

マイクロデータロガーによるイナダの遊泳行動解析

誌名	日本水産学会誌
ISSN	00215392
巻/号	642
掲載ページ	p. 197-203
発行年月	1998年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



マイクロデータロガーによるイナダの遊泳行動解析

笠井亮秀, 坂本 亘, 光永 靖, 山本章太郎

(1997年3月3日受付)

Migration of Immature Yellowtail *Seriola quinqueradiata* in the Open Sea Observed by an Acoustic Transmitter and Micro Data Recording TagsAkihide Kasai,*¹ Wataru Sakamoto,*¹
Yasushi Mitsunaga,*¹ and Shotaro Yamamoto*²

An acoustic transmitter and two micro data recording tags were used to observe the behavior of yellowtails *Seriola quinqueradiata*, in Sagami Bay, Japan from 24 October through 19 November. Depth data were continuously recorded for 23 days and temperature data for 27 days with a 20-minute interval. The yellowtails showed an apparent diurnal vertical migration pattern in their movements; they crossed the thermocline actively during the daylight hours, but calmed down and remained in the shallow layer above the thermocline at night. Their movements were changed by environmental temperature variation: 1) After the ambient water temperature rapidly decreased, a change was seen in the average depth and pattern in the vertical movement of the yellowtail. 2) They could move vertically to avoid the warm water from the Kuroshio because no ambient temperature rise and no shallower position were observed when the warm water intruded into the bay from the Kuroshio.

キーワード: イナダ, マイクロデータロガー, 遊泳行動, 環境変化

ブリ成魚は晩春から初夏にかけて日本海もしくは太平洋沿岸域を北上し, 晩秋から初冬にかけて南下するといわれているが,^{1,2)} その回遊経路は流れや水温などの環境条件により影響を受けることが知られている。たとえば宇田³⁾は低気圧や前線の通過前後に定置網でのブリの漁獲が増加することを指摘しており, これはブリの回遊経路が荒天時に変化することを示唆している。また黒潮から沿岸域に張り出した暖水がブリを沿岸域に追い込み, 定置網での漁獲が増加することも報告されている。⁴⁾ さらに Kimura et al.⁵⁾も定置網での漁獲量と海面水温を解析した結果, 黒潮の局所的な蛇行とそれに伴って沿岸域に流入する暖水により, ブリ回遊経路が遮断される可能性があることを示した。本研究の実験対象海域である相模湾においても, 表層水温や風によってブリ漁況が影響されるという解析結果が得られている。⁶⁾ この様に成魚の回遊についてはある程度知見があるが, イナダやワラサと呼ばれる体長 70 cm 以下の未成魚の回遊ならば

に遊泳行動についてはほとんど明らかにされていない。未成魚の行動について唯一知られていることは, 成魚のように大規模な回遊は行わず, 一年中特定の沿岸域周辺で回遊しながら成長するものが多いということである。¹⁾ しかしこれらの回遊や行動に関する知見は, ブリ成魚に対する知見も含め, そのほとんどが標識放流や日別漁獲量などにより推定されたもので, 実際の行動や回遊を調べた研究例は少ない。

近年まで, 海洋において魚類の行動を直接調べることは非常に困難であった。ところが最近超音波発信器(ピンガー)や超小型記録標識(データロガー)等のバイオテレメトリー技術が進歩し, 様々な海洋生物についての行動調査に用いられるようになった。⁷⁻⁹⁾ ピンガーの利点は対象魚の水平位置, 水温そして水深などを基地局や船上から連続的に測定できることにある。上野山¹⁰⁾はこのピンガーを装着したブリを1日前後にわたって追跡し, 夜間は昼間よりも浅所を遊泳するという結果を得

*¹ 京都大学大学院農学研究科応用生物科学専攻 (Applied Biosciences, Graduate Course of Agriculture, Kyoto University, Kyoto 606-8224, Japan).

*² 神奈川県水産総合研究所相模湾試験場 (Fisheries Research Institute of Kanagawa Prefecture, Sagami Branch, Hayakawa, Odawara 250-0021, Japan).

ている。また村山¹¹⁾と町中¹²⁾もピンガーを用いて数時間から3日間ほどブリの追跡を行い、ブリ成魚は日出と日没前後に活発に行動することを示している。ところがピンガーによる魚類の行動観察では、対象魚を見失うことや荒天退避などにより、数日以上追跡は困難である。その点データロガーは、現在のところ対象魚の正確な水平的な位置を推定することは困難であるが、水温、塩分、深度などを長期間にわたって測定することができる。この方法は繁殖場や産卵場に必ず個体が回帰するゾウアザラシやアカウミガメ等を対象として研究されてきたが、¹³⁻¹⁵⁾ 回収の困難な魚類については研究例がほとんどない。

本研究では、実際の海洋におけるイナダの遊泳行動を明らかにすることを目的とし、水平移動についてはピンガーを用いて20時間にわたる追跡実験を行い、また個体が経験した水温および鉛直移動についてはデータロガーを用いて20日以上にわたる環境水温と水深の連続観測を行った。そしてこれらの観測結果を基に、低気圧の通過や黒潮系暖水の接岸等の物理環境の変化が、生息海域におけるイナダの遊泳行動に及ぼす影響と日周移動について考察した。

実験方法および資料

実験海域としては、遊漁船や定置網によるイナダの捕獲が盛んに行われている相模湾を選んだ (Fig. 1)。相模湾では初夏から晩秋にかけて釣りや定置網等による500 t前後のブリ類の漁獲が報告されている。実験に用いたイナダは全て尾叉長約40 cm、体重約1.0 kgの当歳魚である (Table 1)。以下に実験方法の詳細を示す。

ピンガーを用いた観測 実験にはカナダ Vemco 社製システムを用いた。魚体に装着したピンガー (V16TP-2L) は全長7.1 cm、直径1.6 cm、水中重量11.5 gの円筒形で、50 kHzのパルス信号を3秒間隔で発信する。このパルス信号には水温と水深の情報が含まれている。発信された信号を神奈川県水産総合研究所相模湾試験場所属の調査船 (うしお丸, 19 トン) に設置したハイドロフォンで受信し、パーソナルコンピュータで処理後、得られたデータをハードディスクに記録した。船の位置はGPS (Global Positioning System, 古野電気社製

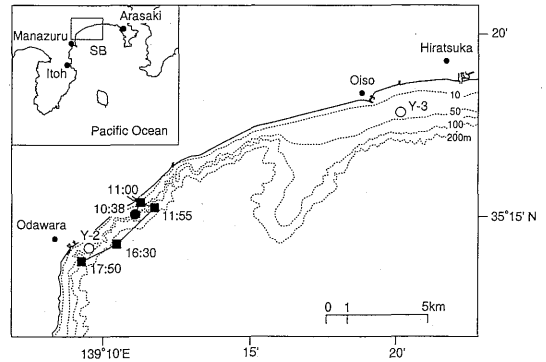


Fig. 1. Study area in Sagami Bay (SB in inset).

All of the yellowtails were released at the same point denoted by a solid circle. The track of Y-1 is indicated by solid lines with solid squares. Open circles denote the recapture points of Y-2 and Y-3.

GP500) によって測定し、船の位置を対象魚の位置とした。

実験に用いた個体 (Y-1) は湾西部の小田原沖 (35°15'N, 139°11'E) で1995年10月25日に捕獲されたイナダで、約1日間調査船内の生け簀に蓄養後、背鰭後部に綿糸でピンガーを取り付け、捕獲地点で26日10:38に放流 (Fig. 1), 27日06:00まで追跡した (Table 1)。追跡中、26日15:50と27日05:00にCTDを用いて実験個体付近の水温と塩分の鉛直プロファイルを測定した。

データロガーを用いた観測 本実験で用いたデータロガーは Sakamoto and Yuzuriha¹⁶⁾ によって開発されたアレック電子社製の水深記録計 (Micro Data recording System for Depth, MDS-D) と水温記録計 (Micro Data recording System for Temperature, MDS-T) である。これらはそれぞれ、全長12.7 cmと10.9 cm、直径はともに1.8 cm、水中重量5.0 gと3.5 gの円筒形で、20分間隔で水深または水温を記録する。対象魚はいずれの個体も湾西部の小田原沖で10月23日に捕獲されたイナダで、約1日間調査船内の生け簀に蓄養した後ピンガーと同様の方法でMDS-Dを2個体に、そ

Table 1. Summary of the information and data from yellowtails

Fish no.	Fork length (cm)	Dates	Location at start	Location at end	Duration	Data type
Y-1	40	26-27 Oct.	35°15'N139°11'E	35°14'N139°09'E	19.5 h	Depth and Temp.
Y-2	40	24 Oct.-19 Nov.	35°15'N139°11'E	Off Odawara	26 d	Temp.
Y-3	40	24 Oct.-15 Nov.	35°15'N139°11'E	Off Oiso	22 d	Depth

してMDS-Tを1個体に取り付け、1995年10月24日16:00に小田原沖(35°15'N, 139°11'E)で放流した(Fig. 1)。3個体のうちMDS-Tを取り付けた1個体(Y-2)が小田原沖で11月19日に、またMDS-Dを取り付けた1個体(Y-3)が大磯沖で11月15日に再捕された(Fig. 1, Table 1)。両個体とも釣りによって再捕され、また再捕時に目立った傷もなかったことから、実験個体への負担は小さかったと考えられる。

物理環境に関する資料 気象条件のデータとしては、小田原のAMeDASにおいて観測されているデータのうち、気温、風向風速および降水量のデータを用いた。また、神奈川県水産総合研究所によって毎月行われている定点観測の結果と平塚、荒崎、伊東において休日を除いて毎日観測されている海面水温を併せて用いた。さらに黒潮とそこから波及する暖水の動きを把握するために、NOAA-14による熱赤外線画像も用いた。

結 果

水平移動 ビンガーを取り付けたイナダ(Y-1)は約1時間放流地点近くを遊泳した後(Fig. 1)、放流地点か

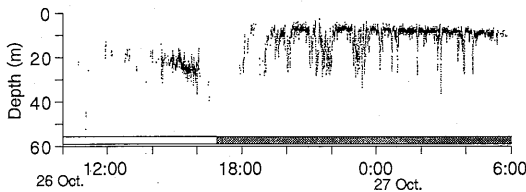


Fig. 2. Time-depth record obtained by Y-1. Bottom abscissa indicates day (open bars) and night (gray bars).

ら約1km離れた堅妻瀬に移動し(11:55)、4時間ほど瀬の付近に留まっていた。堅妻瀬にはイナダ釣りのための遊漁船が多く集まっていたことから、イナダが瀬を中心として多数遊泳していたと考えられ、Y-1はその群に加入したと思われる。日没直前(16:10)にY-1は突然西方に移動し、16:30頃35°14.5'N, 139°10.7'E地点を西方方向に遊泳していることが確認された。そして次に発見された17:50には小田原沖の網魚礁に付いていた。網魚礁に到着後は水平方向にはほとんど移動せず、日出(05:45)まで魚礁から離れることはなかった(Fig. 1)。

鉛直移動の日周性 Fig. 2にY-1の鉛直移動の様子を示す。日中は激しく上下に移動していることが分かる。堅妻瀬に着いていた時の平均経験水深は約25mであった。網魚礁に到着後遊泳水深は浅くなると共に、日没後から深夜まで激しく移動する時間帯と10m以浅に留まる時間帯が約1時間間隔で交互に現れている。しかしながら00:00以降はほとんどの時間を水深10m以浅で過ごしている。それに加え、時々約30m以深に達するダイビングが観察された。このダイビング時の上昇、下降速度はそれぞれ約15 cm s⁻¹と20 cm s⁻¹であり、日中の激しい上下行動時の移動速度とはほぼ同じ値である。

次に追跡中に測定した水温、塩分の鉛直分布をFig. 3(a), (b)に示す。上層は水温、塩分ともにほぼ一定値となっており、大気による冷却によって混合されていることが分かる。また、堅妻瀬では水深10mから20m間に、そして網魚礁付近では水深25mから32mに明瞭な水温・塩分躍層が見られる。これらの鉛直分布とFig. 2を比較すると、Y-1は日中躍層を越えて激しく鉛

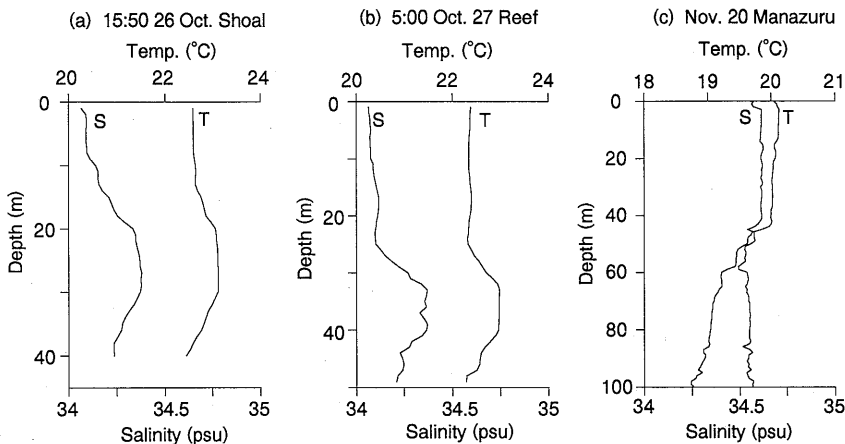


Fig. 3. Vertical profile of temperature and salinity (a) at the shoal, (b) at the artificial reef and (c) off Manazuru.

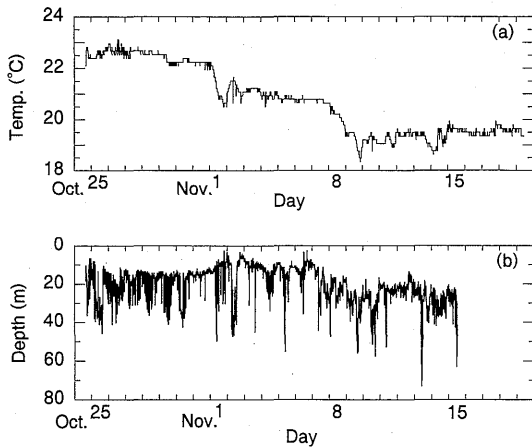


Fig. 4. (a) Time-temperature record obtained by Y-2 and (b) time-depth record obtained by Y-3.

直移動していたことが分かる。一方夜間は、浅所に留まっていた時に加え、21:00-22:00と22:50-23:40に見られるような鉛直移動を行った場合でも躍層を越えて深く潜ることはなかった。

次に、Y-2とY-3に取り付けたMDSによって観測された水温と水深の記録をFig. 4aと4bに示す。Y-3はY-1同様、日中の鉛直行動が大きく、夜間は浅所に留まっていたことが分かる。11月20日に真鶴沖で行われたCTD観測の結果によると、この時期さらに表層の鉛直混合が進み、躍層は水深40m-60mに形成されていた (Fig. 3c)。観測期間の最後の数日間ではY-3は夜間でも30m以深にまで潜っていたが (Fig. 4b)、やはり躍層を越えるような鉛直移動はしていない。そしてY-3が躍層を越えて60m以深にまで深く潜っていたのは、日中に限られていたことが分かる。

物理環境の変化が遊泳行動に及ぼす影響 Y-2に取り付けたMDS-Tの観測結果によれば、Y-2は11月1日と8-9日の2回激しい水温低下を経験している (Fig. 4a)。これらの水温変化は強風、降水そして急激な気温の低下を伴った低気圧によるものである。また同時期に、この低気圧の通過により相模湾内の沿岸地域の海面水温も低下している (Fig. 5)。ここでY-3の遊泳水深の変化を見ると、この2回の低気圧の通過時期によって分けることのできる10月24-30日 (P1)、11月3-7日 (P2)、11月10-15日 (P3)の3期間毎に、遊泳水深および鉛直遊泳プロファイルのパターンに変化が認められる (Fig. 4b)。そこでFig. 6にY-3の各期間毎の遊泳水深を1時間毎に平均した値とその偏差を示す。この図からY-3の遊泳水深はP3, P1, P2の順に深くな

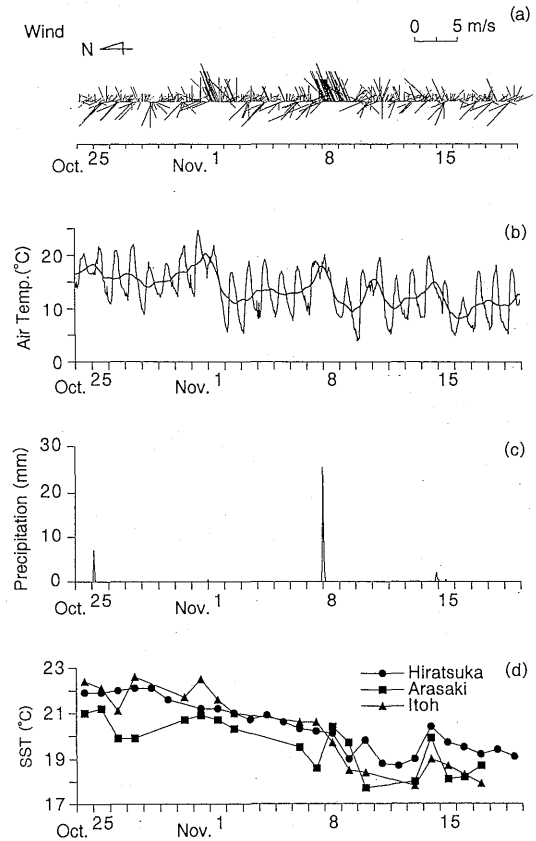


Fig. 5. (a) Wind velocity vectors at Odawara, (b) raw (thin line) and 24 h running mean (thick line) air temperature at Odawara, (c) precipitation at Odawara (d) SST at Hiratsuka, Arasaki and Itoh.

っている様子が見られる。遊泳水深の偏差はイナダの鉛直活動度を表していると考えられるが、この値も3期間で変化している。つまりP1では、Y-3は日の出前から日没後3時間程度まで活発に行動していた (Fig. 6a)。ところがP2になると00:00から07:00まではほとんど鉛直方向に動かず、日中に非常に激しく遊泳している。また、夕方18:00から00:00まで日中ほどではないが比較的活発な鉛直移動を見せている。さらにP2, P3期間においてはP1に比べ、日中と夜間の活発度の差が大きい。このように、低気圧の通過により、遊泳行動の違いが現れていることが分かる。ただし、Y-3が深夜よりも日出から日没前後にかけて活発に行動する様子は、全期間を通じて観測された (Fig. 6)。

一方相模湾内の沿岸域の海面水温に着目すると、11月14日に全海域で水温が約2°C上昇している (Fig. 5d)。11月13日に撮影された衛星写真を見ると、この

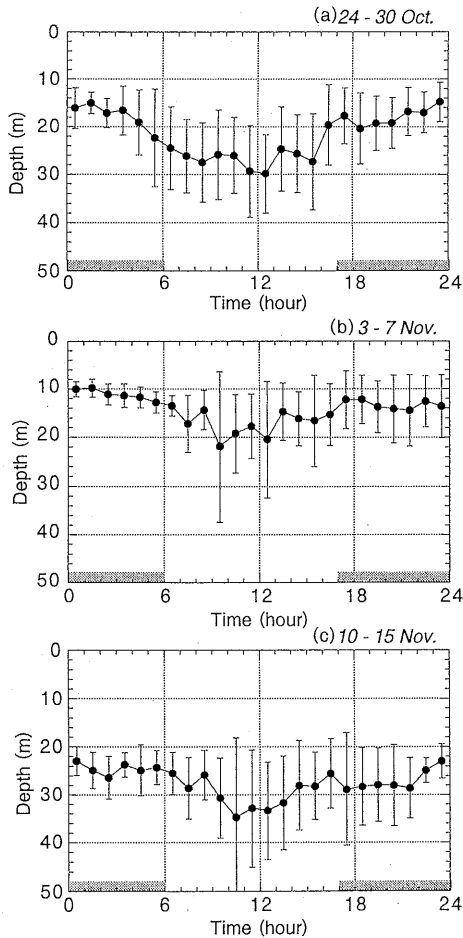


Fig. 6. Hourly swimming depth averaged by the three periods; (a) from 24 to 30 October, (b) from 3 to 7 November and (c) from 10 to 15 November.

Vertical bars represent ± 1 S.D. of the mean value. Bottom gray bars indicate night.

時期黒潮から波及した暖水の一部が湾の東岸に接近していることが示されている (Fig. 7)。この暖水と湾内の表面水温との温度差は約 2°C であり、14日に湾内各地の沿岸域で観測された水温上昇と一致することから (Fig. 5d)、14日には黒潮系の暖水が湾内全域に達したものと考えられる。しかしながら、Fig. 4aを見ると Y-2 はそのような急激な水温上昇を経験していない。むしろ14日前後には経験水温は低下している。Y-2 にとっては相模湾内を水平方向に移動していただければこの暖水を避けることはできないことから、深所に潜ったと考えるのが妥当であろう。実際、Y-3 は11月13-15日の間は20mよりも浅い海域は遊泳していない (Fig. 4b)。これらのことから、イナダは黒潮系の暖水が接近した場

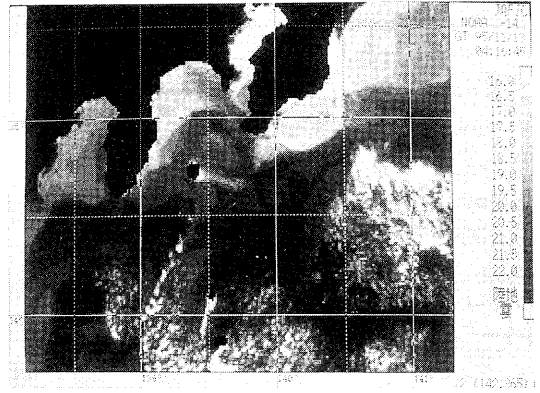


Fig. 7. Satellite thermal image of the warm water derived from the Kuroshio taken on 13 November.

The darker and brighter tones indicate warmer and cooler water, respectively.

合、それを避ける行動をとることが示唆される。

考 察

本実験では、イナダは全期間を通じて日中に活発に鉛直移動することが観察された。畑中ら¹⁷⁾が行った飼育実験によれば、イナダは明け方から午前中にかけて活発に索餌を行うが、夜21時以降翌朝5時まではほとんど餌をとらないとされている。また、彼らは実際の海域で捕獲されたイナダの胃内容を調査し、早朝に採集したイナダは空胃であることが多いという結果を得ている。彼らの結果と、今回ピンガーを用いた追跡により得られた、日中は活発に移動し深夜は魚礁等に就いて全く移動しないという結果を併せて考えると、イナダは日中大きく移動しながら餌を探し、夜間は魚礁などで休息しているものと思われる。さらに Y-3 に取り付けられたデータロガーによる記録から、イナダはほぼ毎日のように索餌に伴う日周行動をとると考えられる。1日のうちのある時間帯は魚礁に付いており、その他の時間に索餌等のために沖合に移動するという行動は、キハダマグロ *Thunnus albacares* やメバチマグロ *Thunnus obesus* そしてカツオ *Katsuwonus pelamis* でも観察されている。^{18,19)} この様な夜間魚礁付近に留まるという行動は、イナダを対象とする沿岸漁業にとって人工魚礁の造成が有効な手段となりうることを示唆している。しかしこの場合、魚礁と索餌のために移動する海域との位置関係が、非常に重要な問題となるであろう。

今回の実験が行われたのは秋季であったため、躍層の上下で水温差が 2°C 以下、塩分差も0.5以下とあまり激しい変化ではなかった。それにも関わらず夜間のイナダ

の遊泳行動は、躍層によって制限されていた。夏季には躍層がより浅く、しかも水温差や塩分差も大きくなるため、夜間のイナダの行動は秋季よりも浅所に制限されることが予想される。また、今回の実験では日中は躍層に関わらず活発に行動し、イナダにとっては水温変化よりも索餌の方が行動をより強く規制する要因となることが示唆されたが、躍層の上下で、温度差が大きくなる夏季にも同様の行動をとるか否かは非常に興味深い点である。今後これらの未解明の生態を明らかにするために、夏季にデータロガーを用いた実験を行うことが望まれる。

Y-3は3期間のうちP2に他の期間よりも浅所を遊泳していた。ところがこの期間、Y-2はP1よりも低い温度を経験している (Fig. 4)。遊泳水深と経験水温の変化が対応することを考えると、P2においてはY-3とY-2が異なる海域を遊泳していた可能性がある。平塚における海面水温はP1よりP2の方が低かったが、湾の東方に位置する荒崎における海面水温は10月末頃にはむしろ上昇している (Fig. 5d)。つまり、P2におけるY-3の遊泳水深は平塚よりも荒崎の水温と対応しているように見える。そこで Fig. 4b を見ると、10月31日のY-3の行動は他の日のそれと異なっている。つまり、日中の遊泳水深でも30m以深には達しておらず、その変化が小さい。ブリ成魚については水平方向に大きく移動する時、遊泳水深をあまり変化させないとされている。¹²⁾ イナダにも同様の性質があるとすれば、Y-3は10月31日に荒崎近辺まで移動し、P2以降の期間をそこで過ごしたと考えることも可能である。

今回の実験期間中に相模湾内に侵入した黒潮系暖水の表面水温は、最も高いところでも21°Cであった。Y-2が10月末から11月初旬にかけて22°Cの水温帯を経験していたことを考えると、黒潮系暖水の水温はイナダにとって決して高すぎるものではないと思われる。それにも関わらずY-2が、そしておそらくY-3も、この暖水を避けるような行動をとったということは、イナダは水温変化ではなく、むしろ黒潮系の水そのものを好まないということを示している。

本実験では、宇田³⁾が定置網における漁獲量から推定していた、低気圧の通過により行動が変化するという仮説と一致する結果が得られた。低気圧の通過は水温や塩分の変化、海水の混合と擾乱などを引き起こす。これらの要素のうちどの要素がイナダの行動に最も大きな影響を及ぼすのかを今後確かめる必要があろう。

ピンガーあるいはデータロガーの個体への装着方法には、密着固定式以外にも曳航式や腹腔内に包埋する方式などがある。ブリにとっては曳航式を用いた場合ロガーと魚体との接触によりロガーを取り付けた部位の近辺が

潰瘍状となり、また呑み込み式では短時間で吐き出してしまう等の問題点があるため、²⁰⁾ 今回は背鰭後部に直接綿糸で取り付ける方法を採用した。実海域での実験に先だって行った約1週間にわたる生け簀内での予備実験の結果、データロガーを個体に装着したことによって遊泳に大きな支障は見られなかった。さらに実際に再捕された魚体に対する傷も少なく、また脱落することもなかった。数カ月以内の実験については密着固定式が最も適しているといえるだろう。しかしながら、装着によって固定されている部分は成長を抑制されるため、特に成長速度が上がる春先からは魚体に負担がかかることが予想される。データロガーの利点は長期にわたる情報が得られる点にあり、将来数カ月以上にわたるデータを取得するには、ロガーの取り付け方法を再検討する必要がある。

これまでの研究では、天然の海域において数日以上連続して魚体の行動を観測した例はない。今回20日以上長期にわたって、魚体の行動が観測されたのは、世界でも類を見ない。この様にデータロガーを用いることにより、長期にわたる観測が初めて可能になった。現在のところ対象魚が2尾と少ないので、今後はこの様な実験を重ねて、データ数を増やしていくことが望まれる。

謝 辞

観測は神奈川県水産総合研究所相模湾試験場所所属うしお丸を用いて行った。観測にご協力いただいた船長、乗組員の方々ならびに京都大学農学部福井真吾氏、北川貴士氏に深く感謝する。また研究を進めるにあたり、貴重な意見をいただいた三谷 勇博士に深謝を申し上げる。本研究の一部は文部省科学研究費補助金奨励研究A (07760184)、基盤研究A (08556031)、基盤研究B (08456097) によって行われた。

文 献

- 1) 田中昌一：標識放流結果からみた本邦太平洋沿岸のブリの回遊-I。放流・再捕結果。日本誌, 38, 29-32 (1972)。
- 2) 田中昌一：標識放流結果からみた本邦太平洋沿岸のブリの回遊-II。漁獲統計, 体長からの検討。日本誌, 38, 93-96 (1972)。
- 3) 宇田道隆：海洋漁学場, 恒星社厚生閣, 東京, 1960, pp. 245-260。
- 4) 浜口勝則：熊野灘のブリ漁況と海況変動との関わり。海洋科学, 19, 440-446 (1987)。
- 5) S. Kimura, A. Kasai, and T. Sugimoto: Migration of yellowtail in relation to intrusions of warm water from the Kuroshio. *Fisheries Sci.*, 60, 635-641 (1994)。
- 6) M. Takeuchi, H. Shinomiya, T. Higashi, and S. Iwata: Discriminant analysis of yellowtail fishing conditions on the Sagami coasts. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55, 209-213 (1989)。

- 7) M. E. Goebel, J. I. Bengtson, R. L. Delong, R. L. Gentry, and T. R. Loughlin: Diving patterns and foraging locations of female northern fur seals. *Fish. Bull.*, **89**, 171-179 (1991).
- 8) A. P. Klimley: Highly directional swimming by scalloped hammerhead sharks, *Sphyrna lewini*, and subsurface irradiance. *Mar. Biol.*, **117**, 1-22 (1993).
- 9) J. D. Metcalfe, B. H. Holford, and G. P. Arnold: Orientation of plaice (*Pleuronectes platessa*) in the open sea: evidence for use of external directional clues. *Mar. Biol.*, **117**, 559-566 (1993).
- 10) 上野山清: バイオテレメトリー手法による若狭湾ブリの行動に関する調査. 福井県水産試験場報告, **5**, 19-34 (1977).
- 11) 村山秀男: 新潟県(両津湾)におけるブリの移動について. 海洋科学, **9**, 27-40 (1977).
- 12) 町中 茂: バイオ・テレメトリー・システムによるブリの行動生態に関する研究. 海洋科学, **9**, 20-26 (1977).
- 13) H. Hakoyama, B. J. LeBoeuf, Y. Naito, and W. Sakamoto: Diving behavior in relation to ambient water temperature in northern elephant seals. *Can. J. Zool.*, **72**, 643-651 (1994).
- 14) W. Sakamoto, K. Sato, H. Tanaka, and Y. Naito: Diving patterns and swimming environment of two loggerhead turtles during internesting. *Nippon Suisan Gakkaishi* **59**, 1129-1137 (1993).
- 15) K. Sato, W. Sakamoto, Y. Matsuzawa, H. Tanaka, and Y. Naito: Correlation between stomach temperatures and ambient water temperatures in free-ranging loggerhead turtles, *Caretta caretta*. *Mar. Biol.*, **118**, 343-351 (1994).
- 16) W. Sakamoto, and H. Yuzuriha: Tracking free-swimming marine animals. *Sea Technol.*, **34**, 25-27 (1993).
- 17) 畑中正吉, 高橋正雄, 村川五郎: ブリの生態に関する二, 三の実験的研究. 日水誌, **24**, 251-255 (1958).
- 18) K. Holland, R. W. Brill, and R. K. C. Chang: Horizontal and vertical movements of yellowfin and bigeye tuna associated with fish aggregating devices. *Fish. Bull.*, **88**, 493-507 (1990).
- 19) H. S. H. Yuen: Behavior of Skipjack Tuna, *Katsuwonus pelamis*, as determined by tracking with ultrasonic devices. *J. Fish. Res. Board Can.*, **27**, 2071-2079 (1970).
- 20) 鈴木克美: 海産魚に対する超音波標識の装着. 海洋科学, **9**, 41-47 (1977).