

日本海佐渡島羽茂地先の人工魚礁における 超音波バイオテレメトリーを用いたマアジの行動様式

伊藤 靖,^{1*} 三浦 浩,¹ 中村 憲司,² 吉田 司²

(2009年5月14日受付, 2009年8月17日受理)

¹財団法人漁港漁場漁村技術研究所, ²株式会社シャトー海洋調査

Behavior properties of Jack mackerel *Trachurus japonicus* using ultrasonic biotelemetry in artificial reef off the coast of Hamochi, Sado Island, the Sea of Japan

YASUSHI ITO,^{1*} HIROSHI MIURA,¹ KENJI NAKAMURA² AND TSUKASA YOSHIDA²

¹The Japanese Institute of Technology on Fishing Ports, Grounds and Communities, Chiyoda, Tokyo 101-0047,

²Chateau Marine Survey Co., Ltd., Miyakojima, Osaka 534-0025, Japan

To investigate behavioral properties of the Jack mackerel *Trachurus japonicus*, an ultrasonic biotelemetry (V9P-1H, VEMCO) was externally attached to 30 cm-long Jack mackerel principally in an artificial reef put in place at a depth of 45 meters in the Sea of Japan, off the coast of Hamochi, Sado Island. Each fish was tracked seven times from June to July in 2008. Their circadian behaviors are quite clear. The Jack mackerel stays in an area within 10 meters from the top of the reef during the daytime and swims in the reef near the sea surface at depths of 5 to 10 meters during the nighttime.

キーワード: *Trachurus japonicus*, 人工魚礁, 超音波バイオテレメトリー, 日周行動, マアジ

マアジ *Trachurus japonicus* は東アジアの暖海域に広く分布し、遊漁の対象としても非常になじみ深く、国民生活に深く関わっている魚種である。年間20~30万トンが漁獲される水産業上の重要種で、その約2/3が対馬暖流域の日本海西部や東シナ海で多獲される。¹⁾

日本海で漁獲されるマアジ稚仔魚は東シナ海から九州西・北域、さらに日本海西部で産卵、ふ化したものが対馬暖流により輸送されながら成長したものとされ、²⁻⁵⁾ 太平洋側で漁獲されるものは東シナ海南部の主産卵場で孵化した個体を中心であるとされている。⁶⁻⁸⁾

一方、マアジ成魚は、沖合回遊群とある程度生活史の独立した地方群、および沿岸の瀬付き群の存在が示唆されており、生態的な多様性を示している。⁹⁻¹⁴⁾

また、マアジ成魚は日中に底層で群れを形成し、夜間には中・表層に浮上離散すると報告されている。^{15,16)} さらに、人工魚礁では夜間のうちに魚群が入れ替わっているとの報告^{17,18)}もあるが、マアジ成魚の行動生態には未だ不明な点が多い。

このようなマアジ成魚の行動生態を明らかにすること

は、人工魚礁を利用した漁場造成や増殖場造成の有効性を科学的に評価することにつながるとともに、効率的な人工魚礁の規模の設定や、適正な配置計画の策定に有効である。

本研究に先駆けて2005~2006年には、日本海北部の佐渡島羽茂町の沖合の人工魚礁では、潜水による目視観察を主体とした調査が実施され、時間当たりの蛸集量が把握されている¹⁶⁾。

そこで本研究は、この人工魚礁へ蛸集しているマアジ成魚に超音波バイオテレメトリーを装着させ、これを連続的に追跡することによって、マアジ成魚の6~7月における礁間の移動、遊泳水深および人工魚礁や天然礁への滞留状況をとおして、マアジ成魚(以下、マアジとする)の行動様式を明らかにするものである。

試料および方法

マアジを放流した人工魚礁 超音波バイオテレメトリーを装着させたマアジを放流した人工魚礁は、日本海北部海域に位置する佐渡島南西側の佐渡市羽茂町の沖合

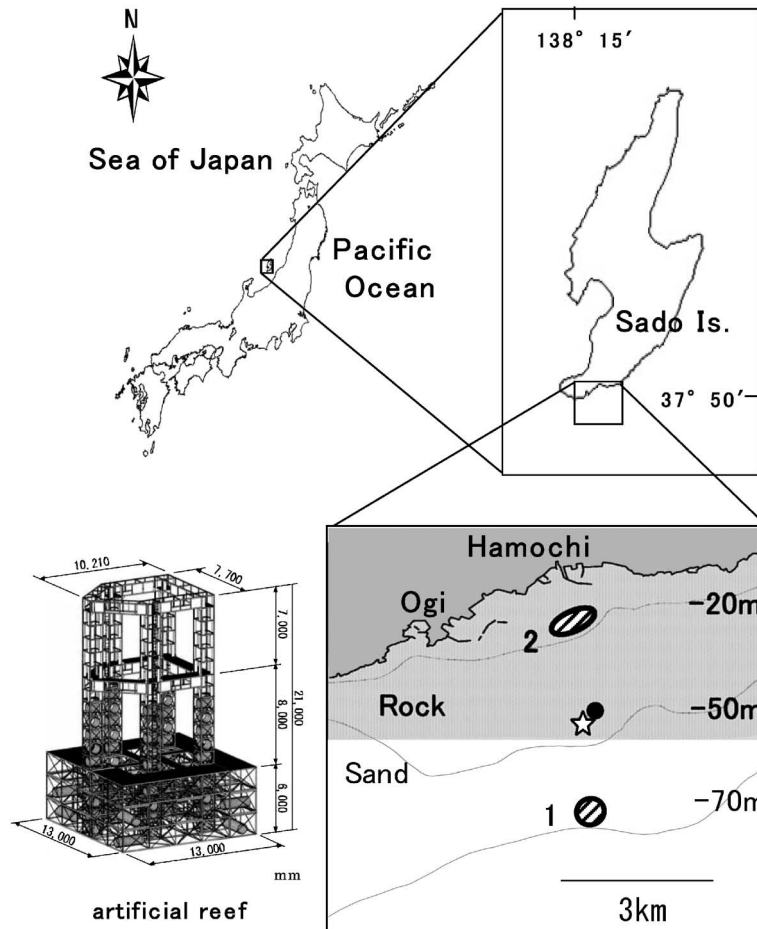


Fig. 1 Map of the coast of Hamochi, Sado Island, the Sea of Japan, and location of the artificial reef targeted for the investigation. A closed circle indicates the artificial reef, star indicates the current-meter installation location, and striped area indicates the natural reef.

3 km, 水深 45 m に 2001 年に設置された高さ 21 m の鋼製の高層魚礁 (N 37°47'40.0", E 138°19'09.0", 以下人工魚礁とする Fig. 1) である。

調査海域の環境 調査海域の水温は人工魚礁の中段付近にあたる水深 28 m の人工魚礁脚柱にメモリー式水温計 (TidbiT v2, Onset Computer 社製) を取り付け, マアジの追跡期間を挟む 2008 年 6 月 1 日~7 月 7 日の 37 日間で 60 分間隔で測定した。

流向・流速は人工魚礁から 230° の方向へ, 20 m 離れた水深 45 m の海底 (Fig. 1) に多層流向・流速計 (Work Horse ADCP, Teledyne RD Instruments 社製) を設置し, 表層から海底までを 1 m 層毎に, 20 分間隔で水温と同じ期間の測定を行った。

マアジの行動追跡 供試魚のマアジは全長 290~360 mm, 体重 223~420 g で, 追跡開始当日に人工魚礁に蛸集したものを釣により捕獲した。超音波バイオテレメトリー (以下, 発信機とする) の装着影響については体重比 (発信機の空中重量/魚体の空中重量) が 2.6% 以

下であれば行動に変化が認められないとされ,¹⁹⁾ 今回, 用いた発信機は, 体重比 1.2~2.3% にあたる直径 9 mm, 長さ 40 mm, 水中重量 2.7 g, 空中重量 5.2 g の VEMCO 社製の V9P-1H を用いた。なお, 超音波の発信間隔は 1 秒, 周波数は 63~75 kHz で, 水深 200 m まで測定可能な水圧センサーを装備し, 電池寿命は約 4 日間である。

マアジへの発信機の装着は, 発信機の先端から 5 mm のところに装着用の紐を予め巻き付けた。船上ではこの装着用の紐を縫合針とハサミペアン止血鉗子直無鉤によりマアジの尻鰭基部に直接, 外部装着した (Fig. 2, 曳航式)。

なお, マアジへの発信機の装着法については, 事前に神奈川県水産技術センターの陸上水槽 (5 m×2 m×1 m) で, 発信機を装着したマアジを 1 週間, 無給餌で飼育し, 発信機の脱落や傷口の異常などが起こらなかったことを確認している。

発信機装着後のマアジは船上の 1 トン水槽に 15 分程

度、収容し、傷口からの出血や遊泳異常がみられないことを目視で確認して、当日、人工魚礁で釣により捕獲した別のマアジ 10~20 尾（全長 320~340 mm）とともに人工魚礁直上の海面から放流した。

マアジの追跡は、2008 年 6 月 11 日~7 月 7 日の間に 7 回行った。

マアジの行動追跡は、主に 1 素子のハイドロフォンにより指向性を持たせ追跡型受信機 VR100（VEMCO 社製）を用いた。さらに、マアジの急激な行動の変化に対応するため 4 素子のハイドロフォンにより全周囲のモニターが可能な追跡型受信機 VR28（VEMCO 社製）も併用した。受信範囲は VR100 で 300 m、VR28 で 100 m である。各ハイドロフォンは、2 m の幅を持たせ、調査船右舷の水深約 1 m に固定した。発信機の ID および遊泳水深の情報は 1 秒間隔で得られ、受信機の内部メ

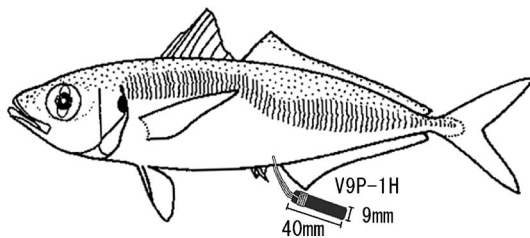


Fig. 2 Attachment of the ultrasonic transmitter to the Jack mackerel. A towing type that can be externally attached was chosen. The size of the Jack mackerel was 29 cm to 36 cm in length, and the ultrasonic biotelemeter was a V9P-1H (VEMCO) with diameter 9 mm, length 40 mm and weight-in-water 2.7 g.

モリーやパーソナルコンピューターに記録した。

調査船の位置は 1 秒毎に GPS (GPS map 76 GARMIN 社製) により記録し、水深は 15 分毎に魚群探知機 (FCV-291, FURUNO 社製) により計測した。

それぞれのデータは、GIS ソフト (ArcView, ESRI 社製) に海岸地形とともに入力、データベース化してマアジの行動解析に用いた。マアジが人工魚礁から離脱して移動する方向が特定方向へ集中しているかについては V 検定により判定した (Fig. 5)。また、マアジの夜間と日中の遊泳水深の違いは t 検定によった (Fig. 6)。

結 果

調査海域の環境 人工魚礁が設置された佐渡島南西側に位置する佐渡市羽茂町の沖合の海底は、平坦で、底質は人工魚礁より佐渡島側では岩盤が露出し、人工魚礁より沖合では砂が堆積し、所々に天然礁がみられるとされている (Fig. 1)。²⁰⁾

今回、マアジが留まった天然礁は、Fig. 1 に示す天然礁 1 と 2 であった。魚探記録やマアジの蜻集状況から判断すると天然礁 1 は水深 70 m にある直径 500 m、海底からの高さ 10 m 程度であった。天然礁 2 は東西 1,000 m、南北 200 m、高さ 5~20 m の起伏のある地形であった。

観測期間中 (2008 年 6 月 1 日~7 月 7 日) の水温 (水深 28 m) は 6 月上旬では 11~13°C、中旬には 15°C を上回り、7 月上旬になると 16~17°C で推移した (Fig. 3 上段)。

この時期の水深 20 m 層の平均流速 \pm SD は 10.6 ± 6.8

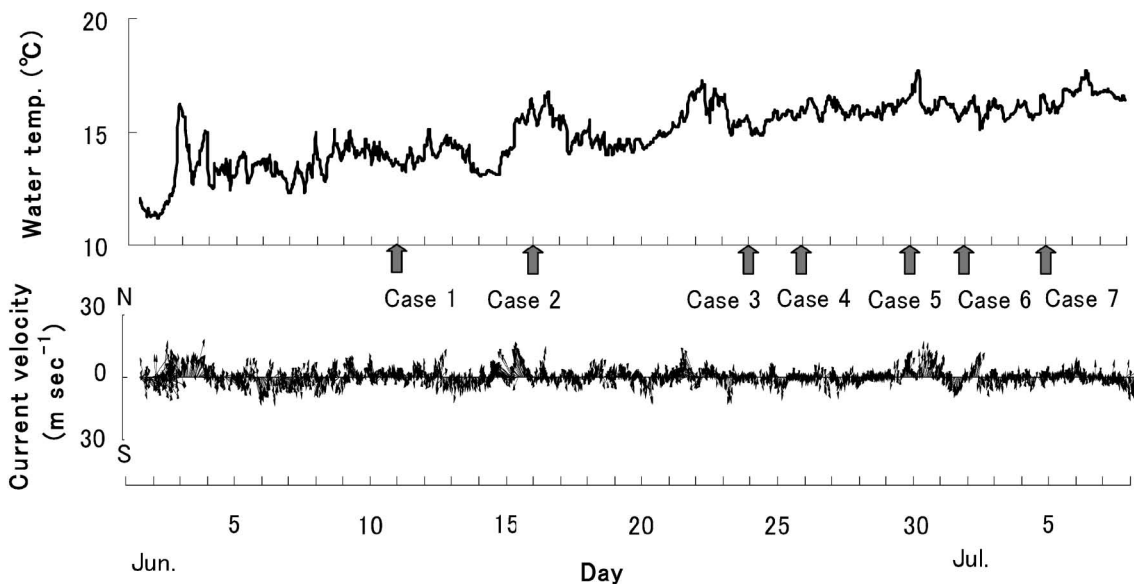


Fig. 3 Fluctuation of water temperature (upper stage) and current (lower stage) during the investigation period. The record is of the investigation conducted from June 1 to July 7 in 2008 with water temperature measured at a depth of 28 m and current measured at a depth of 20 m. The arrow in the drawing indicates the date at which the Jack mackerel began to be tracked.

Table 1 Days of tracking, tracking distance and period present of the Jack mackerel

Case	Days of tracking (day)	Total tracking distance (km)	Period present in the artificial reef and/or the natural reef	Position at the end of tracking	Tracking period
1	5(3)	43.1	15 h 40 min ± 9 min	N. R. -2	11 June–14 June
2	7(5)	27.4	17 h 10 min ± 45 min	A. R.	16 June–22 June
3	3(2)	21.0	15 h 0 min	N. R. -2	24 June–26 June
4	3(2)	19.2	16 h 0 min	A. R.	26 June–28 June
5	3(2)	21.5	16 h 30 min	N. R. -2	30 June– 1 July
6	2(1)	13.9	—	N. R. -2	2 July – 3 July
7	3(2)	18.2	14 h 0 min	N. R. -2	5 July – 7 July
Average ± S.D.	3.7 ± 1.7 (2.4 ± 1.3)	23.5 ± 9.6	15 h 43 min ± 1 h 7 min		

() indicates the days of tracking from sunset to sunrise.

A. R. indicates artificial reef.

N. R. -2 indicates natural reef.

cm s⁻¹, 流向は西南西方向が卓越していた (Fig. 3 : 下段)。

マアジの行動追跡 2008年6月11日～7月7日の間に行ったマアジの行動追跡の概要を Table 1 に示した。追跡は7ケースである。各ケースの追跡日数は2～7日間, 追跡距離は13.9～33.1 km となった。

発信機を装着したマアジの行動は Case 2 と Case 3 を事例として Fig. 4 に示した。

Case 2 は, 人工魚礁を連続して利用した事例である。

2008年6月16日14:40の追跡開始から19:30までは人工魚礁で記録された。その後, 北に向けて人工魚礁を離脱して, 23時30分には方向を転回させて南下を始め, 翌17日3:30には人工魚礁に到着し, 20:15まで人工魚礁に留まった。18日と19日も同様のパターンを繰り返し, 18:00に一旦, 追跡を中断した。

2008年6月20日9:00に再び人工魚礁で調査を開始したところ, Case 2 のマアジが確認されたことから追跡を再開し, 20:00まで人工魚礁で記録された。その後, 南西に向けて移動し, 翌21日3:00には再び人工魚礁へ到着して, 21:15まで留まった。その後は人工魚礁より大きく離れることはなく, 22日20:00まで記録され, 電池の寿命により追跡は終了した。

Case 3 は, 人工魚礁を中心に沖合の天然礁1と沿岸の天然礁2を行き来した事例である。

2008年6月24日11:30の追跡開始から19:00まで人工魚礁で記録された。その後, 南に向けて移動し, 翌25日4:30には水深70mの天然礁1へ到着し, 日中はその天然礁に留まった。

6月25日19:30には天然礁1から北に向かって移動し, 23:00には人工魚礁近傍を通過して, 翌26日2:45に水深20mの天然礁2 (Fig. 1) へ到着し, 日中は天然礁2に留まった。

今回, 行った7ケースの行動追跡よりマアジが人工

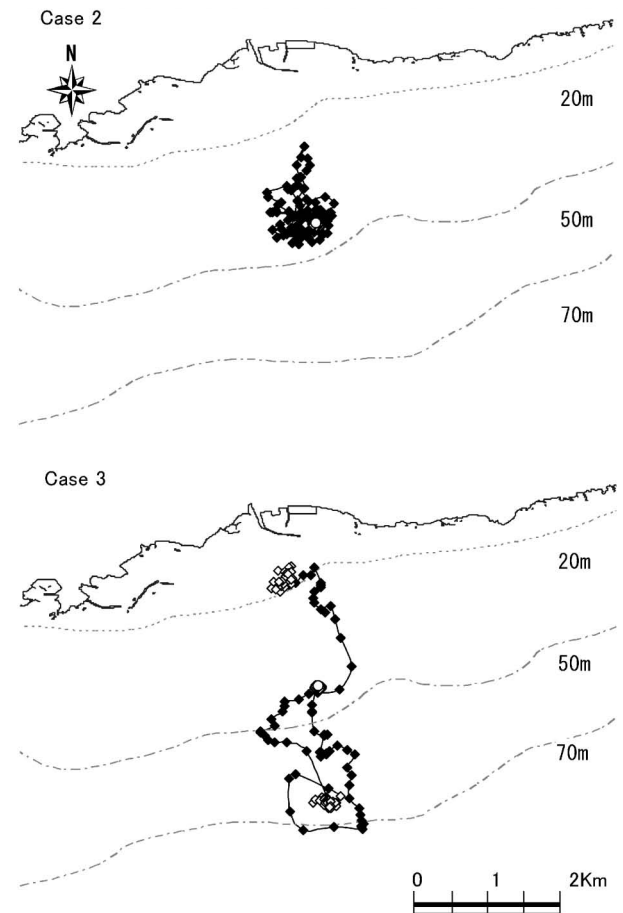


Fig. 4 Case example of horizontal migration of the Jack mackerel. Case 2 was investigated from June 20 to June 22 in 2000, Case 3 from June 24 to June 26 in 2000. Open circles in the drawing indicate the artificial reef where the Jack mackerel had been stocked. Locations of the Jack mackerel were tracked at 15-minutes intervals. Closed diamonds indicate nighttime and open diamonds indicate daytime.

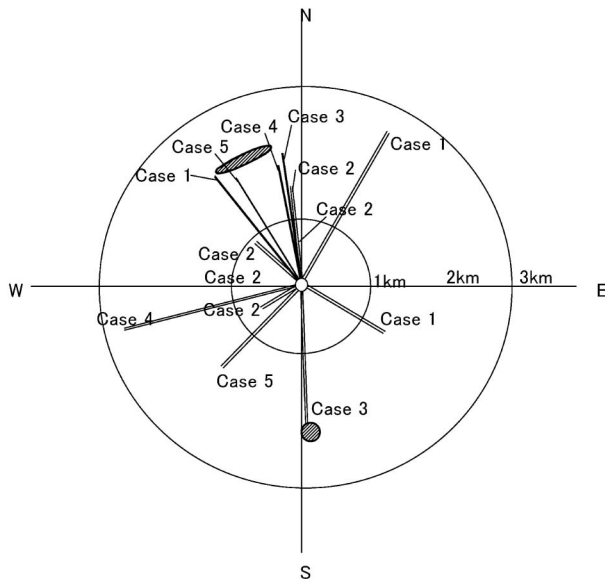


Fig. 5 Maximum distance and direction in which the Jack mackerel migrated in one night from the artificial reef where it had been stocked. Open circles in the drawing indicate the artificial reef where the Jack mackerel had been stocked and striped area indicates the natural reef. Doubled lines indicate that a round trip was made.

魚礁より離脱する時間帯は 18:45~21:15 (追跡期間の日没は 19:09~19:13) であった。

人工魚礁周辺から夜間に最も移動した地点の方向とその直線距離を Fig. 5 に示した。また、夜間におけるマアジの遊泳方向 (人工魚礁あるいは近傍からの最大移動点) と人工魚礁周辺海域での夜間の流向 (ベクトル平均) と流速を Table 2 に示した。

今回放流したマアジが、夜間に人工魚礁から離脱して移動して行く方向はランダム ($V=2.300 < p(0.01)$) であった。しかし、離脱した個体の一部は、人工魚礁に戻る傾向を示した。

沿岸方向に限ってみると、マアジの移動方向は天然礁 2 (338°) 方向に集中する傾向 ($V=1.647 < p(0.05)$) があつた。マアジの一晩での最大移動距離は直線で 2.7 km 以内となり、追跡時間内では、一晩にそれ以上の距離を移動した個体はみられなかった。

また、マアジの人工魚礁から夜間に移動する方向と人工魚礁周辺での流向には関係はみられなかった ($r=0.09$)。

マアジの遊泳水深 マアジの遊泳水深の出現頻度を夜間は 19:30~翌 3:00 までと日中は 3:00~19:30 として 15 分毎のマアジの遊泳水深データを集計した。Fig. 6 に人工魚礁や天然礁から離脱する夜間(A)と人工魚礁(B)や天然礁 1(C), 2(D)に蜻集する日中の時間帯の遊泳水深を示した。

Table 2 Tracking direction of the Jack mackerel and current velocity and direction around artificial reef at nighttime

Case	Tracking direction (°)	Current direction (°)	Current velocity mean (cm s ⁻¹)	±S.D
1-1	30	239	6.6	2.1
2	121	350	4.9	1.9
3	321	80	6.5	3.1
2-1	352	75	5.9	2.8
2	353	99	7.7	2.2
3	288	102	6.9	2.8
4	312	271	6.6	2.6
5	239	257	16.7	5.3
6	243	37	2.6	2.7
3-1	178	266	7.4	2.3
2	350	307	3.2	1.6
4-1	256	100	1.1	2.9
2	349	302	4.9	1.9
5-1	224	194	1.5	2.8
2	328	176	3.2	3.0

Work Horse ADCP set up at azimuth 230° and distance 20 m from the artificial reef at the bottom of the sea.

マアジは両時間帯とも水深 5 m 未満~45 m の範囲を幅広く利用していた。しかし、夜間は水深 5~10 m を遊泳し、日中は人工魚礁の天端部や天然礁の海底面からそれぞれ高さ 10 m 程度を共通して利用しており、マアジの遊泳水深は夜間と人工魚礁 ($t=-7.30 < p(0.05)$) や天然礁 ($t=-23.6 < p(0.05)$) に蜻集する日中では、大きく異なっていた。

マアジの人工魚礁や天然礁への滞留状況 発信機を装着したマアジの人工魚礁や天然礁へ滞留する時間帯を Fig. 7 に示した。なお、マアジが礁へ蜻集したという判断は、人工魚礁では 100 m 範囲内とし、天然礁では上述した天然礁の範囲内で海底から 10 m の高さ内に出現した回数とした。

マアジは各ケースで 18:45~21:15 の時間帯で人工魚礁や天然礁から離脱し、再び人工魚礁や天然礁に蜻集するのは 2:30~4:45 であった。したがって、人工魚礁への滞留時間は 16 時間 45 分~18 時間 15 分、天然礁では 14 時間 00 分~16 時間 30 分となった (Table 1)。

調査期間中 (2008 年 6 月 1 日~7 月 7 日) の佐渡市羽茂町の日没は 19:09~19:13、日出は 4:24~4:31 (海上保安庁海洋情報部 http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KOHO/automail/sun_form3.htm: 2008 年 7 月) であった。

考 察

調査海域の環境 2008 年 6 月 1 日~7 月 7 日におけ

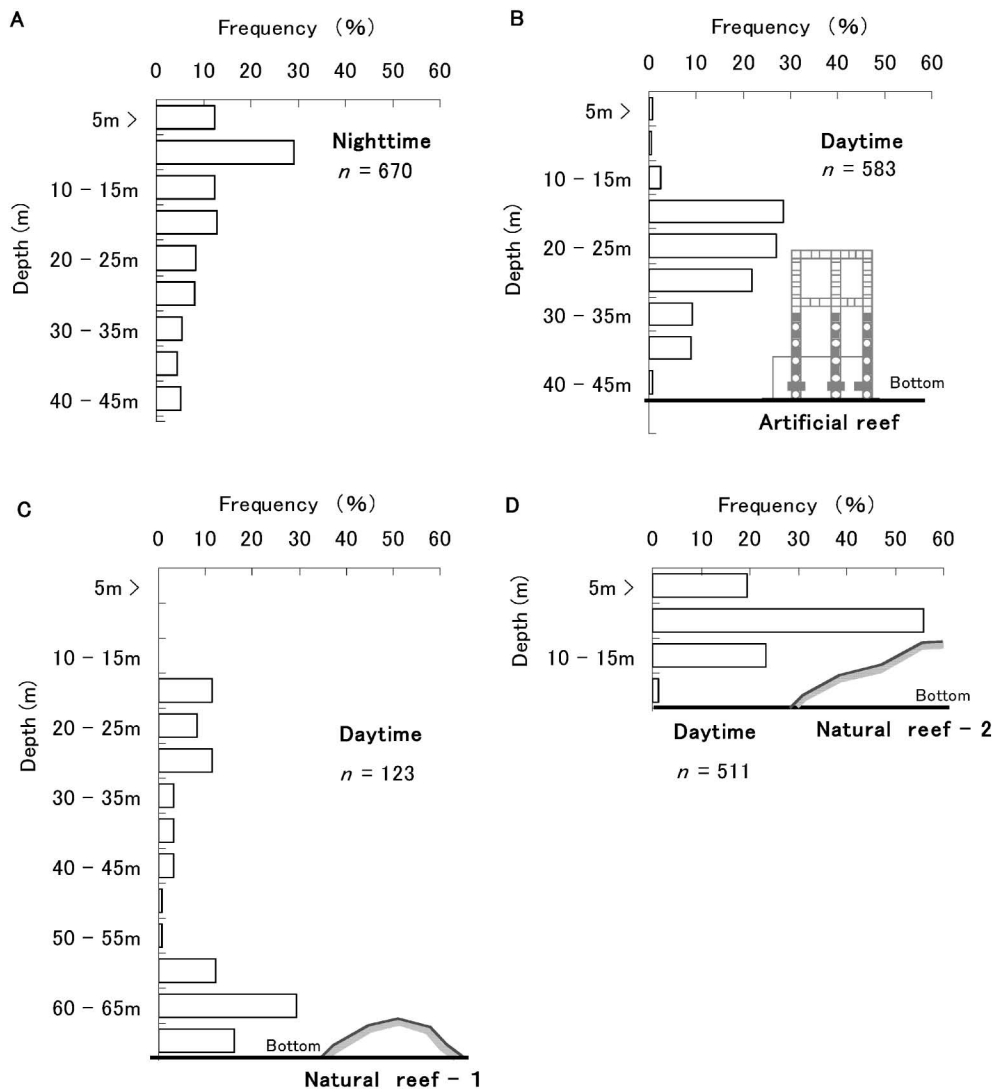


Fig. 6 Water depth compositions of the Jack mackerel's swimming layer in the nighttime from 19:30 to 3:00 am (A) and the daytime from 3:00 am to 19:30 (B, C, D).

る羽茂地先の人工魚礁周辺海域の水温は15~17°C（水深28m）で推移した。平均流速（±標準偏差）は10.6（±6.8） cm s^{-1} （水深20m）であった。

今回、追跡したマアジは、全長290~360mm、3歳以上の成魚²¹⁾であった。マアジ（尾叉長210~260mm）の生息水温（7~9月）は15~25°Cである。²²⁾

巡航速度（回流水槽の上流側に60分間で滞留頻度が50%を切る流速）は42.9 cm s^{-1} である。²³⁾人工魚礁周辺海域の流速は10 cm s^{-1} 程度であり、マアジの巡航速度からみると遊泳行動を大きく制限する要因とは考えられない。

また、羽茂町地先を含む佐渡島南部海域では大きな河川もみられず、淡水による塩分の低下は降雨の影響以外にはほとんどみられないようである。²⁴⁾

本研究の観測結果から人工魚礁周辺海域における主流

向は西南西を示したが、本州と佐渡島に位置する佐渡海峡の流れは、概ね北北東を示すが、人工魚礁より沿岸域では岸に向かう北の流れとなり、さらに天然礁2付近では西に流れるとされている。²⁰⁾今回、沿岸方向に限ってマアジの夜間の移動方向をみると人工魚礁から天然礁2（338°）方向に集中する傾向を示したことはこのような流れに乗って移動した可能性が示された。

マアジの行動 本研究で用いた発信機の外部装着法、および曳航式は、発信機が小型、軽量化（体重比1.2~2.3%以下）され、装着も短時間で行うことによって、最大7日間の追跡が行えた。したがって、マアジの遊泳に大きなストレスを与えることはなかったと考えられる。

今回、追跡したマアジは、日中には人工魚礁や天然礁1, 2に留まった。人工魚礁から天然礁1までの距離は

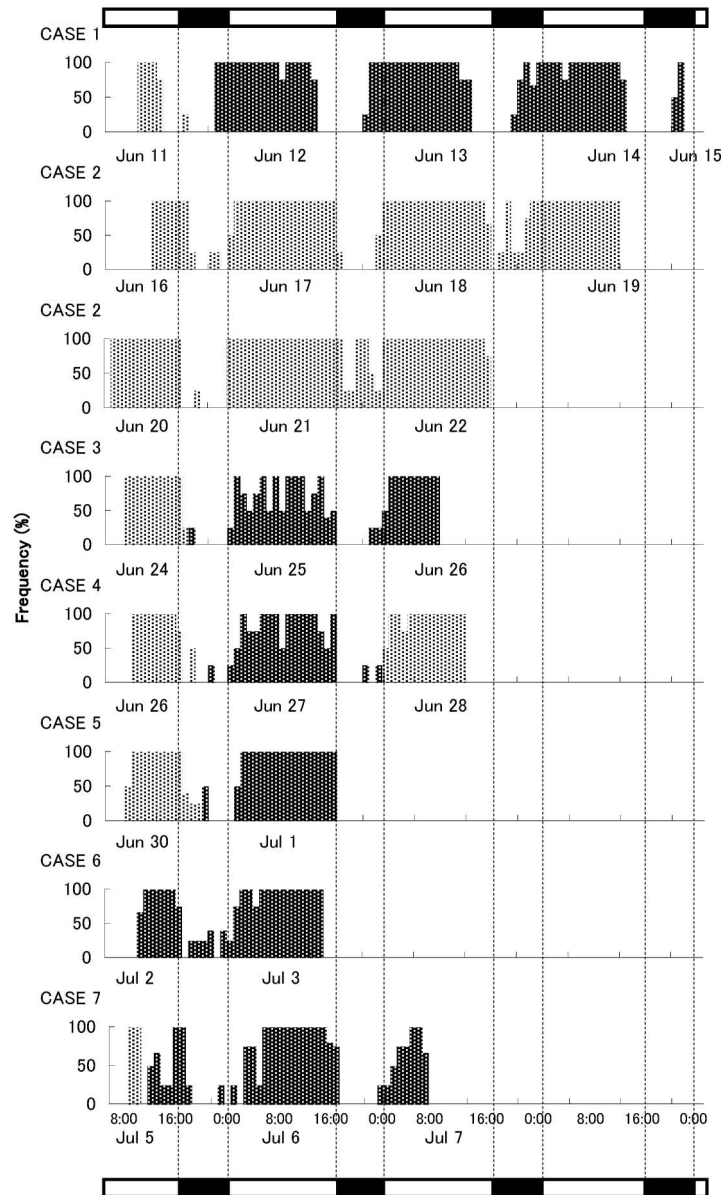


Fig. 7 Time zone when the Jack mackerel was in the artificial reef or the natural reef. The frequency of the Jack mackerel appearances was collected when the fish appeared within an area 100 meters from the artificial reef and within the natural reef and simultaneously 10 meters off the seabed. Light gray columns in the drawing indicate the time zone when the fish appeared in the artificial reef, dark gray columns indicate the time zone when the fish appeared in the natural reef, and the bar on the upper stage indicates daytime (white) and nighttime (black).

約 3 km, 天然礁 2 までは約 2 km であった。夜間に人工魚礁から離脱して移動して行く方向はランダムであった。しかし、離脱した個体の一部は人工魚礁に戻る傾向を示した。夜間、表層を遊泳中のマアジは直下に人工魚礁があっても近寄る行動を示さなかった (Case 3)。

マアジの遊泳水深は夜間と人工魚礁や天然礁に蜻集する日中とでは、大きく異なっていた。夜間は水深 5~10 m を遊泳し、日中は人工魚礁の天端部や天然礁からそれぞれ高さ 10 m 程度を遊泳した。マアジは日没後に中層から表層に向けて浮上する傾向を示した。

マアジは、18:45~21:15 の時間帯で人工魚礁や天然礁から離脱し、再び人工魚礁や天然礁に蜻集し始めるのは 2:30~4:45 であった。したがって、礁への滞留時間は 14 時間 00 分~18 時間 15 分であった。

このようにマアジは日中には人工魚礁や天然礁に留まり、日没後には礁から離脱し、夜間は表層を遊泳し、日出前には礁へと蜻集し始めるといった水平方向と鉛直方向に明確な日周行動を示しながら、礁間を移動していることが示唆された。

マアジは全長 30 mm になると全ての鰭が完成し、²⁵⁾

遊泳力が増大して、海流による輸送よりも適当な水温や海底地形を選択しながら移動する。²⁶⁾ 全長 50~80 mm になると群を作るとともに沿岸域への漁場に参加し、底生性が強くなるとされている。²⁷⁾ さらに、水深など海底地形により分布がある程度制限されている海域では、イワシ・サバ類と比較して大規模回遊を行わない底魚的な生態を有しており、東シナ海の着底トロール調査において特に日中は底層付近に分布していることが知られている。²⁸⁾

本研究で、調査に用いたマアジがどのような回遊履歴を辿ってきたかについては不明である。しかし、佐渡島羽茂町沖でのマアジの連続追跡により、日中は人工魚礁の周辺部や天然礁の底層部付近にみられ、夜間には表層付近を遊泳して最大 3 km 程度の礁間を移動するという行動様式が明らかとなった。今回、発信機の電池容量に制限されたが、7 日間の連続追跡が行えたことから、マアジは最低 1 週間程度、一定の海域に滞留する行動様式を持つことが示唆された。

謝 辞

本研究は、水産庁水産基盤整備調査委託事業「人工魚礁におけるアジ類の増殖および増殖に関する調査」の一部をとりまとめたものである。本調査の実施にあたり佐渡市産業環境部水産課の皆様および佐渡島内の漁業関係者の皆様の協力を得た。また、事前調査の実施にあたり神奈川県水産総合センターの協力を得た。ここに感謝申し上げます。

文 献

- 1) 平成 16 年漁業・養殖業生産統計年報。農林水産省統計部, 東京, 2006.
- 2) 平成 18 年度我が国周辺水域の漁業資源評価 (魚種別系群別資源評価・TAC 種)。水産庁, 水産総合研究センター, 東京, 2007.
- 3) 金治 佑, 渡邊良郎. 対馬暖流域におけるマアジの初期生態. 月刊海洋 2007; **39**: 561-565.
- 4) 志村 健. 山陰海域のマアジの分布と移動. 鳥取水試報 2003; **37**: 112-117.
- 5) 山田鉄雄. マアジの回遊についておよび耳石による年齢査定について (予報). 対馬暖流開発調査第 5 回シンポジウム発表論文. 1957; 33-44.
- 6) Kim H, Sugimoto T. Transport of larval jack mackerel (*Trachurus japonicus*) estimated from trajectories of satellite-tracked drifters and adjective velocity fields obtained from sequential satellite thermal images in the eastern East China Sea. *Fish. Oceanogr.* **2002**; **11**: 329-336.
- 7) Kim H, Kimura S, Sugimoto T. Transport of jack mackerel (*Trachurus japonicus*) larvae inferred from the numerical experiment in the East China Sea. *Fish. Oceanogr.* **2007**; **71**: 9-17.
- 8) 小松幸生, 笠井亮秀. マアジ卵稚仔魚輸送予測モデルの開発. 月刊海洋 2007; **39**: 550-555.
- 9) 畔田正格, 落合 明. 若狭湾産マアジの系群に関する研究. 日水誌 1962; **28**: 967-978.
- 10) Suda Y, Shimizu M, Nose Y. Morphological variations of the Japanese jack mackerel *Trachurus japonicus*. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 1987; **53**: 1913-1991.
- 11) 山田鉄雄. アジに関する研究. 対馬暖流開発調査報告書第 4 号 (漁業資源編), 水産庁, 東京. 1958; 145-176.
- 12) 深滝 弘. 対馬暖流域におけるマアジ資源の加入過程に関する考察 I. 稚仔魚の出現分布にもとづく考察. 日水研研報 1960; **6**: 87-103.
- 13) 清野清次, 坂野安正, 神田 潔. 若狭湾産マアジの産卵と稚魚の生長について. 京都水試, 京都. 1968; 132-134.
- 14) 堀田秀之, 中島純子. 西日本海域におけるマアジの群構造に関する研究—V. 成熟状況からの解析. 西水研研報 1970; **39**: 33-50.
- 15) 柿元 皓. 人工魚礁効果研究報告 (昭和 45 年度). 新潟水試, 新潟. 1971; 21-25.
- 16) 伊藤 靖, 中野喜央. 人工魚礁におけるアジの増殖・滞留について. 「安全で安心な明るい漁村の未来を拓くために」調査研究成果発表会論文集, 漁港漁場漁村技研, 東京. 2007; 41-46.
- 17) 魚礁総合研究会. 人工魚礁の理論と実際 (I) 基礎編. 日本水産資源保護協会, 東京. 1976; 9-45.
- 18) 柿元 皓. 魚礁の構造と魚類増殖量について. 水産土木 1984; **21**: 1-10.
- 19) 柿元 皓. 新潟県沿岸域の人工魚礁漁場における魚類の行動学的研究. 新潟水試, 新潟. 1984; 77-94.
- 20) 佐渡海域総合開発調査事業報告書. 新潟県, 新潟. 1984; 60-85.
- 21) 西田 宏, 長谷川誠三. 新潟沿岸におけるマアジ産卵群の年齢と成長. 日水研報告 1994; **44**: 73-80.
- 22) 山田鉄夫. 日本海におけるマアジの分布と漁場に関する考察. 長大水研報 1969; **28**: 111-130.
- 23) 安永義暢. 2, 3 の海産魚類の走流性状に関する基礎的考察. 水工研研報 1985; **6**: 17-26.
- 24) 人工魚礁造成事業調査報告書. 新潟県, 新潟. 1981; 9-14.
- 25) 落合 明, 睦谷一馬, 榎田 晋. マアジの卵発生と初期発育. 魚類学雑誌 1982; **29**: 86-92.
- 26) 木所英明. 日本海沿岸へのマアジの加入過程. 「マアジの産卵と加入機構」(原一郎・東海正編), 恒星社厚生閣, 東京 2004; 83-91.
- 27) 梶原 武. 若年マアジの生態学的研究—I—行動と食性について. 長大水研報 1957; **5**: 13-22.
- 28) 塚本洋一. マアジの生物学的特長. 月刊海洋 2007; **39**: 495-499.