

1 タイトル：垣網前面に水中灯を装着した定置網周辺の魚群行動

2

3 ランニングタイトル：水中灯点灯時の定置網周辺の魚群行動

4

5 舩田大作^{*1,3}, 前田将宏¹, 甲斐修也¹, 笹本義晴¹, 柳野陽一¹, 古川恵一², 松

6 下吉樹³

7

8 ¹長崎県総合水産試験場, ²西日本ニチモウ株式会社, ³長崎大学大学院水産・環

9 境科学総合研究科

10

11 Fish behavior around the trap-net with a low-power underwater lamp lighted leader-net

12

13 DAISAKU MASUDA^{*1}, MASAHIRO MAEDA¹, SHUYA KAI¹, YOSHIHARU

14 SASAMOTO¹, YOICHI YANAGINO¹, KEIICHI FURUKAWA² AND YOSHIKI

15 MATSUSHITA³

16

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

18 ²*Nishinohon Nichimo Co.,Ltd. Shimonoseki, Yamaguchi, 750-1136, Japan,* ³*Graduate*

19 *School of Fisheries Science and Environmental Studies, Nagasaki University, Nagasaki,*

20 *852-8521, Japan*

21

22 *Corresponding author

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

24

和文要旨

25

26

27 垣網前面に水中灯を装着した定置網周辺の魚群行動

28

29 舛田大作, 前田将宏, 甲斐修也, 笹本義晴, 柳野陽一 (長崎水試), 古川恵一 (西

30 日本ニチモウ), 松下吉樹 (長大院水環)

31

32 長崎県平戸市生月の大型定置網の垣網に消費電力 55W の水中灯を取り付け,

33 夜間に水中灯を点灯し, 魚群の出現位置をスキャンニングソナーにより把握し

34 た。また, 水中灯の周辺で点灯前から点灯中, 点灯後にかけてマアジの標識放

35 流を行い, 定置網での標識魚の再捕率を調べた。スキャンニングソナーの観察

36 から, 水中灯点灯時には水中灯周辺での魚群出現が多くなり, 消灯後には水中

37 灯周辺の魚群が定置網の身網へ移動することを確認した。また, 水中灯の点灯

38 時に放流したマアジの定置網での再捕率は消灯時の放流に比べて高くなった。

39

40 キーワード: 垣網, 魚群行動, 水中灯, スキャンニングソナー, 定置網, 標識

41 放流

42

43 **Abstract**

44

45 Fish behavior around the trap-net with a low-power underwater lamp lighted leader-net

46

47 The 55 W underwater discharge lamp was set in front of the leader-net of the trap-net in

48 Hirado Island, Nagasaki. The light was left on for 4 hours during the nighttime. We

49 observed fish schools around the trap-net by using a scanning sonar. Fish schools were

50 frequently observed around the lamp during illumination and tended to move to the

51 entrance of the trap-net when the lamp was turned off. We also released tagged jack

52 mackerels before, during and after illumination from 3 locations in front of the leader-

53 net to assess the effect of illumination on the catch performance of the trap-net.

54 Recapture rate of jack mackerel during illumination was higher than other time periods.

55 Thus, the underwater illumination helps by making fish remain around the trap-net and

56 consequently improving catch performance of the trap-net fishing.

57

58

59 定置網の漁獲は、敷設した漁場に来遊する魚群の行動に依存するところが大
60 きい。また、定置網では漁場周辺に来遊した魚群の一部しか漁獲¹⁾されておら
61 ず、さらに一旦入網しても時間が経過すると出ていくこと^{2,3)}が知られてい
62 る。定置網漁場に来遊した魚群がどのように行動するかについては、これまで
63 に標識放流⁴⁻⁶⁾や音響機器,⁷⁻¹²⁾水中カメラ^{13,14)}などを用いた魚群の行動観察
64 が一部の漁場で行われ、魚群は、海底地形や潮流などの影響を受けながら垣網
65 前面にまで到達し、その後、垣網に近づき、進行方向と垣網の設置方向が大き
66 く変わらないときに漁獲されやすいことが報告された。¹¹⁾したがって定置網の
67 漁獲を高めるためには、まず、垣網が来遊した魚群を遮断・誘導する効果を高
68 めることが重要である。その一手法として、定置網の垣網周辺で小電力の水中
69 灯を点灯して魚群を滞留させ、明け方前に消灯して、水中灯周辺の魚群を身網
70 へ誘導することで漁獲増加を目指す漁獲試験を行った。その結果、対馬市尾崎
71 の大型定置網では、水中灯点灯日の漁獲量が有意に増加することを確認した。
72 ¹⁵⁾しかし、この研究結果からは水中灯の使用によって期待する漁獲過程のう
73 ち、水中灯周辺で魚群が滞留する過程しか確認できていない。

74 本研究では、定置網の垣網周辺に設置した小電力の水中灯の点灯と消灯時に
75 おける魚群の出現を、スキャンニングソナー（以下、ソナー）を用いて観察し
76 た。さらに、水中灯を用いた定置網の漁獲効率を検討するため、標識放流を行
77 い、標識魚の再捕率を調べた。これらの魚群観察や標識放流魚の再捕率から、
78 定置網の漁獲過程における水中灯の機能について考察する。

79

80

材料と方法

81

82 **調査漁場と漁具設備** ソナーと標識放流調査は、Fig.1 に示す長崎県平戸市生月
83 町の大型定置網漁場で、2011年11月14日から翌日15日にかけて行った。調

Fig.1

84 査漁場周辺の海底地形は、2006年7月25日に長崎県総合水産試験場漁業指導
85 調査船ゆめとび（19トン、以下ゆめとび）によりサイドスキャンソナー
86 （EdgeTech社製, DF-1000）と魚群探知機（古野電気株式会社製, FE-651）なら
87 びに DGPS を用いて調査した。¹⁶⁾定置網周辺の海底はほとんどが砂地で、岸か
88 ら離れるに従ってなだらかに深くなっており、身網は水深40m付近に敷設され
89 ていた。

90 定置網の構造と水中灯の設置位置を Fig.2 に示す。網型は垣網、運動場、昇網
91 および第1箱網、第2箱網からなる両端口片落網で、身網の全長は357m、垣
92 網の全長は686mである。実験に使用した水中灯には前報¹⁵⁾と同様に水密容器
93 とメタルハライド水中灯（55W）からなる装置を使用し、この装置を端口から
94 垣網に沿って岸方向に125m、さらに垣網から垂直に20m離れた側張りの浮子
95 に水中灯の水深が5mとなるように固定した。水中灯は内蔵タイマーにより、
96 14日22時30分から15日2時30分の4時間点灯した後、消灯した。なお、日
97 没時刻と日出時刻はそれぞれ17時21分と6時52分であった。調査日の天候
98 は晴れで、月齢が18.3、月出時刻と月没時刻はそれぞれ19時58分と10時24
99 分で、水中灯の点灯時と標識放流時には上空に月が観測できた。

100 また、調査時の水中灯周辺の流況を、水中灯と同じ位置の深度15mに垂下
101 した潮流計（INFINITY-EM, JFEアレック社製）で調査した。この潮流計は流
102 速と流向を10分間隔で計測、記録するように設定した。

103 **魚群観察調査** ソナーを用いた魚群の観察は、長崎県総合水産試験場の漁業調
104 査船鶴丸（99トン、以下、調査船）を用い、調査船を Fig.1 のように定置網の
105 運動場から沖側に約150m離れた位置に係留し、搭載したソナー（古野電気社
106 製 FSV-30, 周波数：24kHz）の映像を14日17時00分から15日7時00分の
107 間、DVDに30fpsで記録した。観察範囲は調査船を中心とした半径800mの円
108 内であり、表中層を遊泳する魚群を観察するために俯角を3度に設定した。魚

Fig.2

109 群の出現位置の解析については井上ら⁷⁻¹¹⁾の方法を参考にして、観察範囲内を
110 25 m×25 m の正方形に区切り、各区画で観察された魚群を1分ごとに確認して
111 それぞれの区画における出現頻度とした。この解析方法の場合、魚群の映像の
112 形状と大きさは時間とともに変化し、魚群の映像が複数の区画に及ぶこともあ
113 るが、魚群の出現位置は映像の中心で代表させた。

114 また、水中灯の点灯と非点灯時、その周辺（身網から岸側に100-300 mの範
115 囲、一辺が200 mの正方形の範囲内、64区画分）における魚群の分布様式を判
116 断するため、森下の I_{δ} 指数を次式により計算した。

$$117 \quad I_{\delta} = n \sum_{i=1}^n \frac{x_i(x_i-1)}{N(N-1)} \quad (1)$$

118 ここで、 n は区画数(=64)、 N は魚群の総出現数、 x_i は i 番目の区画における魚
119 群の出現数である。なお、 I_{δ} 指数は、ランダム分布では $I_{\delta}=1$ となり、集中分布
120 では $I_{\delta}>1$ 、一様分布で $I_{\delta}<1$ となる。¹⁷⁾

121 **標識放流** 標識放流には、当海域周辺のまき網により漁獲された全長136 mm
122 から204 mm（平均157.2mm、標準偏差10.9 mm）のマアジ *Trachurus japonicus*
123 を6日間蓄養したものをを用いた。標識には全長40 mm（標識部20 mm、軸部
124 20 mm）のスパゲッティタグを使用した。ゆめとび船上に準備した1トンかけ
125 流し水槽にマアジを収容し、放流直前に収容したマアジをたも網ですくい上
126 げ、水槽周辺に準備した作業台の海水を含ませたスポンジ上でマアジの背鰭基
127 部に標識を取り付けた。そして一旦、標識前の魚と仕分けできるように水槽内
128 に準備したプラスチックカゴ（外寸：724×474×339 mm）の中に標識魚を戻
129 し、標識作業後にまとめて放流した。放流した時刻と放流尾数は Table 1 のと
130 おりで、水中灯付近（A）と水中灯から垣網とは反対の方向に50 m離れて係
131 留したゆめとび（B）、水中灯から垣網と平行に岸側に85 m離れた場所（C）
132 の3点で放流した。B以外の放流場所で放流する場合には、標識したマアジを
133 船外機船の水槽に収容して、放流場所まで搬送後、放流した（Fig.2）。

Table 1

134 再捕率 (RC_f , %) は、それぞれの時刻や場所で放流した標識魚が、当該定
135 置網の翌朝の揚網で漁獲された尾数 (C_n) を放流した尾数 (R_n) で除した以
136 下の (2) 式で表わされる。

$$137 \quad RC_f = (C_n / R_n) \times 100 \quad (2)$$

138

139

結 果

140

141 **漁獲物の魚種組成** 2011年11月15日は6時30分から定置網の第2箱網の揚
142 網を開始した。同操業における総漁獲量は1232 kgで、カタクチイワシ
143 *Engraulis japonaca* とマアジが重量比で全体の9割以上を占め、その他アオリ
144 イカ *Sepioteuthis lessoniana* 等が漁獲された。このことから、ソナーで観察され
145 た魚群はカタクチイワシとマアジの魚群と推定された。

146 **調査時の流況** 調査時の水中灯周辺の流況を Fig.3 に示した。流速は $0-25 \text{ cms}^{-1}$
147 の範囲で変化し、20時から3時にかけて 10 cms^{-1} を超える流れがあり、その前
148 後となる17時から20時、3時から7時にかけては 10 cms^{-1} 未満の遅い流れで
149 あった。流向は、垣網に向かう北方向への流れが多かったものの、22時から1
150 時30分の流速の速い時間帯には、北西から西南西の西方向への流れに変化し
151 た。

Fig.3

152 **魚群観察調査** 魚群は、日没前後の17時から19時にかけて出現数が多く、そ
153 の後22時まで徐々に減少したが、水中灯を点灯した22時以降再び増加に転じ、
154 0時から日出時刻の7時にかけて出現数が多くなった (Fig.4)。

Fig.4

155 魚群出現頻度は、水中灯の点灯前となる17時から22時30分の間(5時間30
156 分)が356回、点灯時の22時31分から2時30分の間(4時間)が276回、消
157 灯後の2時31分から7時の間(4時間30分)が573回であった。1時間当た
158 りの平均出現数は、それぞれ水中灯の点灯前が64.5回、点灯中が69.0回、消灯

159 後が 127.3 回となり，点灯前よりも点灯中にやや高くなり，消灯後には 2 倍近
160 くの平均出現数となった。しかし，水中灯周辺（身網から岸側に 100-300 m の
161 範囲，一辺 200 m の正方形の区画内）においては，水中灯の点灯時と消灯時を
162 比較すると，4 時間の点灯中に最大 38 回の魚群出現が観察された区画があり，
163 消灯時の出現は最大の区画でも 5 回であった (Fig.5)。また，区画ごとの魚群出
164 現数から算出した I_0 指数は，それぞれ水中灯の点灯前が 2.7，点灯中が 6.1，消
165 灯後が 3.7 で，全ての時間を通して 1 以上となった。このことから，水中灯周
166 辺の魚群分布様式は集中分布と判断され，さらに点灯中の I_0 指数は，点灯前や
167 消灯後より高いことから，水中灯点灯時には，点灯しない場合に比べて魚群が
168 特定の区画に偏って出現したものと考えられる。

Fig.5

169 点灯中に水中灯周辺で観察された魚群は，消灯後に水中灯周辺から次第に離
170 れ，沖側に敷設された身網方向へと移動していた。(Fig.6) 消灯直後（2 時 30
171 分）には，魚群の中心は垣網前面の水中灯よりも約 25 m 岸側の位置で確認さ
172 れ，消灯 20 分後（2 時 50 分）には，水中灯と身網の間まで移動し，42 分後
173 （3 時 12 分）には身網の端口付近まで到達した。この 42 分間の移動距離は直
174 線約 170 m となることから，魚群の平均移動速度は 6 cms^{-1} と推定された。

Fig.6

175 **標識放流調査** 標識放流し，翌日の定置網で再捕された標識魚の再捕率を Table
176 2 に示した。水中灯の点灯前（22 時 10 分）に，水中灯付近の A で標識放流し
177 た群れの再捕率が 10%，水中灯を消灯した後（3 時）に，B から標識放流した
178 群れの再捕率が 5%であった。これに対し，水中灯の点灯中に標識放流したマア
179 ジの群れの再捕率は 16-28%で，水中灯を点灯中に標識放流した群れの再捕率
180 は，放流した位置と時刻にかかわらず，消灯時の再捕率を上回った。また，水
181 中灯点灯中の放流位置別の再捕率を比較すると，A から標識放流した群れの再
182 捕率が 28%と最も高く，次いで C で標識放流した群れが 19%，B から標識放流
183 した群れが 16%であった。

Table 2

184

185

考 察

186

187 ソナーを用いて垣網周辺に設置した水中灯の点灯時と点灯前後の消灯時にお
188 ける魚群の分布を観察した結果、水中灯の点灯時には、水中灯の周辺で魚群の
189 出現頻度が高くなることを確認した。本研究で対象となったカタクチイワシや
190 マアジは、正の走光性を持つ魚種とされていることから、¹⁸⁾水中灯の光にこれ
191 らの種が蝟集し、滞留したものと考えられる。本研究と同様にソナーを用いて
192 定置網漁場周辺におけるカタクチイワシ魚群を観察した三重県の調査¹²⁾では、
193 魚群は昼間を主体に観察され、日没から日出までの夜間にはほとんど観察され
194 ていない。これに対し本研究では、日没後、三重県の調査と同様に魚群の出現
195 頻度が低下したが、夜間に小電力の水中灯を点灯後、再び水中灯の周辺では魚
196 群の出現頻度が高くなった。また、水中灯周辺で行った標識放流において、放
197 流直後の標識魚の行動を海面から目視で観察したところ、消灯時には作業用の
198 懐中電灯のわずかな明るさのなかで、それぞれの標識魚が四方に散らばるよう
199 に海中へと遊泳する様子が見られたが、水中灯点灯中には、標識魚が群れとな
200 って遊泳していた。このことは、水中灯の光が、魚相互の個体認識とこれに起
201 因する群れの形成を促進しているものと思われる。さらに、水中灯の点灯時に
202 標識放流したマアジの群れの再捕率は、消灯時に放流したマアジの群れのそれ
203 と比べて、いずれも高くなった。このことから、正の走光性を有する魚類の視
204 覚機能が低下する夜間においては、垣網周辺で魚を滞留させ群れを形成させた
205 ほうが定置網に入網し、漁獲比率（漁獲量／来遊魚群数）¹¹⁾が高くなる可能性
206 を示唆している。すなわち、垣網に来遊してきた魚が群れを形成している状態
207 と分散した状態では、その後の定置網の漁獲比率が異なるものと考えられる。

208 水中灯を消灯後、水中灯周辺に滞留した魚群は身網へと移動し、42分後には

209 身網に到達した。水中灯周辺に滞留した魚群を定置網で漁獲するためには、水
210 中灯を消灯後、その魚群が定置網に達するために必要な時間を把握し、消灯す
211 る時間帯を検討することが望ましい。Videler¹⁹⁾によると、魚が疲れることなく
212 持続的に泳ぐことができる速度を optimum speed と呼び、その速さは体長の 1-
213 2 倍(1-2 BLs⁻¹)とされ、本研究の定置網で漁獲されたカタクチイワシ(約 13cm)
214 の場合には、13-26 cms⁻¹になると試算される。また、定置網周辺の魚群移動に
215 関して、井上¹¹⁾は定置網周辺における魚群の平均移動速度は、スルメイカを除
216 いたマイワシやゴマサバ等の魚種ではその魚体の大きさの違いにかかわらず
217 15 cms⁻¹前後で卓越すると報告している。一方、本研究で観察された魚群の移動
218 速度はそれよりも遅い 6 cms⁻¹で、垣網に複数の集魚灯を取り付けて岸側から順
219 に消灯した Sasaki の実験²⁰⁾での、集魚灯設置間隔 20m と点灯消灯の間隔(5 分)
220 から推測される魚群の移動速度(6.7 cms⁻¹)とほぼ同様であることから、昼間と
221 夜間の魚群の移動速度が異なる可能性が考えられる。水中灯で集められた魚群
222 は、消灯後にすぐに分散するわけではなく、群れを維持した状態での移動が確
223 認され、夜間の魚群の移動速度は昼間よりも遅くなった。このような魚類の暗
224 環境における移動速度の変化については、例えばタイセイヨウサケ *Salmo*
225 *salar*²¹⁾ は生け簀の中で夜間には遊泳を止めることや、ニシン *Clupea harengus* の
226 幼魚²²⁾は夜間の視覚の低下に伴って、遊泳速度が遅くなることが報告されてい
227 る。本研究で観察された魚群も視覚機能が低下する夜間には、昼間よりも魚群
228 の移動速度が遅くなったと考えられる。

229 定置網の箱網が保持できる魚群の量には上限があると考えられている。11 月
230 15 日の漁獲量は約 1.2 トンと大型定置網の漁獲量としては少ないので、漁具の
231 規模が魚の行動と漁獲量との関係に与えた影響は小さいと考えた。^{23,24)}水中灯
232 点灯時に行った標識放流から、水中灯付近に放流した A の再捕率がその周辺で
233 の放流 B,C よりも高くなっており、より水中灯付近に来遊した魚群の漁獲比率

234 が高まると考えられる。さらに、水中灯周辺で放流した B と C の再捕率を比較
235 すると、水中灯と放流位置の関係が垣網に対して平行となる C が、水中灯と放
236 流位置の関係が垣網に対して垂直となる B よりも高くなっており、垣網に対す
237 る魚群の進入角度を小さくすることは入網率を高める効果¹¹⁾があるということ
238 と一致している。ただし、B の放流は C の放流の 4 時間前に行われたことを考
239 慮すると、この再捕率の違いは水中灯周辺での滞留時間の違いの影響を受けた
240 可能性もある。

241 以上、垣網に設置した小電力の水中灯を夜間点灯させることにより、その周
242 辺に魚類を滞留・成群させ、消灯後も蟻集した魚群を分散させることなく端口
243 方向へ移動させる傾向があることを明らかにした。また、垣網付近のマアジが
244 箱網で漁獲される比率は、水中灯の光の有無に関連する可能性が高いことも示
245 すことができた。定置網の漁獲機能のうち、垣網は漁場に来遊した魚群を遮断
246 し、身網へと誘導する機能を持つとされ、¹¹⁾垣網の有無が定置網の漁獲量に大
247 きく影響する。垣網を撤去した場合の定置網の漁獲量と垣網を設置した場合の
248 漁獲量を比較した神奈川県の小型定置網では、垣網を撤去した場合には漁獲量
249 が減少することが確認されている。²⁵⁾このような垣網の役割に加え、今回の垣
250 網に装着した水中灯には、魚群が垣網を認識しづらくなる夜間に、垣網周辺に
251 来遊した魚群を水中灯の光によって滞留・成群させる機能が付加され、定置網
252 の漁獲比率を高めるものと考えられる。

253 垣網周辺の魚群の身網への誘導には、垣網の他、定置網漁場の地形が影響す
254 る。水中灯の設置には、それぞれの漁場の海底地形や潮流から予想される魚群
255 の移動を考慮することが望ましい。例えば、平坦な海底地形を有する漁場では、
256 水中灯の光によって垣網前面に来遊した魚群の滞留と蓄積を促進し、定置網の
257 漁獲の増加に寄与できる可能性がある。また、魚群が定置網前面に来遊する時
258 間帯に応じた点灯方法の検討も重要である。これらの魚群状況や来遊時間帯を

259 把握するためには、今回のスキヤニングソナーによる調査や標識放流等の調
260 査は有効であると考えられる。一方、本研究で行った調査手法は大規模で、使
261 用船舶や労力の関係から1日しか実施できなかつた。近年では定置網漁場にPPI
262 ソナーを設置し、陸上から遠隔操作するシステムも開発されている。²⁶⁾こうし
263 た機器を使用しながら、垣網周辺の魚群行動や来遊時間帯、更にはそれらの魚
264 群行動を制御する今回のような小電力の水中灯利用に関する知見の蓄積が望ま
265 れる。

266

267

謝 辞

268 本研究の水中灯設置や漁獲量報告には生月漁業協同組合並びに同漁協松本漁
269 場漁労長富山秀樹氏にご協力頂いた。また、漁業調査船鶴丸と漁業指導調査船
270 ゆめとびの乗組員の皆様には洋上調査全般にご尽力いただいた。ここに記して
271 謝意を表す。

272

273

文 献

- 274 1) 平元泰輔. 相模湾における定置網型の変遷－1. 神奈川県水産試験研究報告.
275 1994 ; **15** : 15-19
- 276 2) 秋山清二, Baskoro MS, 有元貴文. 小型定置網への魚群の入網時刻. 日本水
277 産学会誌. 1995 ; **61** : 738-743
- 278 3) 秋山清二, 有元貴文. 定置網の揚網間隔と漁獲量. 日本水産学会誌. 1997 ;
279 63 : 340-344
- 280 4) 町田末広, 徳永武雄. 定置網周辺に放流した標識魚の入網状況と礁との関係.
281 ていち 1982 ; 62 : 34-43
- 282 5) 平元泰輔. 定置網内の標識放流と居残り率について. ていち 1970 ; 43 : 14-
283 21

- 284 6) 長洞幸夫. 定置網漁場周辺でのサケの標識放流調査結果について. ていち
285 1984 ; 67 : 55-86
- 286 7) 井上喜洋, 田原陽三, 松尾勝樹. 魚群の日周行動と定置網. 日本水産学会誌.
287 1986 ; 52 : 55-60
- 288 8) 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.
289 日本水産学会誌. 1986 ; 53 : 1739-1744
- 290 9) 井上喜洋, 長洞幸夫, 渡部俊広, 石田享一. 定置網の張り建てによる魚群行
291 動の変化. 日本水産学会誌. 1987 ; 53 : 695-698
- 292 10) 井上喜洋, 長洞幸夫. 三陸沿岸の定置網漁場におけるサケ魚群の行動. 日本
293 水産学会誌. 1987 ; 53 : 699-704
- 294 11) 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
295 産工学研究所研究報告. 1988 ; 9 : 227-287
- 296 12) 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
297 する魚群の行動. 日本水産学会誌. 1993 ; 59 : 1337-1342
- 298 13) Miura T. Trial Observation of Filefish Behavior in a Small Set-net with a Remote
299 Monitoring TV System. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 1993 ; 44(4) : 171-178
- 300 14) 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
301 工学. 2006 ; **42(3)** : 213-217
- 302 15) 舩田大作, 熊沢泰生, 武内要人, 甲斐修也, 松下吉樹. 垣網への水中灯装着
303 による定置網の漁獲の変化. 日本水産学会誌. 2012 ; **78** : 870-877
- 304 16) 甲斐修也, 市山大輔, 舩田大作, 鎌田正幸, 前川英樹. 平戸市生月町松本地
305 先海底地形図. 長崎県沿岸漁場図集平成 16~20 年度, 長崎県総合水産試験
306 場, 長崎水試登録 650 号. 2009 ; 9
- 307 17) Morishita M. Measuring of the dispersion of individuals and analysis of
308 distributional patterns. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ., Ser. E(Biol.)*. 1959;2: 215-235

- 309 18)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-
310 85
- 311 19)Videler JJ., He.P. Swimming in Marine Fish. In: He P (ed). *Swimming in marine*
312 *fishes: capture processes and conservation challenges*. Wiley-Blackwell, Hoboken.
313 2010, 5-23
- 314 20)Sasaki T. Fishing apparatus equipped with a fish attraction lamp system. 日本水産
315 学会誌. 1950 ; 16 : 281-294
- 316 21)Oppedal F, Juell J-E, Tranger G. L, Hansen T. Artificial light and season affects
317 vertical distribution and swimming behavior of post-smolt Atlantic salmon in sea
318 cages. *Journal of Fish Biology*. 2001; 58: 1570-1584
- 319 22)Batty R. S. Effect of light intensity on activity and food-searching of larval herring,
320 *Clupea harengus*: a laboratory study. *Marine Biology*. 1987; 94: 323-327
- 321 23)石田善久. 定置網の箱網容積と入網漁獲量について. ていち. 1982 ; 62 : 54-
322 59
- 323 24)長洞幸夫. 定置網の箱網容積と漁獲量の関係について. 岩手県水産試験場年
324 報. 1987 ; 142-152
- 325 25)稲田博史, 小池篤, 竹内正一, 平元泰輔. 垣網の撤去が定置網の漁獲に及ぼ
326 す影響. 東京水産大学研究報告. 1996 ; 82 : 161-172
- 327 26) (有)泉澤水産. 宮城県男鹿群江島漁場の定置網操業における作業船の漁具・
328 魚群監視システム導入による省エネルギー化実証試験. 平成 21 年度省エネ
329 ルギー技術導入効果実証試験事業報告書. 社団法人海洋水産システム協会.
330 2010 ; 303-333
331

332 **【Figures caption】**

333

334 **Fig.1** Location of the trap-net where fish behavior observation was conducted.

335

336 **Fig.2** Positions of the underwater lamp (A) and where tagged jack mackerels were
337 released (A, B, C).

338

339 **Fig.3** The current direction and velocity around the underwater lamp.

340

341 **Fig.4** The number of fish schools detected by the sonar at different time of the day.

342

343 **Fig.5** Distribution of schools around the trap-net. Three sizes of circles indicate the
344 relative number of fish schools.

345

346 **Fig.6** Scanning sonar images recorded during night time. Top: during illumination,
347 middle: after an elapse of 20 minutes of light-out, bottom: after an elapse of 42
348 minutes of light-out.

349

350 **Table 1** Time, number and positions of released jack mackerel

Released time	Number	Released position*
22:10 (Light off)	200	A
22:30 (Light on)	197	B
2:10 (Light on)	200	A
2:30 (Light on)	198	C
3:15 (Light off)	285	B

351

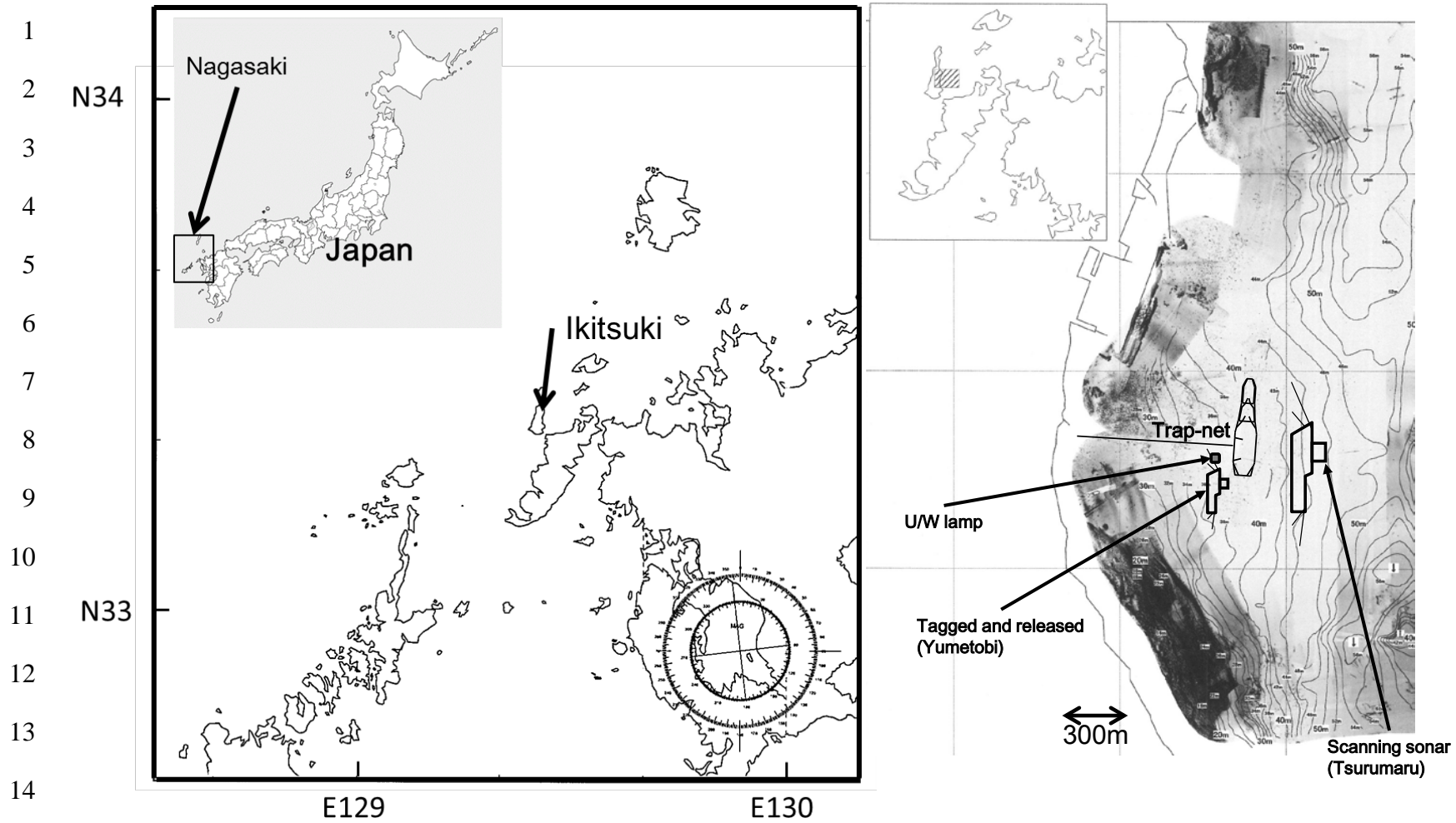
*, See Fig. 2 for details in released position.

352 **Table 2** Recapture number and its rate of released jack mackerel by released time and
 353 positions

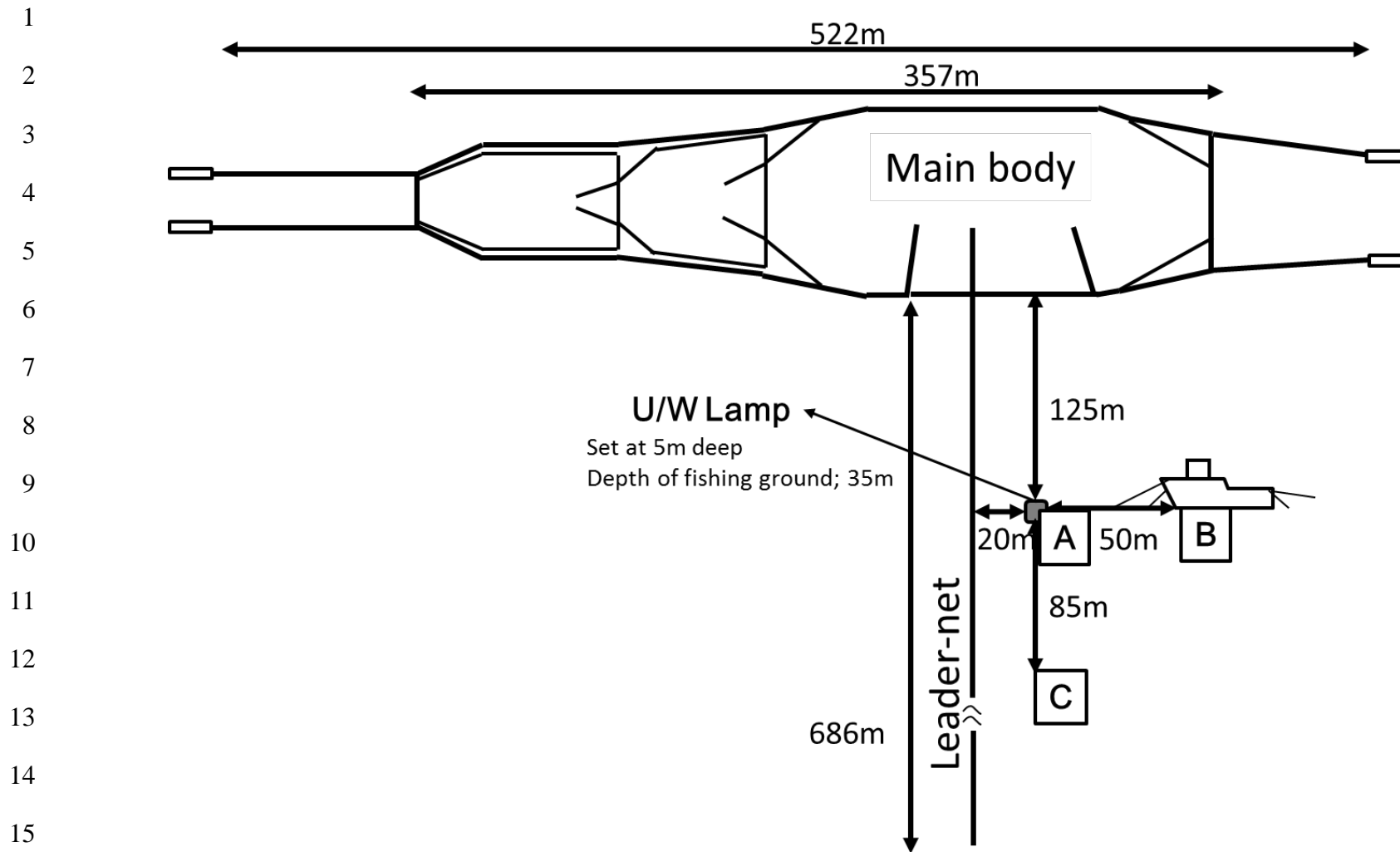
Time	Released		Recaptured	
	Position*	Number (<i>Rn</i>)	Number (<i>Cn</i>)	<i>Cn</i> / <i>Rn</i> (%)
22:10 (Light off)	A	200	20	10
22:30 (Light on)	B	197	31	16
2:10 (Light on)	A	200	56	28
2:30 (Light on)	C	198	38	19
3:15 (Light off)	B	285	14	5

354 *, See Fig. 2 for details in released position.

355



16 Fig.1 Masuda et al.



16 Fig.2 Masuda et al.

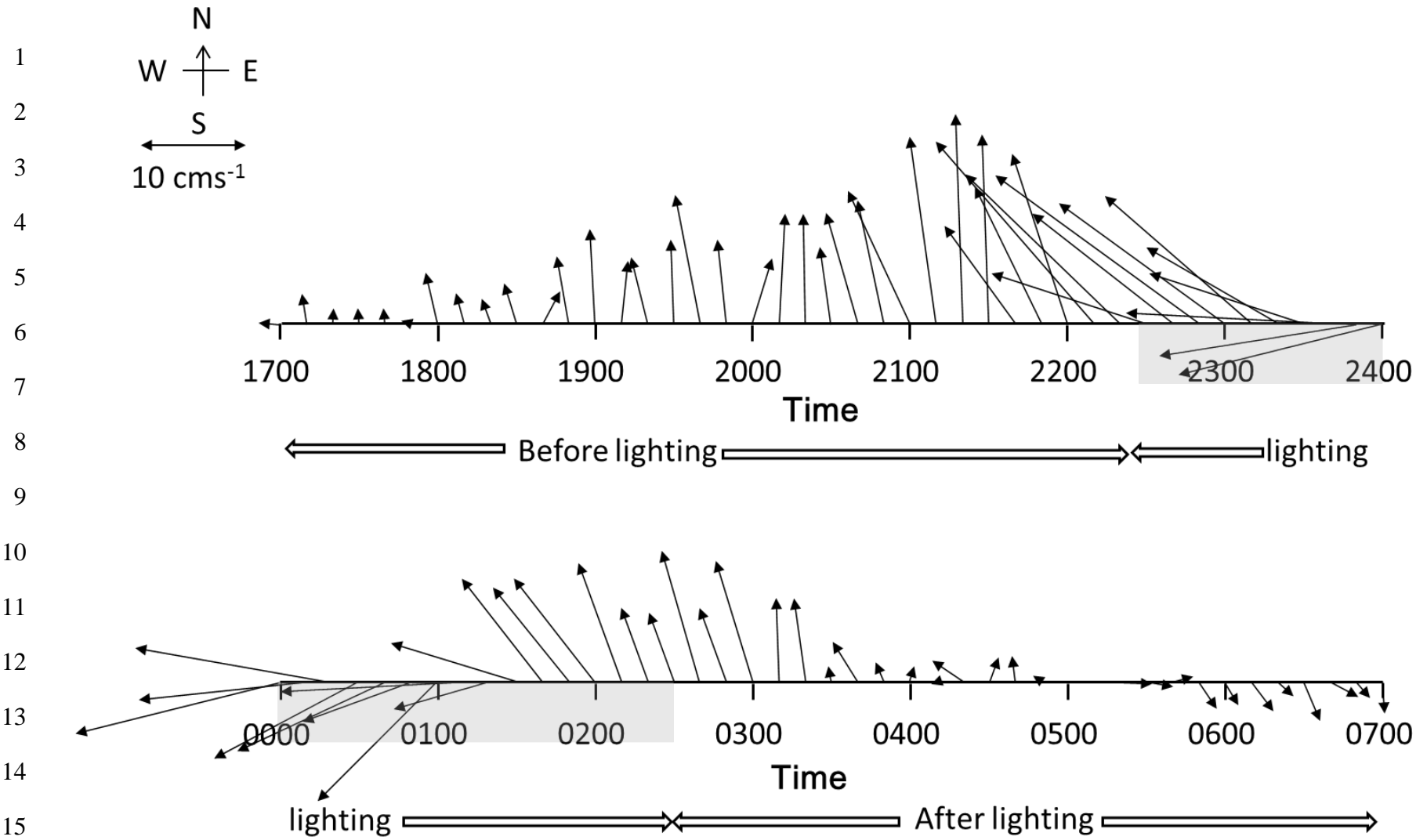
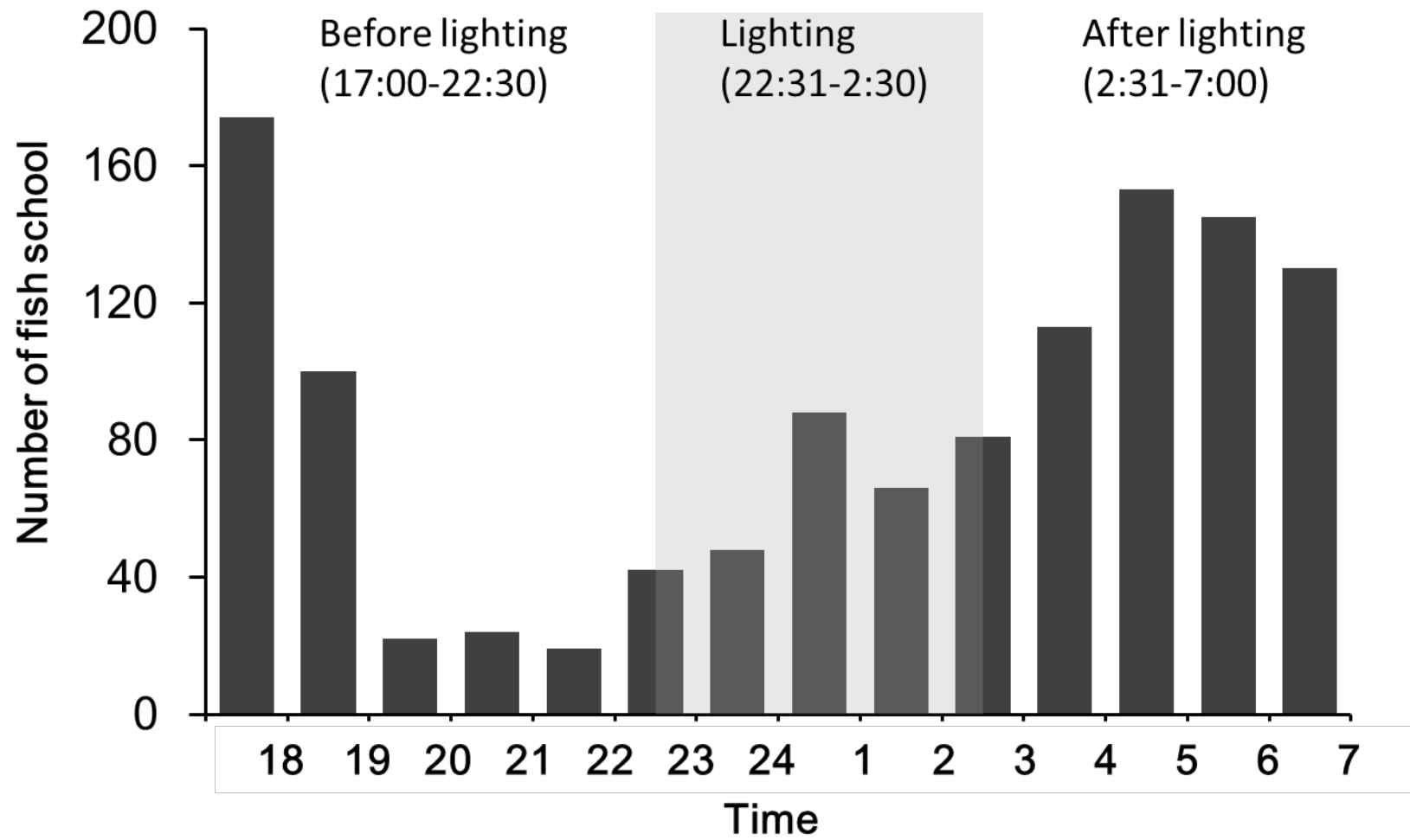


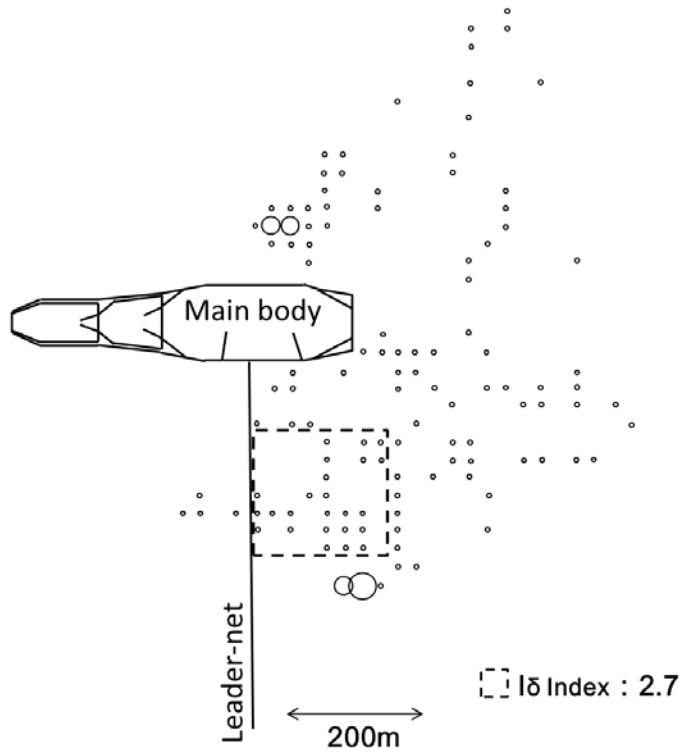
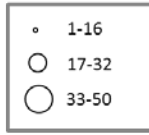
Fig.3 Masuda et al.



1

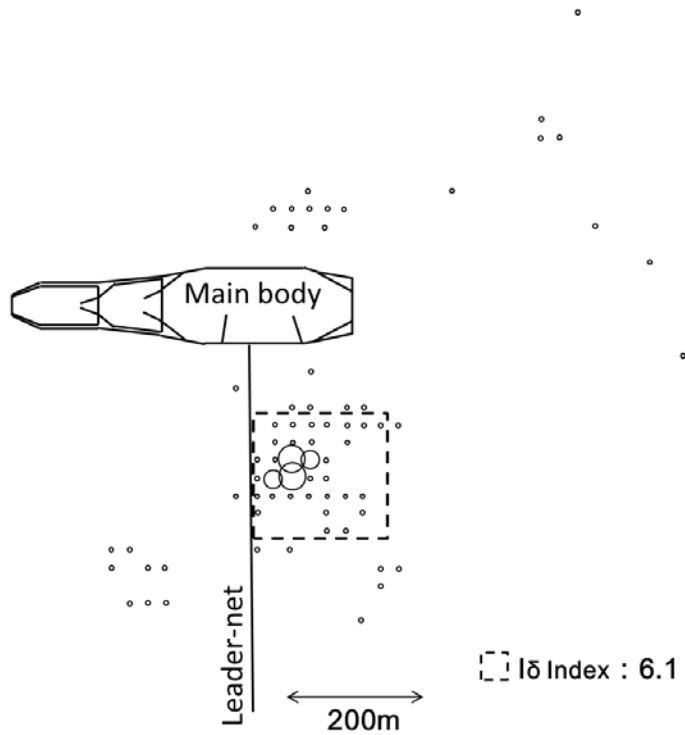
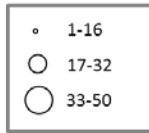
2 Fig.4 Masuda et al.

Before lighting
(17:00-22:30)



1

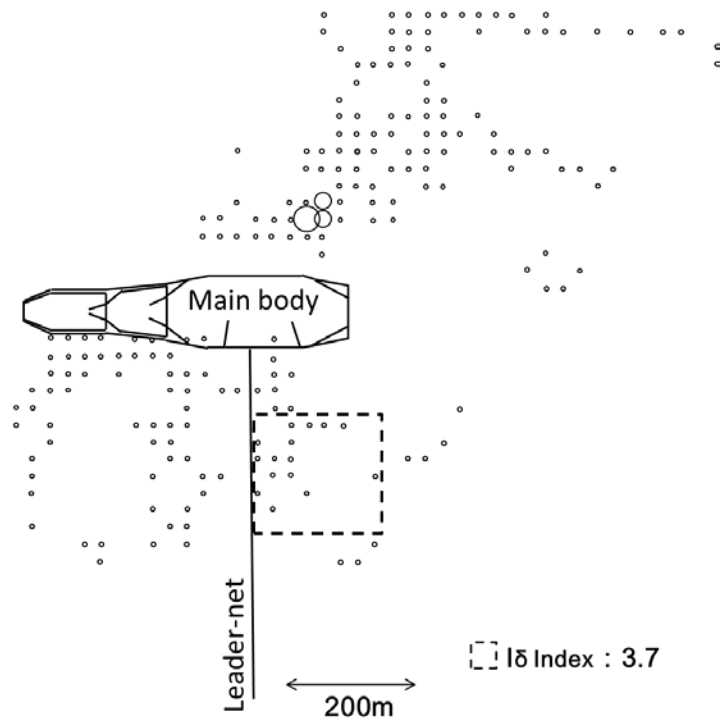
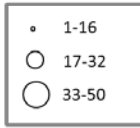
Lighting
(22:31-2:30)



2

3

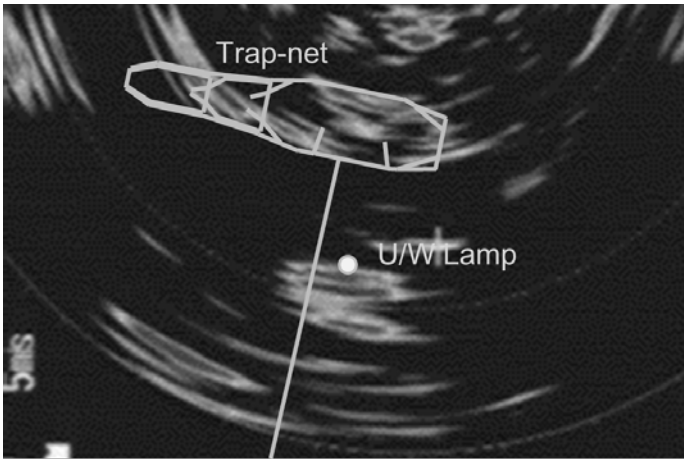
After lighting
(2:31-7:00)



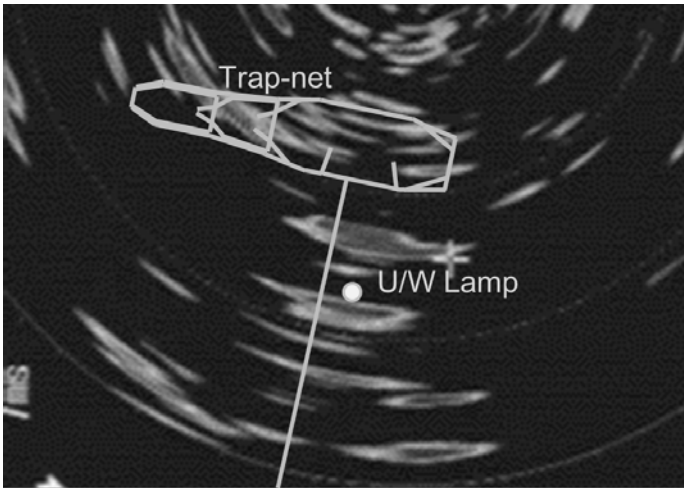
1

2 Fig.5 Masuda et al.

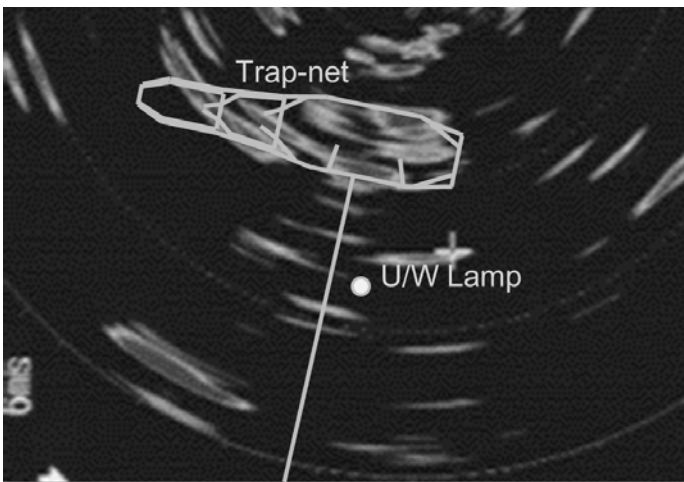
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25



11/15 2 : 30



11/15 2 : 50



11/15 3 : 12

Fig.6 Masuda et al.