

## 能登海域におけるマイワシの産卵時刻と夜間の行動

伊東祐方・渡辺和春・西村三郎・笠原昭吾

Spawning time and nocturnal behaviour of the sardine, *Sardinops melanosticta* in the Noto Sea Area, Japan Sea.

Sukekata ITO, Kazuharu WATANABE,  
Saburo NISHIMURA and Shogo KASAHARA

### I は し が き

古くからマイワシについての研究は多数あるが、産卵時刻及び夜間の行動についての研究は少い。産卵時刻については古川（'38）が卵の出現状況から夜間であろうと推論しているにすぎない。しかし、その他に中井\*、早野\*の未発表の最近の研究があり、California sardine の産卵時刻については E. H. AHLSTROM（'50）が20～24時の4時間に限られていることを報告している。また、既往の夜間の行動についての研究は大渡、古野、古野（'53）が魚探記録から大羽イワシは日中は中層に濃密に分布しているが日没1時間後には分散して帯状に分布して降下するようであると、横田（'53）はマイワシ、カタクチイワシ、サバ、ウルメイワシ、ムロアジ、イサキ、マルソーダ等（いずれも体長不明）は昼間には特有の魚群型を作つて密集し、夜は群型を解くものと考えられると述べ、また内橋（'53）は脳形からマイワシは趨光性を有し、夜間も休みなく流れに抗して群泳（游泳睡眠）しているものであろうと論じているのにとどまる。

筆者等はイワシ資源調査の一環として卵分布の均一・不均一性の問題、産卵時刻及び魚群の夜間生態などを究明する目的のもとに能登海域において1952年5月に1回、1953年4～5月に3回計4回の24時間の連続調査を実施し、上述の諸項目の中、産卵時刻、夜間の游泳層や行動などにつき若干の知見を得たので報告する。なお、卵分布の問題については他の調査資料をも加えて後日報告したい。

本調査を実施するに際し、終始御指導を賜り、また、御稿園をしてくださつた日本海区水産研究所長内橋潔博士、資源部長加藤源治氏、及び種々御指導を賜つた東海区水産研究所イワシ資源部長中井甚二郎氏に深甚なる感謝を表し、また本調査に従事され、労を惜まれなかつた第二旭丸船長綱市三郎氏その他船員各位に深く謝意を表わすものである。

\* 中井（'53）は1953年イワシ担当官会議で卵の出現状況から産卵は22～24時頃行われると報告（謄写刷）し、早野（'53）は同会議で主産卵時刻は前夜半とくに18～23時であることを報告（謄写刷）した。

## II 調査の方法

調査の期日、時刻、位置その他については下表に示す通りである。

|    | 年月日              | 時刻          | 位置                        | 水深   | 採集回数 | 月令   | 日没時刻  | 日出時刻 | 月出時刻  | 月没時刻  |
|----|------------------|-------------|---------------------------|------|------|------|-------|------|-------|-------|
| 1. | '52年5月<br>25~26日 | 15:10~15:50 | N 37°32.4'<br>E 136°47.2' | 102m | 105  | 1.3  |       |      |       |       |
| 2. | '53年4月<br>25~26日 | 15:00~ 7:00 | N 37°30'<br>E 136°58'     | 80   | 48   | 11.3 | 18:36 | 5:03 | 16:18 | 3:23  |
| 3. | '53年4月<br>27~28日 | 16:00~16:00 | N 37°30.5'<br>E 137° 1.7' | 73   | 49   | 12.3 | 18:38 | 5:02 | 17:16 | 4:17  |
| 4. | '53年5月<br>10~11日 | 13:30~13:30 | N 37°35.8'<br>E 136°45.7' | 95   | 49   | 26.3 | 18:47 | 4:47 | 2:44  | 15:58 |

卵採集のネットは罾（口径45cm, 網目ミューラー・ガーゼNo.3に相当）を使用し、50m層から表層までの垂直曳網によつた。引揚の速度は1m/secを保つよう努めた。

採集物は直ちに5%ホルマリンで固定し、帰庁後、標本のうちからマイワシ卵を選び出し、発生のstage別に分けて計数した。なお、本稿で論ずる卵数は単位時間別1回当りの採集平均数を用いたものである。

発生stageの分け方については筆者等は中井方式に1stage加えて9個のstageとした。その各stageの区分は次の通りである。

| 名称    | 記号 | 説明  | 明 |
|-------|----|---|---|
| 1.前前期 | AA | 放卵後、卵膜が扛挙するまでの期間  |   |
| 2.前期前 | Aa | 卵膜が扛挙してから、側面からみて胚膜の部分がその外縁に直交する卵黄の直径の2/3を占めるまでの期間             |   |
| 3.前期中 | Ab | Aa以後、卵黄の直径を前述の方法により観察し、その2/3が胚膜によつて占められるまでの期間                 |   |
| 4.前期後 | Ac | Ab以後、胚膜が卵黄の全面を蔽い、胚口が閉鎖するまでの期間                                 |   |
| 5.中期前 | Ba | 胚口が消失し、尾芽の末端がまだ油球に達しない期間                                      |   |
| 6.中期中 | Bb | 尾芽が油球附近に達し、まだ尾芽が顕著に隆起していない期間から Bcまでの期間                        |   |
| 7.中期後 | Bc | 尾芽が顕著に隆起し、その腹側の付根の終末点における切線に対してこの付根の終末点と尾芽の末端を結ぶ直線が直角になるまでの期間 |   |
| 8.後期前 | Ca | 尾芽が卵黄から離れて伸長し、その遊離した部分の長さがその前部の長さより短い期間                       |   |
| 9.後期後 | Cb | Ca以後から孵化するまでの期間   |   |

発生の過程において各stageに達するまでに要する時間と温度との関係については、小林('44)の報告が唯一であり、しかも、氏は水温20°Cの高温において孵化実験をしたものである。今回の産卵発育水温に比して異状に高温である。したがつて、今回は E. H. AHLSTROM ('50) が California sardine について報告したものを引用し産卵時刻の推論を進めた。氏の各stageに達するまでに要する時間と温度との関係を次頁にあるTableに掲げた。

Table Time (in hours and minutes after spawning) required to reach a stage of development at different temperature. (Based on Elbert. H. AHLSTROM '50)

| Temperature | stage Ab | stage Bb | stage Ca | stage Cb |
|-------------|----------|----------|----------|----------|
| 16.5°C      | —        | 28:05    | 41:04    | 55:07    |
| 16.0        | 13:49    | 30:01    | 44:03    | 58:58    |
| 15.5        | 14:56    | 32:04    | 47:14    | 63:05    |
| 15.0        | 16:09    | 34:16    | 50:40    | 67:29    |
| 14.5        | 17:27    | 36:37    | 54:21    | 72:12    |
| 14.0        | 18:52    | 39:08    | 58:18    | 77:14    |
| 13.5        | 20:23    | 41:50    | 62:31    | 82:38    |
| 13.0        | 22:23    | 45:07    | 67:10    | 89:08    |
| 12.5        | 24:06    | 48:05    | 73:07    | 95:56    |
| 12.0        | 25:56    | 51:11    | 77:50    | 123:19   |

マイワシ卵の浮游水層について早野 ('53) は 50 m 以深にも相当量の卵が分布していることを報じ、中井 (未発表) も卵、稚仔が相当深い所まで分布していることを指摘した。また、F. S. RUSSELL ('26) は *Sardina pilchardus* の卵は表面から底まで広く分布し、時には深い層に多数出現し、卵の各発生 stage によつて分布水層に相違があるとし、R. P. SILLIMAN ('43) は California sardine の卵では時には 50 m 層以深にも分布するが、主に 30 m 層以浅に分布していることを報告している。

E. H. AHLSTROM の各 stage に達するまでに要する時間と温度との前記関係表 (Table) は 10, 20 m 層の水温を用いて作製したものである。したがつて、後述の各 stage 別、時間別の卵の出現分布から産卵時刻を推定するに当つては一応 10, 25, 50 m 各層の水温を用い、その結果について吟味した。

魚群の行動の観察は主として調査地点で船を停止投錨せしめ、魚群探知機 (日本無線 103 型) を作動し、記録紙上に映像した魚群像から推定し、魚群映像の上端の水深をもつて游泳層とした。魚群映像の魚種の判定には昼間～夕刻にかけては毛釣によつて漁獲して確めたものである。

なお、船上での夜間観測時には 10 分間程度 24V ; 40W の電球 2 個を点灯したにすぎず、極力灯火が魚群の行動に影響を及ぼさぬように努めた。

### Ⅲ 調査結果

#### 1. 産卵時刻

(I) 1952年5月25～26日：この日の天候は25日15時から26日の3時までは快晴で26日の5～8時は晴、それ以後は曇となつた。風向、風力は15～23時まではNWの風で、風力は2～3であり、1時ごろから風向はS系に変わり、風力は2～3であつて当日は比較的静穏であつた。

水温 (Fig. 1) は 0m では 25日 15時に 16.0°C を示したが、時間の経過とともに降下し、翌 26日の 1～3時には 15.3°C に低下して、その後は順次上昇して同日 13時には 17.0°C に達しており、日変化は極めて甚しくその較差は 1.7°C に及んでいる。

0m に比して 10 m 層ではあまり変化なく、15.4～15.0°C の範囲にすぎない。しかし、25, 50 m 層では極めて大きい変異を示し、25日の 21時には急激に低下してその後翌日の 3～5時に上昇し、その後は大きな変化を示さなかつたが、25m層の場合は 9時以後また低下した。第一躍層は 25～50m層に

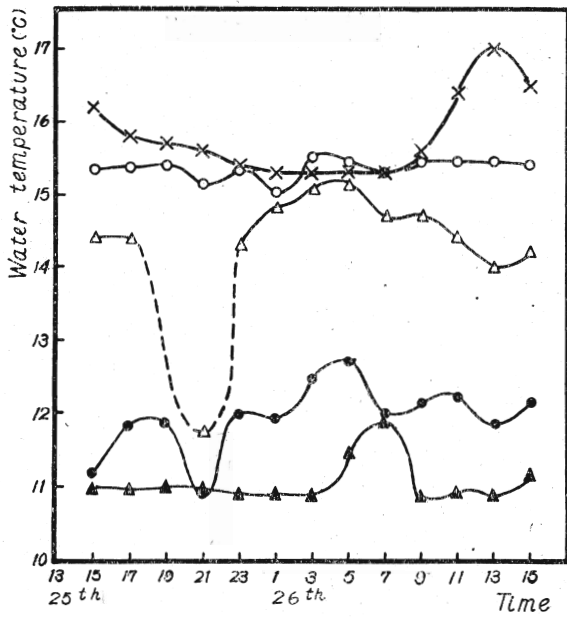


Fig. 1 Diurnal changes of water temperature. (May 25-26, 1952.)  
 ×...0m, ○...10m, △...25m, ●...50m, ▲...75m.

り、前日あるいは前々日放卵された卵による添加は極めて僅少である\*。したがって、この日の調査における卵の組成は極めて単純といえよう。

前前期：AA：15～19時にはほとんど出現せず20時から急に出現し、22時を最高としてその後急激に減少、1時には0となり、その後はごく少数が採集されたにすぎない。

前前期：Aa：15～21時には少数採集されたにすぎないが、AAの急激な出現時刻後、1～2時間でAAと同様急激に増加し、その後多少の増減はあつたが、13時まで多数採集され14時に0となつた。

小林（'44）によれば放卵後約2時間でAaに達するようであるが、今回のAA及びAaの出現状況からもほぼその事実を窺うことができる。

したがって、AAの多量出現時刻は20時から翌日の1時であるが、上記のことを考慮して、この日の調査地点近傍における主産卵時刻は、AAの出現し始めた時刻、すなわち、25日の20時から（あるいはAaの出

\* 前日あるいは前々日放卵された卵の添加が僅少であることは 1). 前日及び前々日には調査地点近傍において産卵行動が行われなかつたか 2). 産卵は行われても、海流あるいは潮流の関係で調査地点へは卵の移動、拡散が行われなかつたかのいずれかによるものと考えられる。

あり、0 m と 50 m との水温差は 3～5°C に及んでいる。したがって、この両日の水温は変化が甚しく水塊の不連続性を示している。

次に、時間別平均採集卵数及び stage 別の平均卵数を Fig. 2 に示した。

総卵数についてみると、15～19時には少数採集されただけであるが、20時には急激に多数採集され、その後翌日の2時までその状態が続き、その後順次減少を示している。次に stage 別の卵数の変動の模様をみると、いづれも単純な変動カーブを示しており、とくに前期前 Aa の変動カーブから明かなように、この日の調査地点近傍における卵群はほとんど当日放卵されたものによつて占められてお

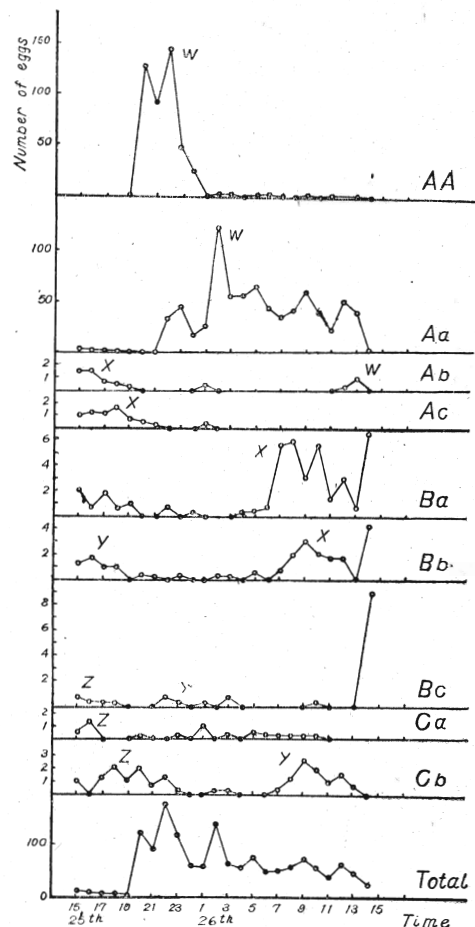


Fig. 2 Mean hourly number of eggs by developmental stages in the vertical haul. May 25-26, 1952.

現し始めた時刻：22時から2時間さかのぼつても同様20時になる), AA の消失し終つた時刻：24~1時から2時間さかのぼつた時刻, すなわち22~23時までの短時間であると推定される。

前期中：Ab~後期後：Cb：これら stage の卵の出現は前述のように少なく, これらの資料から種々論ずるのは危険であるが, 全般的にみると各 stage の山 (X, Y, Z) は時間の経過とともに次の stage に移行していく様子が窺われる。

試みに, この日の 10, 25, 50 m 層の水温をそれぞれ 15.5°, 14.5°, 12.0°C として Ab の X (前日放出された卵群) の山の左端の時刻を基点として Table によつて時間を溯つて産卵時刻を推定するとそれぞれ24日の 22時, 20時, 11時となり, 10, 25 m 層水温をとつた場合は, AA の出現時刻, すなわち, 25日の産卵時刻にほぼ一致する。

同様に, Bb の Y (前々日放出された卵群) の山の左端の時刻すなわち 7時を基点として, 10, 25, 50 m 層水温をとつて産卵時刻を推定するとそれぞれ23日の 23時, 19時, 7時以降となり, 50 m 層水温をとつた場合を除き産卵時刻は前夜半であるといえよう。

AA, Ab, Bb の出現状況から産卵時刻を推定した場合, 10, 25m 層水温をとつた場合はその推定時間はいずれもかなりよく一致することは注目すべき点である。

(II) 1953年4月25~26日：この日は15時には快晴であつたが, 16時ごろから曇り出し, 18時以降は曇天となり, 天空一面乱雲に掩われた。15時の風向は WSW で, 風力 1 で穏かであつたが, 16時ごろから風向は次第に N 系に廻り 風力は 2 を示した。その後23時ごろから風向が S に急変し, 風力は 3 を示し, 24時には風力 4 さらに時間の経過とともに風力はますます強くなり, 6時には船の錨がひけ出したほどの時化となり調査を打切らざるを得なかつた。

水温 (Fig. 3) は15~17時における 0 m では 13.7°C 前後を示し大きな変化がなかつたが, 17時以降, 降下して翌日の 6時には 12.8°C に低下した。較差は実に 2°C 以上に及んだ。これは風の影響による表層水の混合が主原因であろう。10 m でも15時には 12.8°C を示したが, その後降下し18時には 12.45°C を示し, 19時にはまた上昇し 12.75°C を示し, 以後時間の経過とともに少しずつ低下して翌日 6日には 11.6°C になつている。25, 50 m 層では16時から翌朝の 2時ごろまで 12.5°C 前後で変動は少いが, 3~6時になつて急に低下した。75 m では22時以降低下した。風向, 風力の急変に伴つて深層水塊から水温の低下現象がみられ順次上層に及んでいる。これは水塊の移動を考える場合に興味深いものがある。

とにかく, この日は23時ごろからの風向, 風力の変化によつてごく沿岸部の異水塊の流入がみられ, このような水温変化を示したものと思われる。この事実は塩分変化をみてもほぼ窺われる。このような海況の変化は卵の出現にも顕著な影響を及ぼしている。なお, この日には顕著な躍層はみられず, また各層の水温差も著しくない。

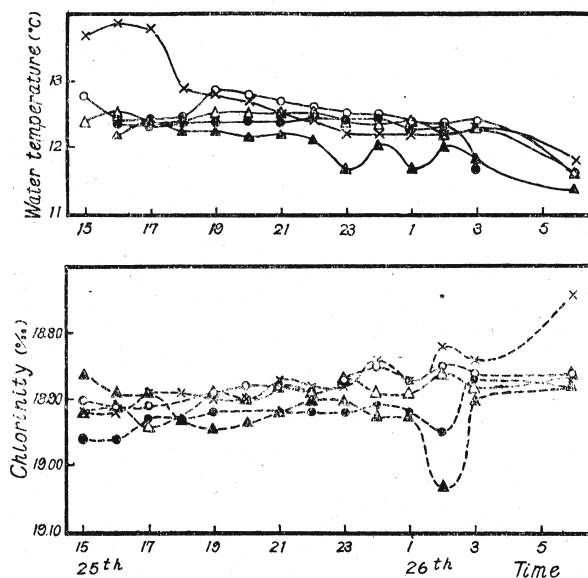


Fig. 3 Diurnal changes of water temperature and chlorinity. (April 25-26, 1953.)

×...0m, ○...10m, △...25m, ●...50m, ▲...75m.

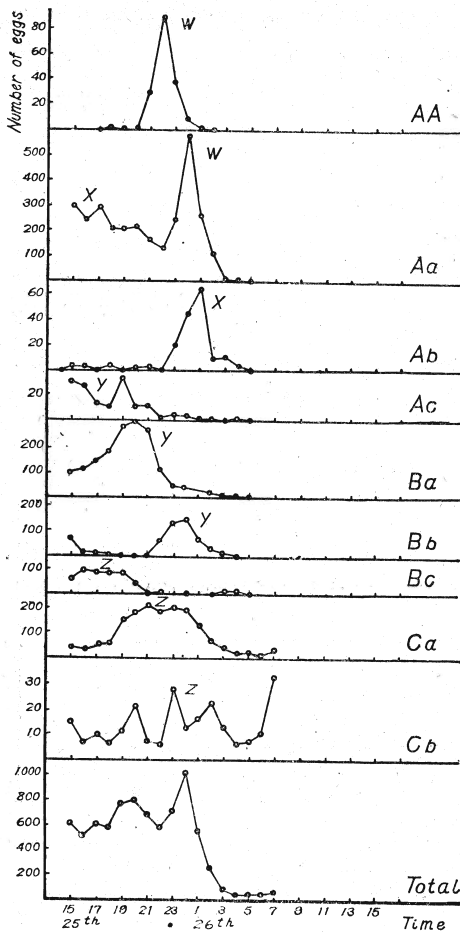


Fig. 4 Mean hourly number of eggs by developmental stages in the vertical haul. April 25-26, 1953.

次に昭和28年春の第一回調査における時間別平均卵数及び stage 別平均卵数を Fig. 4 に示した。

総卵数をみると平均採集卵数は極めて多く15~18時には500~600粒でその後19時ごろ約800粒に達し、21~22時には一時減少したが、23時にはまた急増して1,000粒以上になり、その後は急激に減少している。この急激な減少は前述の海況の変化によるものと推定されるので、連続的变化をみるには不都合な資料といわねばならない。

各 stage 別の卵数の分布をみるとこの日の卵群は当日放卵された卵及び前日、前々日に放卵された卵を多数含んでいることが窺われる。

前前期：AA：15~16時には全く見られず、17時以後は少数出現しているが、21時に急激に増加し、22時最高を示し、その後急激に減少している。

この日のAAの出現分布は、前回の調査のAAの出現分布とよく似ていることまたAaの分布からみて、この分布には前述の気象海況の影響は少く、ほぼ正常型を示すものと考えてよいであろう。

前前期：Aa：15時より極めて多数出現しているが、漸次減少傾向を示し、AAの出現後2時間で急激に増加し、24時以後急に減少し、3時には0を示している。AaにおけるWの山はAAのWの山の発生の進んだもの（当日放出された卵群）とXの発生の進んだもの（前日放出された卵群）との混合したものであらうと考えられるが、AAのWの発生が進んだものが主体を占めていると推定される。

1時以後の急激な減少は前回の調査のAaの出現状況及び発生の過程におけるAaの経過時間より考えて異状

現象であると思われ、これは海況の変化の影響によるものと思料される。

AA, Aaの出現状況—AAの多数出現時間が21~24時であり、Aaの出現し始めた時刻が23時であることから前回同様の推定を試みるとこの日の主産卵時刻は21~22時ごろの短時間の間であらうということになり、1952年5月25日の産卵時刻とほぼ一致する。

前期中：Ab~後期後：Cb：これらの stage の出現状況は海況の変化による採集卵数の減少によって、時間の経過とともに次の stage へと移行してゆく状態はあまり明瞭でないが、W, X, Y, Z の山はほぼ認めることができる。

AbのXの山の左端の時刻を基点として10, 25, 50m層水温をそれぞれ12.5°, 12.5°, 12.25°Cとして前回同様X卵群の産卵時刻を推定すると、産卵時刻はそれぞれ24日の23時, 23時, 22時以後と推定され、ほぼ25日の産卵時刻と一致する。

次に、Bbについて10, 25, 50m各層の水温をとつて前回同様に産卵時刻を推定するとそれぞれ23日の22時, 22時, 21時以後ということになる。

Caについて同様推定するとそれぞれ22日の18時, 18時, 16時以後に産卵したことになる。

総じてこの日の主産卵時刻はAA, Aaの出現状況からして21~22時ごろの短時間であつて1952年5月25日の産卵時刻と一致し, またAb, Bb, Caから10, 25, 50m層水温をとつて産卵時刻を推定してみるとCaからの推定時刻は異なるが, 他は22~23時ごろとなりこれもやはり大体一致する。

(■) 1953年4月27~28日: 天候は16~19時には晴その後も快晴が続き, 夜間は月光が冴え渡り, 翌日の13時に至つて晴となつた。風向は16時にENE風力1でその後順次風向はS及びWの方にまわつたが, 風力は1~2で極めて静穏の日であつた。

水温 (Fig. 5) は16時0mでは13.6°Cであつたが, その後下降して翌日の4時には12.9°Cになり, その後また上昇して16時には14.2°Cを示した。その較差は1.5°Cに及んだ。10mでは16~14時にはほとんど大し

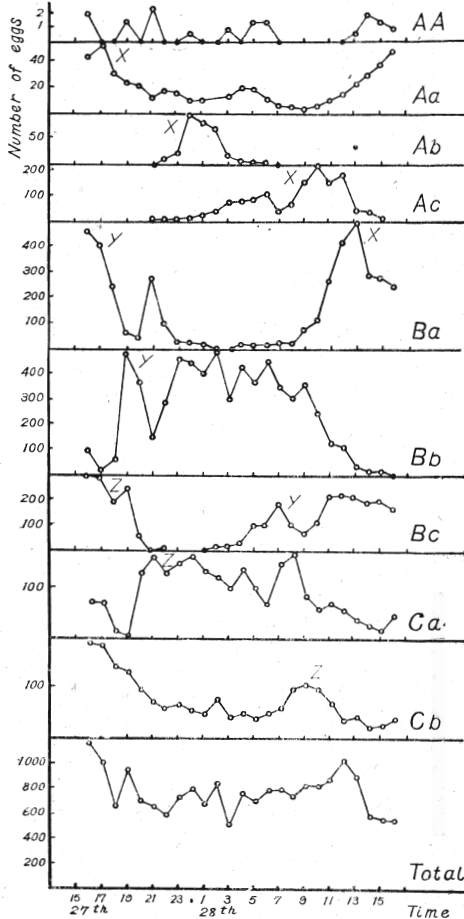


Fig. 6 Mean hourly number of eggs by developmental stages in the vertical haul. April 27-28, 1953.

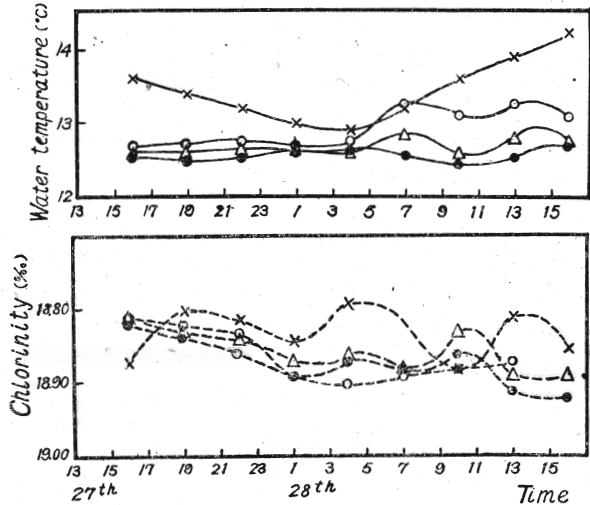


Fig. 5 Diurnal changes of water temperature and chlorinity. (April 27-28, 1953.)  
×... 0 m, ○... 10m, △... 25m, ●... 50m.

た変化はなかつたが, 5時に急に少し上昇してその後はあまりたいした変化を示さない。25, 50m層ではほとんど大差がない。この日には著しい躍層もみられない。この間は比較的持続性のある海況であつたといえよう。

昭和28年春における第2回調査の時間別の平均卵数及び stage 別の平均卵数を Fig. 6 に示した。

総卵数では多少の変動はあるが, 前2回に比してほぼ一定の値を保っている。採集卵数は前回同様極めて多量であり, 他海域でこのような多数採集したとの報告をみない。したがつて, 筆者等の能登近海が大産卵場であるとの報告 ('51), をさらに裏付ける資料であろう。また stage 別の卵数の分布をみると, 当日産卵された卵は少く, 前日, 前々日に放卵された卵が多数であることがわかる。

前前期: AA: この日の出現は顕著なものなく, ただ各時刻に少数ながら採集されたにすぎず, 調査地点近傍では当日大きな産卵行動は行われなかつたといえよう。

前期前: Aa: 16~17時に比較的多量に出現しているが、その後減少し、3~5時に少し増加し11時ごろからまた順次増加している。この後者の卵群(W)は前日に調査地点の海域で放卵されたものが海流によって運ばれて来たものを主体として構成されているものと考えられる。したがってこのような出現状況から産卵時刻を推定することは困難である。

前期中: Ab~後期後: Cb: この stage では時間の経過とともに次の stage に移行する状況が明瞭にみられる。

Ab の X の山の左端の時刻を基点として 10, 25, 50 m 各層水温をそれぞれ 12.5, 12.5, 12.5°C とし X 卵群の産卵時刻を前回同様推定すると、いずれも 23 時以後ということになる。つぎに Bb では 19 時から翌日 10 時の長時間に亘り出現しており、この期の発育期間が長いことを物語っている。Bb の山の左端の時刻を基点として前回同様産卵時刻を推定すると 19 時以後になる。Ca で同様 Z の山の左端の時刻から産卵時刻を推定すると 19 時以後ということになる。総じて調査地点においては当日大きな産卵はみられず、各時刻に僅かながら産卵していたものと推定される。

Ab, Bb, Ca の出現状況から産卵時刻を推定すると各 stage によって多少異なるが、大体前夜半に産卵行為が行われ始めたと看取して間違いない。

(IV) 1953年5月10~11日: 天候は大体快晴で、風向は時刻によって異なるが風力は 0~2 で極めて静穏であつた。水温 (Fig. 7) は 0 m では 5 時に最低を示した。一般に夜間は低く、日中は高温を示している。10 m で 13 時から順次上昇を示しているが、25, 50 m 層ではほとんど変化がない。ただ、この日は各層の水温差が大きくなり、0 m と 50 m の水温差は約 2°C に及んでいたが、顕著な躍層は見られない事は塩分においても同様である。

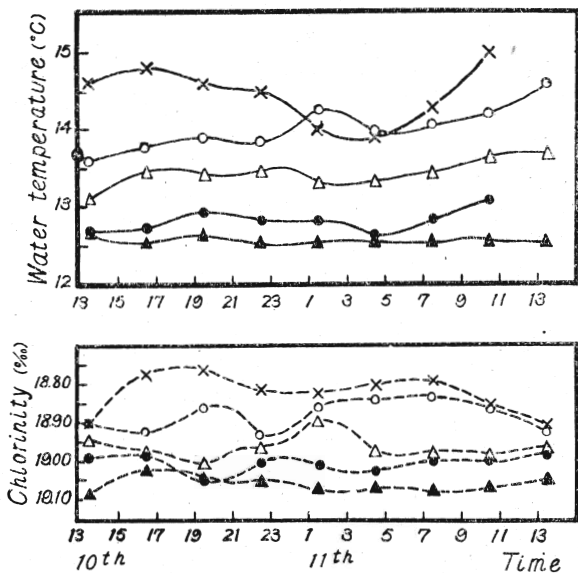


Fig. 7 Diurnal changes of water temperature and chlorinity. (May 10-11, 1953.)  
 x...0m, O...10m, △...25m, ●...50m, ▲...75m.

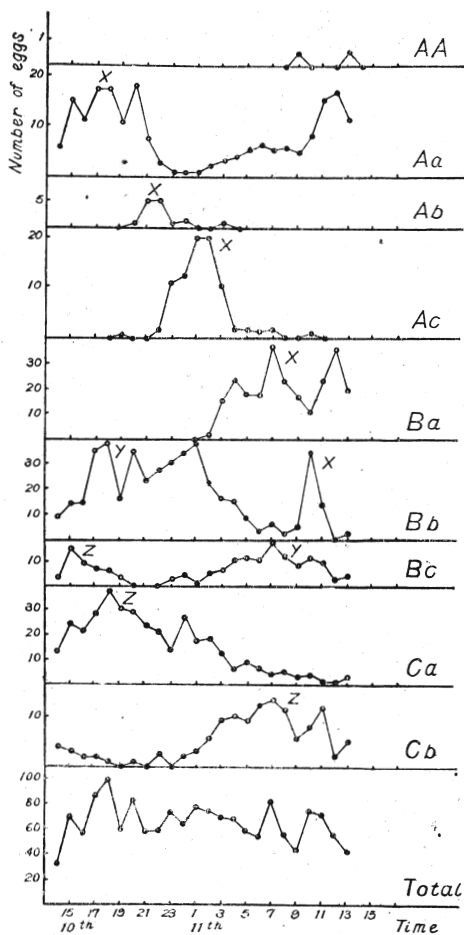


Fig. 8 Mean hourly number of eggs by developmental stages in the vertical haul. May 10-11, 1953.



昭和28年春の第3回調査における時刻別の平均卵数及び stage 別の平均卵数を Fig. 8 に示した。

総卵数では時間により相当の変化をみたが、全般的な傾向としてはほぼ一定している。各 stage 別の出現分布をみると、時間の経過と共につぎの stage に移行する状況が明瞭にみられる。

前前期：AA：9時、13時に各1粒出現しただけで、この日は調査地点近傍での産卵はほとんどなかったとみてよい。

前期前：Aa：15～20時まで比較的多く採集され、その後減少し、23時から翌日の1時に最低を示し、その後時刻の経過とともに上昇し、11～12時に最高を示している。前回と同様このような出現状況からの産卵時刻の推定は困難である。

前期中：Ab～後期後：Cb：Abでは少数ながら21～23時に山がみられ、XはAaのXの山の stage の進んだものと考えられる。10、25、50 m 各層の水温をそれぞれ 14.0°、13.5°、12.75°C としてこのXの山の左端の時刻を基点としてX卵群の産卵時刻を推定すると、それぞれ2時、0時、22時以後となる。

BbのYの山について同様に産卵時刻を推定すると、それぞれ4時、1時、19時以後となる。

Caについても同様に推定するとそれぞれ4時、0時、22時以後産卵したことになる。

総じてこの日は調査地点近傍では産卵行為がなかつたといえる。Ab、Bb、Caの分布状況から産卵時刻を推定すると10 m 層水温をとつた場合は大分異なるが、25 m、50 m 層（とくに50 m 層）の水温をとつた場合には大体前夜半に産卵が始められたとみてよいようである。

#### 小 括

1) 調査日の1952年5月25～26日は各々の水温差が比較的甚しく、採集卵の組成は割合に単純な場合であつて、1953年4月25～26日は気象海象の激変による、採集卵の変動の甚しい例である。1953年4月27～28日及び5月10～11日は海況気象とも比較的安定しており、海況は一応持続性を有している場合で、ただ前者では各々の水温差は余りないが、後者では相当甚しい場合の事例といえる。

2) このような異つた条件の下において調査されたわけで、各 stage 別の出現分布をみたとき大きな山が1～2存在し、山が2つ存在する場合でも前後の発生 stage の分布状況からして、それは前日放卵された卵群に当日放卵された卵群が加重されたものとみることができる。すなわち2つの山の場合では一つを24時間ずらすことによつて他の山へ重ね合すことができる。したがつて、山が一つの場合と同一視してもよい。その山が時刻の経過と共に進んだ stage に移行するのが明瞭にみられる。また各調査日について同一の stage の分布を比較すると大体似た分布を示している。このことは産卵行為が長時間連続するものでなく、ある特定の短時間に主として生起することを意味するものであろう。

3) 1953年4月27～28日の場合のように各時間に少数ながら産卵されたとみるべき例もあるが、1952年5月25～26日及び1953年4月25～26日の場合の例のように放卵直後のAAの stage の多量の出現がいずれも3～4時間の短時間の間にみられ、しかも出現の時刻は大体20～24時でほぼ一致している。このことは能登近海の主産卵時刻は20～24時とくにAAからAaに移行する経過時間、すなわち約2時間のずれを考慮に入れると20～22時の短時間であることを示すものであろう。

4) 各調査日のAb、Bb、Caの分布状況から2、3の仮定— マイワシの卵が放卵されてから各 stage に発育するのに要する時間が E. H. AHLSTROM の報告の California sardine の場合と一致するとしたと、卵の分布が各層に分布し、stage によつて卵の分布には相違があることが報告されているにもかかわらず、また発育経過当時の水温をとらねばならないのに調査当日の10、25、50 m 各層の水温をとつたこと—の下に産卵時刻を推定したところ、stage、水層により、また調査日により多少の時間的な相違があるが、大体前夜半であると帰結された。

以上初期 stage の出現からほぼ直接的に知り得た時刻と後期 stage の出現からの推定によつて得た

時刻とが大體一致していること及び後述の魚群の行動の観察結果を考察すると、能登近海の4～5月のマイワシの産卵は主として20～24時ごろ、とくに20～22時に行われるものと推定される。このことは古川、中井、早野の報告とも大體一致し、E. H. AHLSTROM の California sardine の産卵時刻とも一致する。

5) 前述の仮定の下に各調査日の各 stage の出現状況から10, 25, 50m層水温をとつて産卵時刻を推定した場合の結果を詳細にみると、多少の相違が認められるが、同一調査日について各層別に各 stage から推定した産卵時刻は1～2例を除いてかなりよく一致している。このことは California sardine の各 stage までの發育に要する時間と水温との関係がマイワシの場合にもほぼ適合することを示すものと思われる\*。

後期の各 stage から推定した産卵時刻が初期 stage の出現から直接に知り得たそれと相違する場合は各層の水温差の甚しい1952年5月25～26日及び1953年5月10～11日の場合で、前者の50m層（第一躍層より深い）後者の10, 25m層の水温をとつた場合である。このような相違が生ずる原因として次の2つの場合が考えられる。

- (1) 推定に用いた水温が採集卵の發育してきた当時の水温と著しい相違のある場合
- (2) 推定に用いた水層に卵が浮游していなかつた場合

前者の場合は1～2日前の水温と調査日の水温との差が問題であるが、放卵された水塊の水温が1～2日の短期日に急変するとは普通考えられないから、(2)の場合とみるのが妥当であろう。なお、卵の浮游機構については、卵自体の生理的条件と海水の比重、渦流などの外的条件との両者によつて規定され、両条件を満足するある一定水層に浮游するものと思われる。したがつて、各層の水温差の甚しい場合は比重も異つているから水塊の垂直安定度は大きく、卵は特定水層に浮游して、それ以外の水層に浮游するものは少いと考えられる。したがつて、そのような特定水層以外の水層の水温をとつて産卵時刻を推定したときは結果に不一致を来すのは当然であろう。もしも、浮游水層が Static Process を通じて決定されると仮定すればこのような特定水層は現場水温における密度が 1.0256～1.0260 の範囲のものであらうと筆者等は考へている。なお、浮游水層、及び浮游機構の詳細な検討については今後の研究にまちたい。

6) 産卵活動が短時間に限られ、また、1953年4月27～28日、及び5月10～11日の場合のように、放卵直後の stage AA はほとんど採集されないが、Aa, Ab などの stage の進んだものが多量に採集され、しかも stage Aa の卵の出現は9時以降によりやく著しくなるということから、産卵活動は産卵海域と考えられる水域内で、均一的に行われるのではなく、その区域内に空間的に点在するごく狭い範囲の小域において行われるものであらうと思料される。また、小域に放卵された卵群は時間の経過とともに自身では發生を進めながら海流、潮流の影響によつて拡散していくものであらう。1952年5月25～26日及び1953年4月25～26日の調査はAA卵の出現数及び出現状況からみて、ちようどこの産卵小区域に當つた場合と考えられ、1953年4月27～28日及び1953年5月10～11日の両調査は産卵小区域から比較的離れた地点で行われた例であつて、AAの著しい出現はみられず、遅いAaの出現はその産卵小区域からの拡散によつて調査地点に移動してきた卵群によるものと考えられ、その出現数はともに低い。

7) 各 stage 別の出現分布からみて、各 stage になつてから次の stage に發育するに要する時間には長短があるものごとく AA, Ab の時間はごく短く、Aa, Ab は比較的長いものと思われる。

8) 卵の分布の問題については他にも調査を行つたので、その結果については後日報告するが、今

\* 勿論 E. H. AHLSTROM も Table に掲げた温度と發育に要する時間との関係値について推論上の誤差として数時間は認めているからこの程度の相違は認めなければならない。

回の資料すなわち、産卵の時刻が特定の時間で且つ短時間であり、産卵水域が小区域であり、また採集卵群には1~3日前に放卵された卵も混合していることなどから採集卵のstageを考慮にいれない資料及び現行程度の粗い産卵調査資料から全産卵量を推定することは極めて危険といわなければならない。

9) 水温の日変化をみると、25, 50 m 層の水温ではあまり日変化はないが、0, 10 m での日変化は大きく、週期的な変動を示しており、0 m の較差は1~2°Cに及んでいる。したがって、現在何日間もかかつて実施した海洋観測調査結果について0, 10 m 層の等温線図から海況の水面分布について論じている例を見受けるが、この場合には充分注意する必要がある。

## 2. 游泳層の時間的変化とその日周期性

24時間観測中魚探を作動し、記録紙に記録されたマイワシ、ウルメイワシの魚群の映像の上端の深度をその魚群の游泳層として、10分おきにとつて、魚群の游泳深度の時間的変化を Fig. 9 に示した。

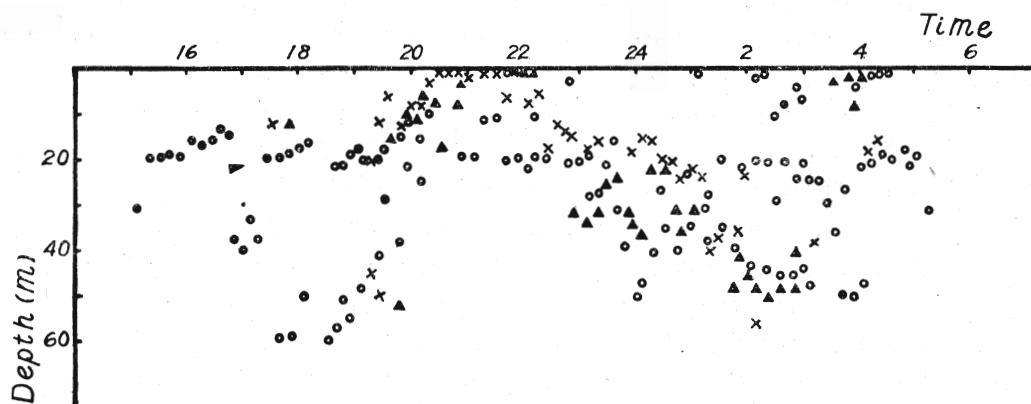


Fig. 9 Diurnal changes of the swimming depth of Sardine shoal. (1953)

×……April 25-26, ▲……April 27-28, ○……May 3-4.

(I) 1953年4月25~26日(月令11.3日, 月出時間16時18分, 月没3時23分): 15~17時には魚群の映像はみられず, その後17時30分ごろに12~13m層に魚群がはじめて記録された。その魚群はその後記録されず, 18時36分に日没し日没後1時間して20 m 層と45~50 m 層の2層に魚群が記録された。毛釣によつて, 漁獲して上層群はマイワシ, 下層群はウルメイワシであることを確めた。その後上層のマイワシ群は時間の経過とともに急激に上昇をはじめ, 20時30分ごろにはほとんど水面附近に浮上した。その浮上状態は22時ごろまで続き, その後順次下降しはじめ, 23時には15~20 m に沈下, 翌日の1~2時にはさらに下降して20~25 m に記録された。その後2~3時には記録されず, 3時20分にウルメイワシと思われる群が35~40 m 層に記録され, 3時23分月没した。その後魚群は見られずまた4時20分頃から上層の15~20 m に記録され, 5時3分以後は全く魚群はみられなかつた。

(II) 4月27~28日(月令12.3日, 月出時刻17時16分, 月没4時17分): 17時50分に12 m 層にマイワシ群が短時間出現しただけで, 長い間魚群は記録されず18時30分日没した。日没後約1時間して19時30分ごろに15 m と50 m の2層に魚群が記録され, 毛釣によれば上層はマイワシ, 下層はウルメイワシであつた。そのマイワシ魚群は引続き記録され, 時間の経過とともに游泳層は浮上し, 前回同様20~22時には0~10 m に記録された。22時~23時まで魚群は記録されなかつたが, 23時頃から前より深い20~40 m 層に引続きみられ, 翌朝の1~3時には40~50 m 層に記録された(これらの魚群はマイワシ, ウルメイワシいずれであるか不明である)。3時30分ごろから2~10 m 層にマイワシ魚群の浮上がみられ, 4時17分月没し, その後魚群は全くみられなかつた。

(■) 5月3～4日(月令19.3日, 月出時刻23時13分, 月没9時02分, 日没18時43分, 日出4時53分, 観測実施せず): 15時からマイワシ群は20～25 m 層に記録され, 17時ごろより20 m と50～60 m の2層に魚群が記録され, 上層はマイワシ群, 下層はウルメイワシ群であることを確認した。日没後約1時間の19時30分ごろから魚群は2～3層に分れ上層の群は順次上昇し, 中層の群は上昇することなくほぼ前と同じ游泳層を保ち, 下層のウルメイワシ群は浮上して20時ごろには中層のマイワシ群と游泳層が重なり 区別つかなくなつた。21～22時には上層群は水面附近に上昇し, 中層群は10 m 前後下層群は20 m 前後を游泳していた。上層のマイワシ群も22時以後は下降し, 中層の群と区別がつかなくなり, 23時30分から翌日の1時30分には30～50 m の深い層に記録され, 1時30分～4時ごろには明瞭に3層に記録され上層群は浮上して0～10 m 層, 中層群は20～30 m 層, 下層群は40～50 m 層に游泳していた。4時以後には上層の群は表面附近に上昇したが, その群は日出前30分前ごろから消え, その後は全く記録されなかつた。中, 下層の群も日出後は記録されなかつた。

また, 1952年4月～5月にわたり能登近海で調査した際の魚群の游泳層を時刻別に同様に Plot してみると, あまり明瞭ではないが, 20～21時ごろ游泳層がもつとも浅いことが認められ, midnight 前後になると魚群はまったく記録されなかつた。以上調査日における大羽イワシの游泳層の変化をみると, 日によつて出現の状況は多少異なるが, 15時ごろから日没後約1時間ごろまでは10～20 m 層を游泳している群が多く, その後魚群は浮上して20～22時ごろまでもつとも浅く浮上してほとんど水面附近まで上昇し, 22時以後また急に下降して23～2時ごろは20～50 m 層を游泳しており, 日出2～3時間前ごろからまた夕刻同様浮上する魚群が認められる。昼間の游泳層については明かではなく, 夜間濃密に記録された海域及び流網で大魚があつた海域を翌日の昼間航行しても魚探の記録に出ることは比較的少い。総じて能登近海の4月～5月の大羽マイワシ魚群全てとはいえないにしても大部分の魚群は日没後浮上しはじめ20時～22時ごろに最も浮上してその後 midnight 前後には最も沈下し, また日出前2～3時間前から浮上し日出後沈下あるいは分散するものと思考され, 明かに日週期活動をしているとみてもよからう。ウルメイワシ群については明確のことは不明だが, マイワシ群同様な日週期活動をするものと推定される。また, ウルメイワシ群はマイワシ群よりも游泳層は深いものと考えられる。このことは内橋('53)が脳の *Saccus vasculosus* の形態から論じたことと一致する。

マイワシ魚群が夕刻に浮上することについての報告は他にないが, ニシンについては M. GRAHAM ('31), R. BALLS ('51) 等が指摘し, 漁業者も他の多くの魚種, 及びイカ等でこれを認めている。

以上今回の能登海域の大羽イワシについて游泳層の日週期的変化について述べたが, しかしながら游泳層は海域, 時期, 魚体の生理生態的条件, 気象学的, 天文学的条件等によつても相違があるから, これをもつてすべての場合に適合する決定的な事実とは考えない。

### 3. 夜間の行動

魚探の記録映像からみた夜間における魚群の行動について推論してみたい。もちろん記録映像からの推論であるから魚群の真実の行動とは多少異つているかも知れないが, この点は将来の研究によつて是正していきたい。

なお, 記録映像を全部載せるべきであるが紙面の都合上重要な部分のみ掲載することにした (Fig. 10)。前述の3回の記録及び他の資料から推定すると一般に大羽イワシ魚群は日中には分散游泳し, 魚探に記録されない状態にいる魚群と, 明確に群型を形成している魚群とがあり, 前者の群も夕刻から小群に密集をはじめ, 時間の経過とともにさらに密集し, その層も厚くなり日没後約1時間ごろからさらに密になり, 一部の魚群は上層に浮上し, その群はあたかも夏軒下である種の昆虫が生殖のため群飛するのと類似の乱游状態をしていると想像されるような印象を与える (Fig. 10 a-i, j-n)。この状態は調査時の20～22時ごろであつて, 22時以降はまた次第に分散沈下して魚群も薄くなり,

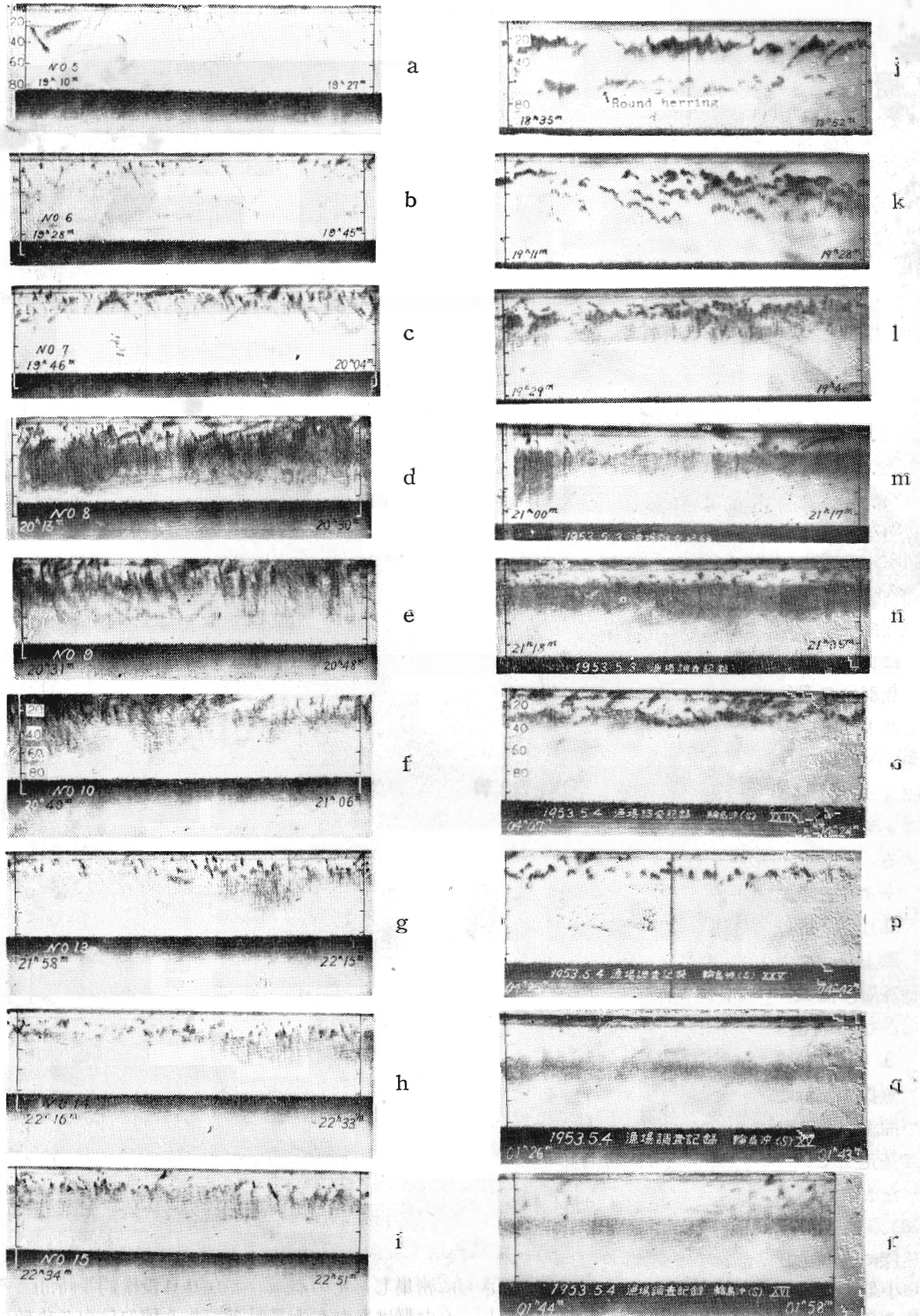


Fig. 10 Images of Sardine shoal.

a...i 19:10-22:51, April 25, 1953.

j...n 18:35-21:35, May 3, 1953.

o, p 4:07-4:42, May 4, 1953.

q, r 1:26-1:58, May 4, 1953.

midnight 前後には一定層に分散して帯状に游泳しているものと推定される (Fig. 10 q, r)。内橋 ('53) の主張による活動性の魚群が静かに游泳する状態を睡眠と名付けるならば、この時刻のマイワシは睡眠游泳をしているといえよう。

その後、日出前1~2時間ごろの薄明時には薄暮時後のように一部魚群は密集上昇し、(Fig. 10, o, p) 日出前後には分散して小群となり、その後はさらに分散して魚探記録に検出されない状態になる。今回は船を停止しての魚探記録であるが航行中には midnight 前後の分散静游時の魚群は記録されないとと思われる。

以上の推論はわずか3回の調査記録及びその他の資料に基いてなされたものであつて、産卵期の大羽イワシ魚群がすべてこのような行動をするか否かについては即断はできない。しかしこれらの3回の記録からほぼ同様な記録を得たことには重要な意義があろう。したがつて、このように大羽イワシは日週期活動をしているものと推論し、産卵時期における能登近海の大羽イワシの行動を大別すれば次のようになるであろう。

1. 昼間一分散または密集
2. 薄明時—密集浮上乱游
3. midnight 前後一分散沈下静游

なお以上の点につき大渡、古野、古野によれば、日中は中層に濃密に点々と群棲し、日没後1時間後には分散して帯状に分布して降下するようであるとし、横田によれば昼間は特有の魚群型をなして密集し、夜は群型をとくとの報告であるが、筆者等の夕刻時に観察した行動と相違がみられる。

## IV 総 括

能登海域における4~5月の主産卵時刻は20~22時ごろと推定されるが、その産卵時刻における魚群の行動から、この時刻は魚群がもつとも浅く浮上し、乱游状態をしているときであり、産卵行動はその浮上、乱游状態のとき行われるのではないかと推定される。魚群の游泳層、行動は明かに日週期的に変化していることは前述の通りであるが、さらに産卵及び薄暮後の浮上乱游時間は大体日没後2~3時間後に一致し、薄明前の浮上時間は日出前2~3時間前である。だからこのような魚群の日週期活動は照度の日週期的変化と関聯しているようである。よつてマイワシに日週期活動を誘起する要因の一つとして太陽照度のもつとも重要なものであり、月光、潮汐、水温、天候、餌量等は副次的な因子として作用する場合が多いのではないかと考える。照度は天候、季節、位置、海中濁度、等によつて異なるから、魚群の日週期活動もそれらによる照度の変化によつて多少変つてくるだろう。したがつて、今まで産卵時刻、行動等について時刻をもつて論じて来たが、このような生態をより正しく表現するためには時刻をもつて論ずるだけでなく、水中照度をも測つて表現する方がより妥当性を有するのではないかと考える。外界要因とくに照度の週期性は魚の内在的な生活機能の週期と共に外面的な週期性となると考えられるので、産卵が特定の時刻に行われるものと考えたい。また、マイワシ流網の操業は一般に日没後30分~1時間後に投網され、22時頃に揚網するのが普通で、それ以後長時間網を流しておいても羅網は少いといわれており、また日出前にも多少羅網するとのことである。したがつて、羅網時間と密集、浮上乱游時間とはほぼ一致するようである。この故に筆者等は魚群が流網に羅網しやすいのは前述のような生態を示しているときであろうと考えている。近年、山口県下で所謂昼間刺網操業のような新しい漁法もあるが、これもマイワシの日週期活動の早朝の生態を利用した漁法の一つであろうと考えている。山口県下の昼間操業は主として8~10時であるが、游泳水深は深く照度も弱いので、漁獲水層の照度は石川県下の薄明時の20~30mの水中照度と等しいかもしれな

い。大羽イワシ群がこのような日週期活動をしているならば、現行の流網作業のように帰港後漁獲物を1尾ずつ手で取りはずすために多大の労力を必要とし、また魚肉の鮮度低下を来すような能率の低い漁法から転換して、浮上密集期、静游期等の視覚のきかないと思われる時の魚群を高能率の中層トロール、中層手操網等によつて漁獲することも可能と信ずるものである。その実現こそ実に意義あるものと思料し、今後この方面の調査研究を進める予定である。

## 文 献

- 古川三男 ('38) 鯷の生活 長崎の水産 No. 8  
 中井甚二郎 ('53) 昭和24—26年鯷資源調査経過報告 (謄写刷) 東海水研  
 早野孝教 ('53) いわし資源調査報告書 (謄写刷) 西海水研  
 AHLSTROM, E. H. ('50) Influence of temperature on the rate of development of Pilchard egg in nature. Special Scientific Report. Fisheries. No. 15.  
 大渡敦・古野清孝・古野清賢 ('53) 魚群探知機の記録からみたイワシ群の生態 日水学誌 Vol. 18. No. 12  
 横田滝雄 ('53) 日向灘、豊後水道のイワシ群の研究 南海水研報 No. 2  
 内橋潔 ('53) 脳髓の形態より見た日本産硬骨魚の生態学的研究 日水研報 No. 2  
 小林久雄 ('44) 真鰯人工孵化の研究 海洋の科学 Vol. 4 No. 7  
 RUSSELL, F. S. ('26) The vertical distribution of marine macroplankton. II. The pelagic young of teleostean fishes in the daytime in the Plymouth Area, with a note on the eggs of certain species. Jour. Mar. Biol. Assoc. Vol. XI  
 SILLIMAN, R. P. ('43) Thermal and diurnal changes in the vertical distribution of eggs and larvae of the pilchard (*Sardinops caerulea*). Jour. Marine Research. Vol. V No. 2.  
 伊東祐方・山口和春・伊藤勝千代 ('51) 日本海北部に於ける洄游性魚類の資源調査 日水研報 No. I  
 GRAHAM, M. ('31) Some problems in herring behaviour. Jour. Du Conseil. Vol. VI. No. 2.  
 BALLS, R. ('51) Environmental changes in herring behaviour: a theory of light avoidance, as suggested by eco-sounding observations in the North Sea. Jour. Du Conseil. Vo. XVII, No. 3.

## Résumé

1. The spawning time of Japanese sardine and the nocturnal behaviour of its shoal were studied on the results of the four investigations carried out in the springs of 1952 and 1953 in the Noto Sea Area, Japan Sea.
2. The sardine eggs were collected by 50 meter vertical haul through 24 hours with No. 3 Müller gauze plankton net (45 centimeters in diameter).

The eggs in the earliest developmental stage (stage AA) were collected in great quantities in rather short time: 20 to 24 o'clock both on May 25—26, 1952, and April

25—26, 1953 (Figs. 2 & 4).

Since the duration of stage AA is recorded some 2 hours, the spawning of the fish is considered to have taken place from 20 to 22 o'clock.

The spawning time was also estimated from the appearances of the more advanced stages of egg: Aa, Ab, Ac, etc. with the time required to reach respective stage at the temperature of 10, 25 and 50 meter depth (Figs. 1—8). It was found to be limited to the time range mostly from 20 to 24 o'clock, pretty well coinciding with the above result.

After all, the spawning time of Japanese sardine in the Noto Sea Area is conceived to be 20 to 22 o'clock.

3. From the data obtained on April 27—28 and May 10—11, 1953 (Figs. 6 & 8), it was conjectured that the space where a sardine shoal spawns is relatively narrowly restricted and the so-called spawning ground is scattered over with these spawning spaces, and that the spawned eggs are dispersed and transported from the spawning space by eddy turbulence.
4. The investigation on the nocturnal behaviour of sardine shoals was performed with a recording echo-sounder in the same period (Fig. 10).

In the daytime scarcely any images of fish shoal was recorded, presumably by disintegration of shoal.

But from the evening to the midnight, it was noticed that fishes aggregate in small swarms and rise to the surface (Fig. 9). From 20 to 22 o'clock the sardine shoal floats almost just beneath the surface, at the same time showing the thickest density of the swarms. This concurs, in addition, with characteristic rising and sinking movements of the swarms. After that the shoal inclines to sink, the swarms becoming less dense. From 0 to 3 o'clock, next day, the swarms are disintegrated, the fishes seeming to be uniformly dispersed and their swimming layer to be deepest.

The similar floating behaviour of the shoal was also observed at dawn.

It may be interesting that the time of the shallowest float of shoal and of the thickest density of swarms is coincident with that of spawning. We think, therefore, the sardines spawn during the rising and sinking movements of the swarms.