 Fig.6 Masuda et al.



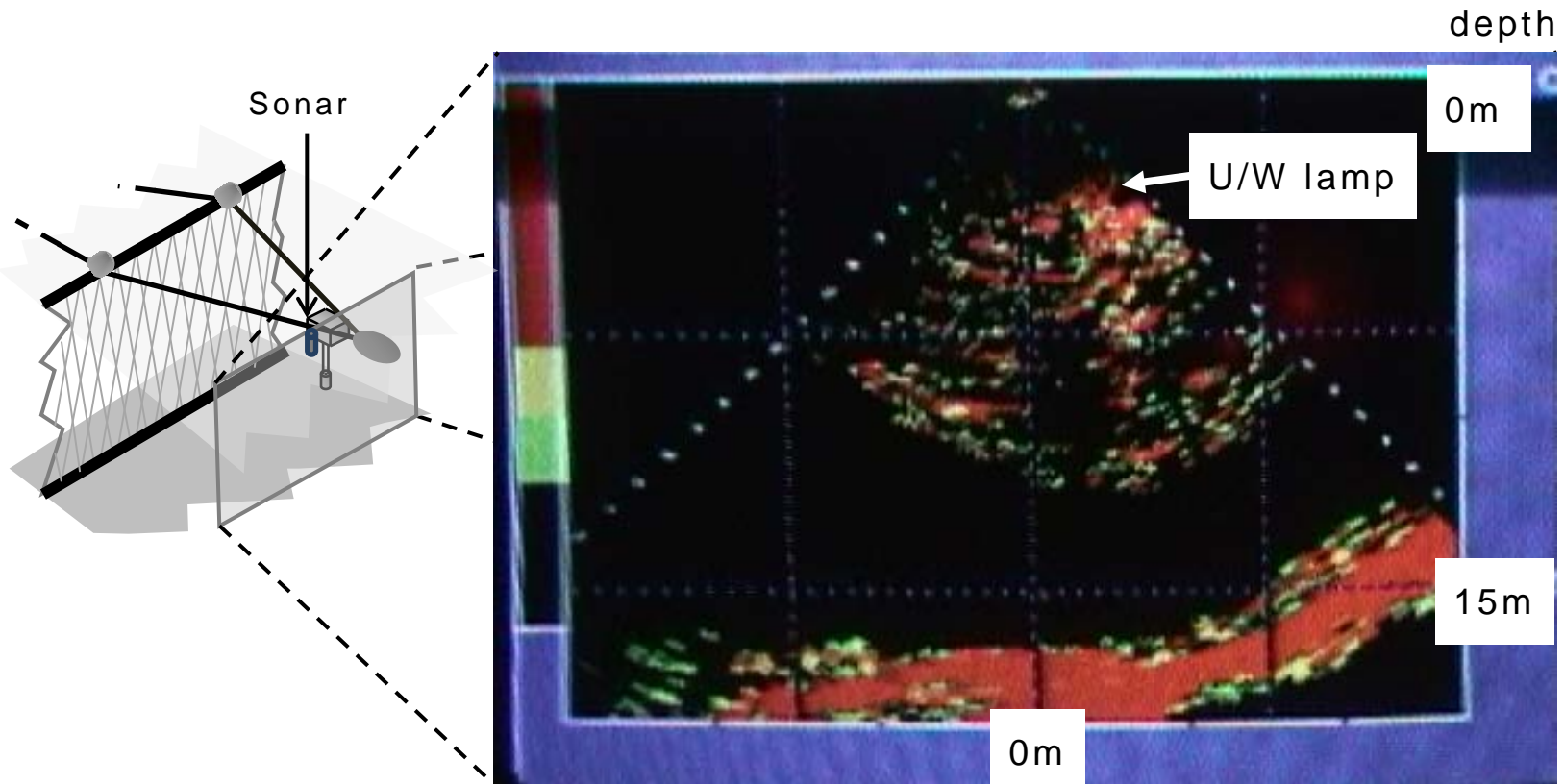


1

2

3 Fig.7 Masuda et al.

1



2

3

4 Fig.8 Masuda et al.