

魚礁域に放流したキジハタの超音波バイオテレメトリーによる追跡

井谷匡志, 尾崎 仁, 濱中雄一

Behavior of the Red Spotted Grouper, *Epinephelus akaara*, around Artificial Reefs, Tracked using Ultrasonic Biotelemetry

Masashi Itani, Hitoshi Ozaki* and Yuuichi Hamanaka

Three red spotted grouper were released on August 20, 2003 near an artificial reef and tracked using ultrasonic biotelemetry. Two individuals were tracked for about 19 hours using a general-purpose active tracking receiver, then tracked for about three months using a passive tracking receiver placed near the artificial reef. The signals from these fishes had periods that showed a clear diurnal pattern. In August and September, signals were recorded with low frequency in the daytime and with high frequency at night. We conclude that the red spotted grouper has nocturnal habits during these periods. In October and December, this nocturnal habit becomes less distinct, showing that the movement of red spotted grouper near artificial reefs may change with the seasons. The frequency of signals increases at sunrise and decreases at sunset in August and September, meaning that movement of red spotted grouper is higher at sunrise and sunset. This movement is likely to be chiefly due to feeding behaviors.

キーワード：キジハタ, 魚礁, バイオテレメトリー

現在まで人工魚礁への魚類の蝟集や, 人工魚礁における魚類の生態についての調査は, 標本日誌の解析や試験漁獲(秋元, 鎌滝, 2000; 柿元, 1967; 荻野, 松下, 1996; 高木ら, 2000, 2002; 内野ら, 1983), 水中カメラや潜水による観察(高木ら, 2000, 2002)等により行われてきた。そのうち, キジハタ *Epinephelus akaara* については, 放流魚を保護するという観点からの魚礁の開発を目的とした潜水観察や水槽実験等による報告がある(萱野ら, 1998; 水産庁漁港漁場整備部計画課, 2003)。しかし, これらの報告は漁獲時点, 観察時点といった時間的には点での記録や水槽内の人工的な条件下の実験で, 対象魚類の魚礁への依存性を実際の現場で継続的に調べたものではない。

一方, バイオテレメトリーによる調査は, いままで魚類の帰巣行動の調査(Mitamura *et al.*, 2002)や魚類の回遊経路及び行動生態の調査(林, 1998; 平岡ら, 2003; 三田村ら, 2004; 光永ら, 1999; 高場, 1992; Takai *et al.*, 1997; 横田ら, 2004; 小長谷・蔡, 1987, 1989)等で報告されているが, 魚礁の効果調査へ応用した例はみあたらない。今回, 著者らは, 水深72 mに設置された魚礁で, 超音波バイオテレメトリーを装着したキジハタを放流し, 約3ヶ月にわたり, 同魚礁域で追跡記録を得ることができたので報告する。

材料と方法

使用機材 本実験に使用した超音波コード化発信機

(V8SC-6L, Vemco Ltd., Canada, 以下超音波発信機)は, 周波数69 kHzで6音一組の信号を発信し, その発信間隔により256通りの個体識別が可能であり, 外寸法は直径8.5 mm, 長さ25 mm, 水中重量2.2 g, 電池寿命は96日であった。超音波発信機の発信間隔は, 20秒から60秒でランダムに変化し, 平均40秒となっている。そのため, 本来なら1時間に90回の発信が記録されるはずであるが, 複数の発信機が同時に発信した場合には受信ができなくなることから, 受信できる信号はこれより少なくなる。

受信機には, 追跡型のVR28T受信機(Vemco Ltd., Canada, 以下, 追跡型受信機)と設置型のVR2受信機(以下, 設置型受信機)を用いた。追跡型受信機は船舶に搭載し, 移動しながら発信機の信号を追跡し位置を特定するもので, 調査海域(水深72 m)での事前の予備調査によると, 信号の受信範囲は半径約100 mであった。追跡型受信機は信号を受信すると超音波発信機の識別番号(ID), 受信時間, ディファレンシャルGPSによる船舶の位置, 信号強度及び信号の方向がパーソナルコンピューターに記録される。この受信機は, 超音波を受信した際にその強弱と方向を数値であらわすために, 信号を受信した場合にはその信号の方へ船舶を進め, 超音波を最も強く受信した地点を発信機の存在位置とした。

設置型受信機は, 海中に係留して使用するもので, 調査海域での信号の受信範囲は予備調査によると約

* 京都府水産事務所 (Fishery Office of Kyoto Prefecture, Tsuruga, Miyazu, Kyoto, 626-0041)

Table 1 Tracking summary of red spotted groupers

Total Length (mm)	Body Weight (g)	Release date	Release time	Release point		Last recorded date	Last recorded time
				Latitude	Longitude		
275	295	Aug. 20 2003	11:25	35°42.112	135°20.823	Nov. 14 2003	14:35
330	500	Aug. 20 2003	13:20	35°42.103	135°20.811	Aug. 20 2003	19:53
270	275	Aug. 20 2003	12:17	35°42.101	135°20.809	Nov. 14 2003	14:31

Table 2 Summary of rearing experiment

Before surgery(Aug. 8 2003)		End of experiment(Nov. 7 2003)	
Body weight(g)	Total Length(cm)	Body Weight(g)	Total Length(cm)
190	24.5	240	29.2
250	26.5	325	31.5
235	29.5	380	20.5
-	-	595	25.3
-	-	445	-
-	-	280	-
-	-	245	-

400 mであった。設置型受信機は信号を受信すると、超音波発信機の識別番号 (ID), 受信日時がフラッシュメモリに格納され、インターフェースを用いてパーソナルコンピュータに接続することによりデータが回収される。

供試魚 放流には、2003年8月12日に京都府舞鶴市野原地先で刺網により漁獲されたキジハタ3個体 (Table 1) を用いた。超音波発信機は、長期間の追跡を前提として、平岡ら (2003), Mitamura *et al.*, (2002), 横田ら (2004) と同様に麻酔下で放流前日の2003年8月19日に外科的方法により供試魚の腹腔内に装着した。麻酔には400 ppmの2-フェノキシエタノールを使用し、麻酔開始から手術終了までは約10分であった。

超音波発信機を装着することによる魚体への影響を調べるため、2003年8月3日に同地先で刺網により漁獲された3個体 (Table 2) に、同素材、同サイズ、同重量のダミー発信機を同様の方法で装着した。装着は8月8日に行い、放流魚の追跡が終了する11月14日まで京都府立海洋センター内の水槽で飼育した。また、同地区で刺し網により漁獲された4個体 (8月3日採捕: 2個体, 8月8日採捕: 2個体) もダミー発信機を装着しない状態で合わせて飼育を行った (Table 2)。飼育には、2 t のFRP円形水槽を用い、水槽の底には遮蔽物として直径100 mm, 長さ500 mmの塩ビパイプ10本を設置した。

放流および追跡 2003年8月20日に供試魚を京都府立海洋センター所属の調査船平安丸で輸送し、京都府

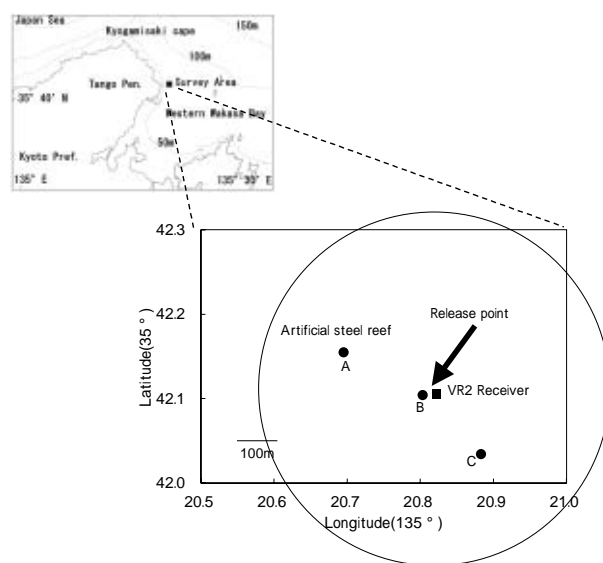


Fig. 1 Map showing the survey area. The large circle represents the predicted signal detection range of the coded ultrasonic transmitter by the VR2 Receiver.

伊根町新井崎沖に設置された魚礁付近 (Fig.1) に放流した。放流は、着底と同時に出口が開くカゴに1個体ずつ収容し、ロープでゆっくり海底まで降ろし行った。放流位置については、ディファレンシャルGPSにより確認した。Table 1に供試魚の放流時の体長, 体重, 放流日時, 場所及び最終確認日時を示した。放流海域は水深72 mで、約200 m間隔で3基の鉄骨で作られた鋼製魚礁 (8 m × 8 m × 8 m) が設置されている。

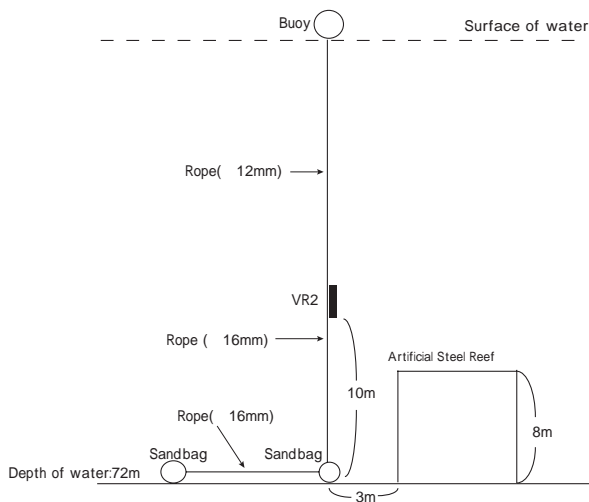


Fig. 2 Placement of the VR2 receiver.

魚群探知機による事前調査によると、周囲は平坦かつ単調な海底で、これらの魚礁はそれぞれが孤立したような環境にある。本実験では、三基のうち中央の魚礁付近に放流した (Fig. 1)。なお、当該魚礁においては、2003年5月に行われた釣獲試験及び自航式水中テレビカメラによる調査で、体長約30 cmのキジハタの生息が確認されている (未発表)。また、延縄漁業者の漁獲状況が記載されている仕切伝票からも、当該魚礁周辺でのキジハタの漁獲が確認されており、当該魚礁域がキジハタの生息域であることが明らかとなっている。

放流後は、翌21日の午前8時まで、追跡型受信機を搭載した調査船を魚礁周囲でグリッド状に航走させ供試魚の追跡を行った。その際、超音波発信機の信号を受信すると、信号に向けて調査船を変針させ、その位置を確認した。21日の午前8時12分に放流点の水深62 m (海底上10 m) の位置に設置型受信機を係留し (Fig. 2)、超音波発信機の電池の定格寿命である同年11月14日まで供試魚の追跡を行った。設置型受信機からのデータの回収は、9月10日、9月24日、10月17日及び調査終了日の11月14日に行った。なお、9月20日から9月24日の間は時化により受信機が係留点からやや移動した。この期間とデータ回収のため受信機を交換した日については、以降の解析から除外した。

日の出、日の入り及び水温 日の出及び日の入り時刻は、国立天文台が公開している日の出、日の入り時刻 (URL: <http://www.nao.ac.jp/reki/>) を使用した。また、日の出から日の入りまでを昼間、日の入りから日の出までを夜間とした。調査海域の8月から11月までの水温を調べるために、当海域付近の定置網に取り付けられている水温計 (水深50 m) により観測された1991年から2000年までの平均値を計算し、Fig. 3 に示した。本海域の水温は2月下旬に最低の11.6 となり、その後は上昇傾向を示し、8月下旬から9月中旬までは

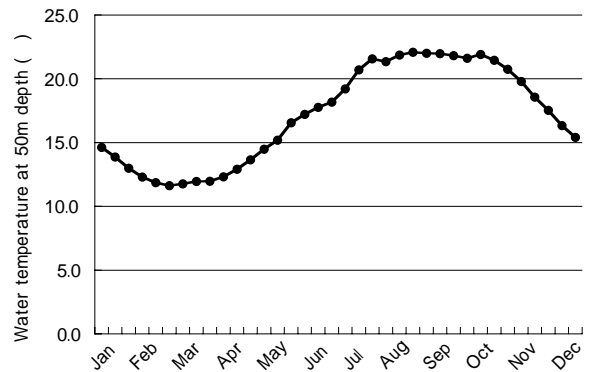


Fig. 3 Changes in water temperature at the survey area (50 m depth).

22 以上と高い値で推移した。9月下旬以降の水温は、最低水温を示す2月下旬まで低下傾向を示した。本調査を実施した8月下旬から11月中旬までの水温は、19.8~22.1 であった。

結果

2003年8月8日にダミー発信機を装着されたキジハタは、手術翌日からは未装着のキジハタと同じように、水槽中に入れた遮蔽物に寄り添うような行動を示すとともに、餌を投入すると急速に遊泳して捕食した。その際、ダミー発信機を装着した個体と未装着の個体との間には、行動及び遊泳速度に明確な差はみられなかった。また、手術の際の傷口は、術後10日目にはふさがっており、調査終了時には外見上は判別不能となっていた。調査終了後の11月15日には、ダミー発信機を装着されたキジハタは1.3~1.6倍に体重が増えており (Table 2)、解剖したところ、ダミー発信機は薄い膜に包まれて脂肪組織中に埋没していた。

供試魚3個体中2個体 () については、8月20日の放流後、11月14日の調査終了まで約3ヶ月にわたり連続的に追跡を行うことができた。残りの1個体 () については放流後約6時間 (8月20日の19時53分) で追跡不能となった。

各個体の追跡型受信機により確認された放流後1日の移動経路の概略をFig. 4~6 に示した。各図中の円は設置型受信機による受信可能な範囲を示す。供試魚は、放流約3時間30分後 (Fig. 4の) までは、放流点である魚礁Bの周囲約100 mの範囲内で確認された。その後、夜間から調査を終了した翌朝までは、主に魚礁Aを中心とした半径約200 mの範囲内で確認された。2時45分 (Fig. 4の) には魚礁Aから北北西に約300 mの位置で確認されたが、当位置は設置型受信機の受信可能範囲の外側であった。

供試魚 は、放流後の15時1分 (Fig. 5の) には魚

礁Bから100 m以内で確認された。その後は、魚礁Aから50～100 mの位置で確認され、18時50分から19時53分までFig.5の の位置で確認されたのを最後に追跡不能となった。

供試魚 は放流後12時28分 (Fig. 6の) に魚礁Bから約100 m離れた位置で確認されたが、その後調査終了時まで魚礁Aから半径約200 mの範囲内で確認された。なお、いずれの個体も魚礁Cの周辺約100 m以内では確認されなかった。

供試魚 及び の設置型受信機による旬ごとの1日あたり平均受信回数の推移をFig. 7に示した。供試魚 の平均受信回数は8月下旬から9月下旬までは600回

前後で推移したが、それ以降は増加し11月中旬には約900回となった。供試魚 の平均受信回数は8月下旬から9月下旬までは600～800回で推移したが、それ以降は増加し11月中旬には1,100回となった。

供試魚 及び の設置型受信機による旬ごとの時間あたり受信回数の推移をFig. 8に示した。実験を開始した8月下旬から9月下旬までは、夜間の受信回数は約10～20回、昼間の受信回数は約30～60回と昼夜間で受信回数に明確な差が認められた。この時期の受信回数は、日の出前後に急激に増加、日の入り前後に急激に減少する傾向がみられた。10月上旬から下旬までは受信回数が約20～40回となり、昼夜間の差は明瞭でなく

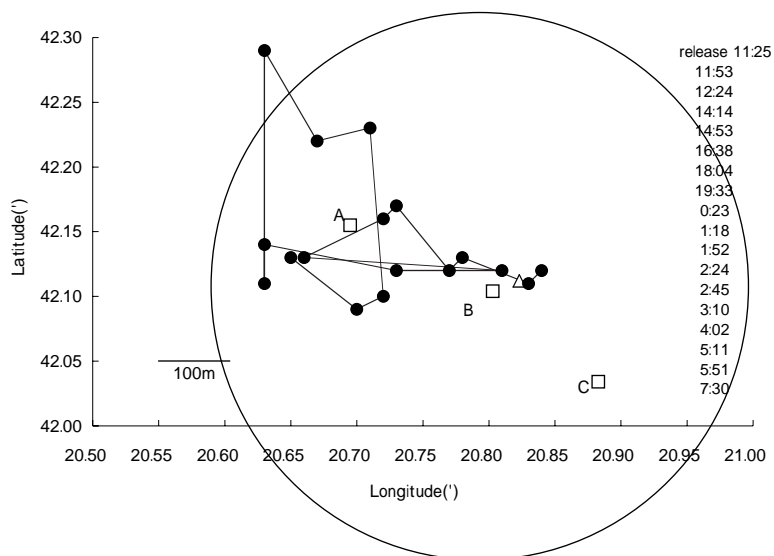


Fig. 4 The position of red spotted grouper " " confirmed by VR28T receiver from release to next morning. Open squares and open triangles indicate the artificial steel reef and release point, respectively. Large circles indicate the same as in Figure 1.

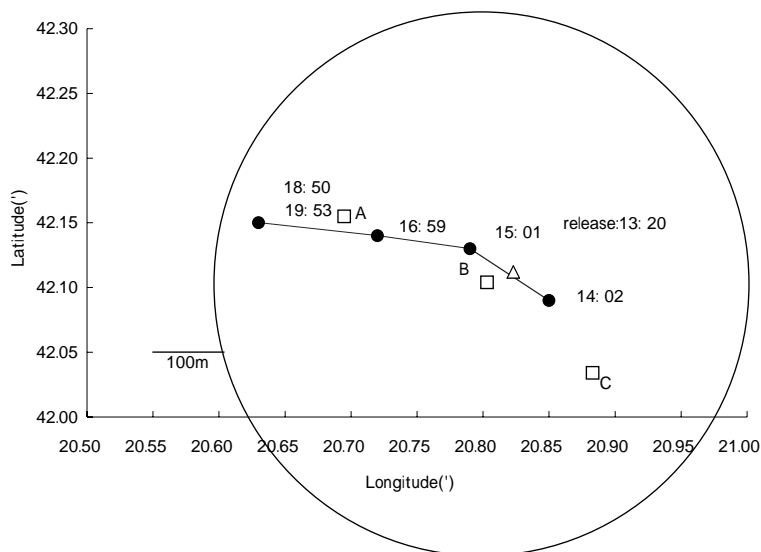


Fig. 5 The position of red spotted grouper " " confirmed by the VR28T receiver from release to the following morning. The large circle indicates the same as in Figure 1. Open squares and open triangles indicate the same as in Figure 4.

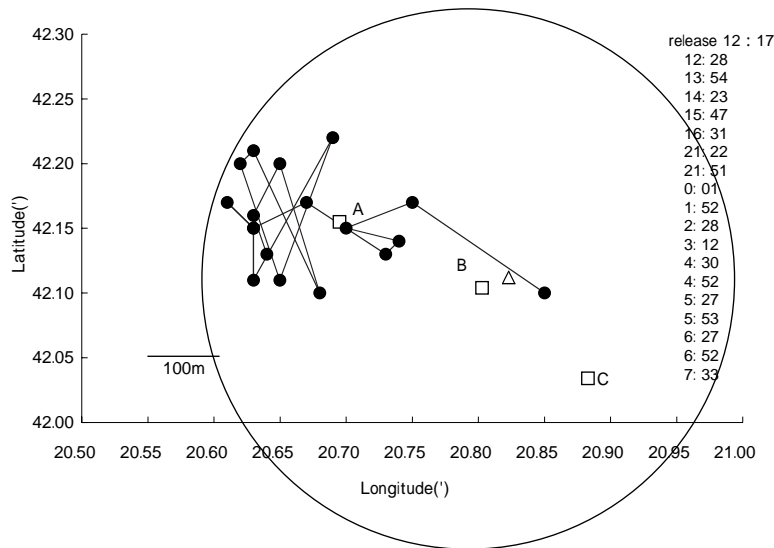


Fig. 6 The position of red spotted grouper " " confirmed by VR28T receiver from release to the following morning. The large circle indicates the same as in Figure 1. Open squares and open triangles indicate the same as in Figure 4.

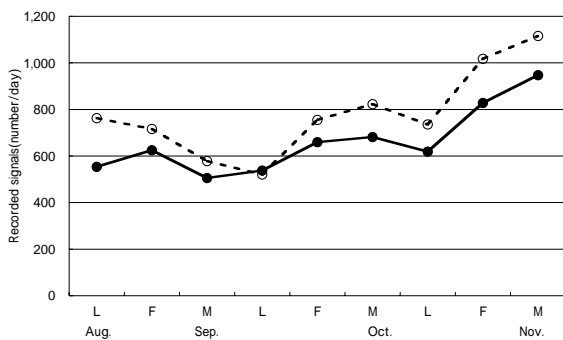


Fig. 7 Changes with elapse of time of recorded signals from the coded ultrasonic transmitter detected by the VR2 receiver. The solid and open circles respectively indicate grouper " " and grouper " ". F, M and L respectively denote the first, middle and last 10-day periods of the month.

なった。11月上旬から中旬には、10月上旬から下旬と同様に昼夜間の差は見られなかったが、受信回数は約30~60回と増加した。また、これらの受信回数の変化は、供試魚、に共通のものであった。

考 察

ダミー発信機を装着したキジハタの行動と遊泳速度が未装着の魚と明確な差がなかったこと、ダミー発信機を装着した魚が調査終了時まで水槽中で飼育でき体重の増加がみられたことから、発信機の装着は、キジハタの行動に対して影響を与えなかったと思われる。従って、今回使用した発信機については、全長約25 cm以上のキジハタに外科的手法により装着し、行動を追跡することに対して問題はなかったと考えられる。現在ではこれより小さい(直径7 mm, 長さ17.5

mm) 発信機が開発されているため、より小型の魚の追跡も可能であろう。

調査海域の魚礁は、すべて設置型受信機の受信範囲(半径400 m)内である。設置型受信機で受信記録がない期間は、キジハタが受信範囲外へ移動していたか、岩や岩礁などの遮蔽物で発信機からの超音波が遮られていたことを意味している。調査海域周辺の海底は平坦な泥底で、超音波を遮蔽するような物はない。魚礁は鉄骨のみで組み上げられており、受信機はその上方に位置しているため死角は少ない。さらに、供試魚からの信号の受信回数が規則正しく日周的に変化している時期があり、このように供試魚が日周的に受信機の死角に移動する可能性は低いと考えられる。また、追跡型受信機の受信結果によると、供試魚は夜間の2時45分に受信範囲外である魚礁Aの北北西300 mの位置(Fig. 4の)で確認された。従って、受信記録が無い時には、供試魚は魚礁Bを離れ、受信範囲外へ移動していたと考えるのが妥当であろう。

放流したキジハタの3個体中2個体は、2003年8月20日に放流された後、86日後の11月14日まで設置型受信機の受信範囲内(B魚礁周辺400 m以内)で断続的に確認された。このことから、これらのキジハタは魚礁及びその周辺を生活の場としていることがわかった。

設置型受信機の受信回数は、8月下旬から9月下旬までは夜間に減少し昼間に増加する傾向がみられた(Fig. 8)。これは、キジハタが夜間には設置型受信機の受信範囲外で行動し、昼間は魚礁周辺で行動していることを示している。キジハタが昼間は魚礁周辺で行動していることは、人工魚礁の内部や外壁を生息場所としているという萱野ら(1998)や岩礁面等に接触して生息していることが多いという玉木(2000)の潜水

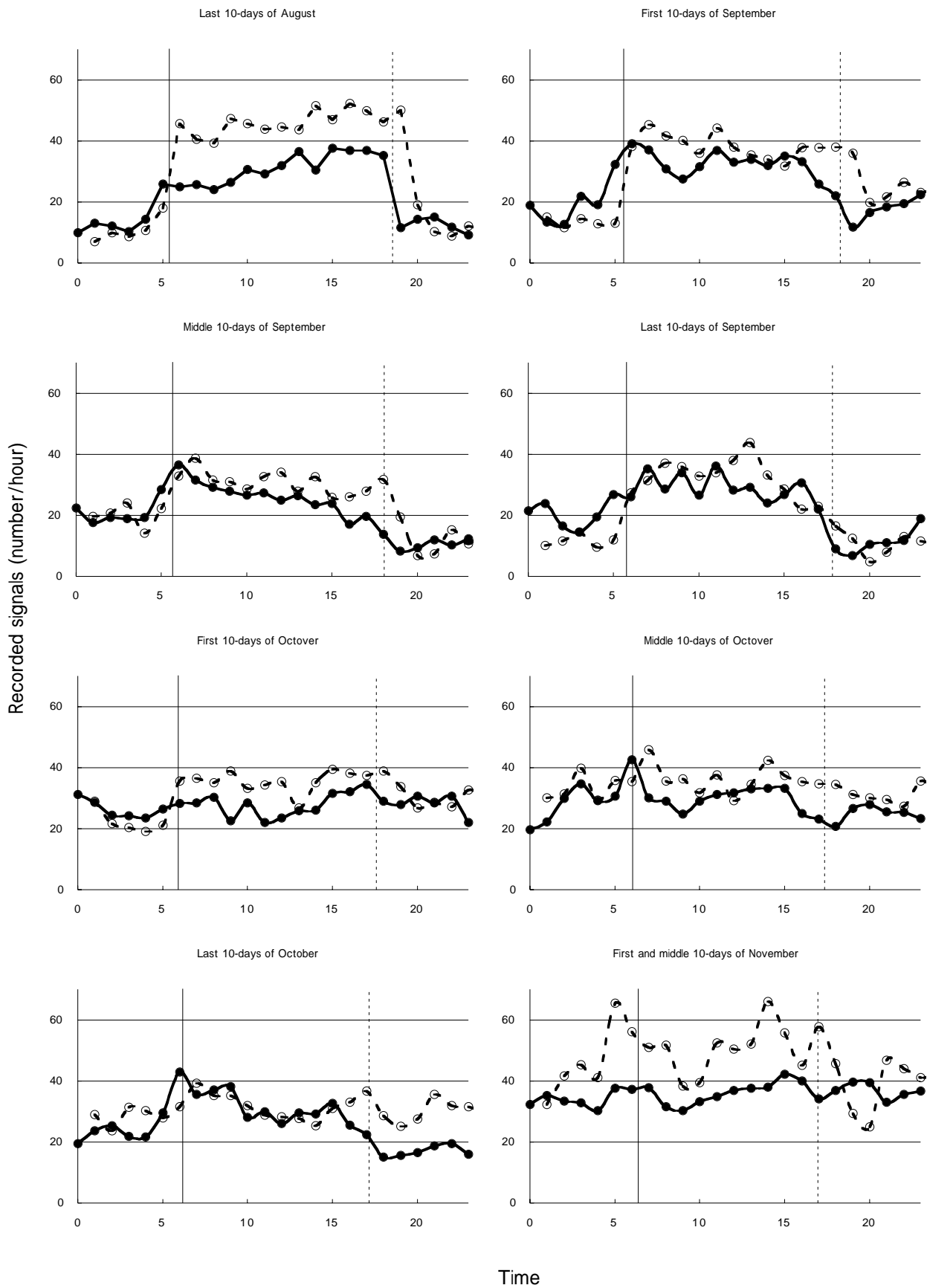


Fig. 8 Pattern of changes with elapse of time in number of recorded signals per hour from the coded ultrasonic transmitter as detected by the VR2 receiver. Solid and open circles represent the same as in Figure 7. The vertical solid and broken lines respectively indicate sunrise and sunset.

観察による報告と一致した。一方、受信回数の昼夜の差は10月上旬以降には明瞭でなくなり、11月上旬以降には全体的に受信回数が増える傾向がみられた。このことは、この時期になるとキジハタは夜間も魚礁周辺で行動していることを示している。つまり、キジハタの魚礁周辺での行動は季節により異なると推察される。

8月下旬から9月下旬までは、薄明・薄暮時の受信回数が急激に変化しており (Fig. 8)、供試魚がこの時間帯に受信範囲内と範囲外を行き来していたことを示している。本種は、早朝と夕方の時間帯に活動性が高まり (松田ら, 2004)、暗期開始後または明期開始前の1~2時間に集中した摂餌を行う (島, 2001)。すなわち、このような薄明・薄暮時の特徴的な行動は摂餌による可能性が高いと考えられた。10月上旬以降には薄明・薄暮時の受信回数の急激な変化は見られなくなった。キジハタの摂餌がこの時間帯に集中することからすれば、この時期から本種の摂餌場所や摂餌方法等が異なってきたのかもしれない。この時期は22 付近である高水温から水温が低下していく時期とほぼ一致している (Fig. 3)。キジハタの飼育適水温は25 前後 (山本, 1996) とされており、魚類は一般的に適水温から離れていくほど行動が鈍くなることが知られている (川本, 1959)。従って、8月下旬から9月下旬までと10月上旬以降との供試魚の行動パターンの違いは、水温の低下が影響しているのではないかと考えられた。

本研究では、魚礁域における高水温期と水温下降期のキジハタ成魚の行動について検討することができた。今後は、キジハタの低水温期と水温上昇期における行動や、若齢魚の行動及び成熟と行動の関係についても調査していき、キジハタの生活史を通じて魚礁との関係を明らかにしていきたい。

設置型のバイオテレメトリーシステムは、本海域のように魚礁が独立して設置されている海域では、水深にかかわらず直接的に魚類の魚礁への滞留を確認することができ、魚礁への魚類の滞留効果の調査に対し非常に有用と考える。一方では、設置型受信機が1台であったため、供試魚の位置を特定できないという問題点もあった。そのため、今後は受信機の受信範囲の一部が重なるように複数台の受信機を設置することによって、供試魚の位置を特定できるようにしていきたい。また、今回の供試魚 のように、放流直後に追跡不能となるものがあったため、複数の魚礁群にそれぞれ受信機を設置し、魚礁群間の移動についても、調査を進めていきたい。

文 献

秋元清治, 鎌滝裕文. 大型魚礁 (3タイプにおける魚礁効果). 2000. 神水研研報, 5: 7-14.

- 林 陽子. 1998. バイオテレメトリーによるヒラメの沿岸来遊行動解析. 神水研研報, 3: 31-37.
- 平岡修宜, 荒井修亮, 中村憲司, 坂本 亘, 三田村啓理, 光永靖, 米田佳弘. 2003. 超音波バイオテレメトリーを用いたスズキの移動と回遊の記録. 日水誌, 69: 910-916.
- 柿元 皓. 1967. 人工魚礁の効果範囲について. 水産増殖, 14: 181-189.
- 萱野泰久, 林 浩志, 田中丈裕, 片山敬一. 1998. 瀬戸内海白石島海洋牧場に生息する魚類の生活様式とキジハタ放流魚の生態. 栽培技研, 27: 27-34.
- 川本信之. 1959. 水質及び水温「新版魚類生理生態学」. 177-201. 恒星社厚生閣, 東京
- 松田克洋, 益田玲爾, 田中 克. 2004. 実験水槽および天然海域で観察されたキジハタの活動性の日周変化. 2004年度日本水産学会大会講演要旨集, 49.
- Mitamura H., Arai N., Sakamoto W., Mitsunaga Y., Maruo T., Mukai Y., Nakamura K., Sasaki M., Yoneda Y. 2002. Evidence of homing of black rockfishes *Sebastes inermis* using biotelemetry. *Fish. Sci.*, 68: 1189-1196.
- 三田村啓理, 光永 靖, 荒井修亮, 田中秀二, Thavee Viputhanumas. 2004. 人工湖におけるメコンオオナマズの日周深淺移動. 海洋理工学会誌, 9: 209-214.
- 光永 靖, 坂本 亘, 荒井修亮, 笠井亮秀. 1999. 野外におけるマダイの酸素消費量の水温を指標とした見積もり. 日水誌, 65: 48-54.
- 小長谷庸夫, 蔡 慶華. 1987. ハクレンとコクレンの遊泳行動の遠隔計測. 日水誌, 53: 705-709.
- 小長谷庸夫, 蔡 慶華. 1989. 中国東湖における夏期のハクレンとコクレンの遊泳の遠隔計測. 日水誌, 55: 1139-1144.
- 荻野隆太, 松下吉樹. 1996. 長井沖大型魚礁底層における魚群分布特性の検証 (人工魚礁効果調査). 神水研研報, 1: 27-37.
- 島 隆夫. 2001. ハタ類の自発摂餌行動「魚類の自発摂餌 - その基礎と応用」(田畑満生編). 35-42. 恒星社厚生閣, 東京.
- 水産庁漁港漁場整備部計画課. 2003. 放流キジハタの保護育成礁造成技術の開発調査「平成13年度水産基盤整備調査事業 (直轄) 報告書」126-140. 水産庁漁港漁場整備部計画課.
- 高場 稔. 1992. バイオテレメトリーによるマダイの行動追跡. 広水試研報, 17: 71-84.
- 高木儀昌, 森口朗彦, 伊藤 靖, 石岡 昇, 新井健次. 2002. 山口県における高層魚礁の調査結果. 水工研技報, 24: 31-42.

- 高木儀昌，森口朗彦，木元克則，新井健次，蓮尾泰三，中村英夫，木村光一．2000. 高層魚礁の開発と効果．水工研技報，22: 1-14.
- Takai M., Sakamoto W., Maehata M., Arai N., Kitagawa T., Mitsunaga Y.. 1997. Settlement characteristics and habitats use of Lake Biwa catfish *Silurus biwaensis* measured by ultrasonic telemetry. *Fish. Sci.*, 63: 181-187.
- 玉木哲也．2000. 兵庫県但馬沿岸におけるキジハタの行動とすみ場．水産工学，37: 63-65.
- 内野 憲，山崎 淳，井上 寿．1983. 人工礁周辺域における魚類の分布．京都海洋セ研報，7: 9-15.
- 山本章造. 1996. キジハタ仔魚の摂餌日周期性の検討ならびに日間摂餌量の推定. 日水誌，62: 399-405.
- 横田高士，三田村啓理，荒井修亮，光永 靖，竹内宏行，津崎龍雄，井谷匡志．2004. 超音波バイオテレメトリーを用いた魚類の行動追跡手法 - 若狭湾および舞鶴湾におけるアカアマダイの研究例 - ．海洋理工学会誌，9: 29-40 ．