

南千島，エトロフ島沖合における南下回遊期の シロザケ（アキザケ）の遊泳行動*

市原忠義・米盛 保・浅井久男
(東海大学) (遠洋水産) (北海道さけ・)
(海洋学部) (研究所) (ますふ化場)

Swimming behavior of a chum salmon, *Oncorhynchus keta*, on the southern migration off Etorofu Island, the southern Kurile Islands

Tadayoshi ICHIHARA

(Faculty of Marine Science and Technology, Tokai University)

Tamotsu YONEMORI

(Far Seas Fisheries Research Laboratory)

Hisao ASAI

(Hokkaido Salmon Hatchery)

Daily movement of chum salmon during their spawning migration from the North Pacific to the coastal waters of Japanese Islands has not been reported in detail. A female chum salmon of age 0.3, 68 cm in fork length, which was captured by longlines was released with other two chum salmon, on 2nd in October 1974, 38.6 miles offshore from Etorofu Island, the southern Kurile Islands. An ultrasonic transmitter containing the sensor of depth was fixed on the belly side of this female salmon in the trawling type.

The daily behavior of this unrestrained salmon was measured through a telemetric receiving device installed on a research vessel for about 37 hours after release. The average swimming speed of the fish in the horizontal direction was 1.8 F.L./sec in the daytime and 1.9 F.L./sec at night, while the fish moved down with the current. The horizontal activity was the highest at 30 minutes after sunset and its maximal speed reached 7.4 F.L./sec. The fish moved down in circle in the daytime while it showed a constant direction at night. A total of moving distance was 163.6 km and 4.7 times as long as the straight distance from release to the end of tracking.

The fish frequently changed the depth from the sea surface to 45 m and it was always located in the waters shallower than thermoclines. Food seems to be a main factor which determines the depth of the fish. The vertical movement was extremely slow, showing 2.6 F.L./min in the average speed. The average depth of fish was 8.8 m for most of tracking period.

* 1975年10月31日受理 遠洋水産研究所業績 第144号

ま え が き

北海道や本州へ回帰するシロザケが千島列島沿いに南下する親潮と密接な関係を保ちつつ 秋季の南下行動を行うであろうという想定のもとに、1974年9月下旬及び10月上旬に南千島の親潮流域でこれらの魚群の分布調査並びに標識放流が実施された（秋季における南千島親潮流域のサケ・マス特にシロザケの分布と回遊、本誌、本号参照）。

産卵回遊途上の日週移動に関しては、水平移動についても垂直移動についても過去において詳細にわたる報告は行われていない。時間的な断続はあっても、魚の行動に関する調査は従来採用されてきた方法を組み合わせることによって不可能ではない。多量の標識放流と漁具の効果的使用により、ある海域から水平移動を時間帯ごとに調べあげることができるし、また、魚の漁獲深度を測定できるような方法を漁具に施すならば、時間帯ごとの魚の垂直移動を知ることができる。しかし、現実の問題としては、かような組み合わせを海上試験に持ち込むことは多大の煩雑さを招くことになり、現実には不可能に近い。魚の日週移動の問題解決のための直接の手段として、比較的簡便で継続的な計測が可能となる魚対船舶間のテレメトリー測定法がある。今回の分布回遊調査を実施するに当たって、シロザケの日週移動は分布調査の結果を解釈する上からも極めて重要な課題であったので、このテレメトリー測定法による魚の追跡も調査の一項に加えられた。ここではテレメトリー技術を応用したシロザケの行動調査法を紹介し、入手された測定値の意義と今後に残された課題を報告する。

利用された機器は、農林水産技術会議特別研究費並びに科学技術庁特別研究調整費の助力を得て開発を進めてきたバイオテレメトリー用超音波システムである（市原、白旗、相馬、1973）。また、この調査は水産庁調査船北光丸によって行われた。調査に多大の協力を頂いた津田喜三郎船長ほか乗組員各位に心から感謝する所である。さらに、バイオテレメトリー用機器開発に電子工学の見地から尽力を頂いた東海大学海洋学部相馬正樹教授及び中村朗講師に深謝の意を表す。また、報告の内容について遠洋水産研究所数田北洋資源部長ほか北洋資源部各位の検討を頂いた。

行動測定の方法

送受信システムの改良

バイオテレメトリー用測定器は3つの部分から構成されている。1つは小型の超音波送信器であって、行動研究の対象魚に装着され、対象魚の移動にともなって環境情報ならびに生体情報の変化を継続的に検出して、超音波信号として送信するものである。

他の1組は信号を受信し、送信された情報を記録表示する装置であって、受波器と受信情報記録部に分かれ受波器は調査船の舷側に、受信記録部は船上に設置された。

これらのシステムの使用法は基本的な点では、市原、相馬、吉田、鈴木（1972）報告のものと変わらない。しかしながら、今回の試験目的は南下回遊期のシロザケの回遊行動の測定を主としたため、垂直行動測定用に新しい測深センサを使用した情報送信器を採用した点、並びに湿式記録紙に残されたアナログ記録を読みとる際の便宜を計るために記録器の構造に若干の改善を施した点が異なっている。

まず、これらの特色について説明する。バイオテレメトリー用の送信器は行動を測定しようとする魚体に装着しなければならないので、送信器の重量、大きさが極度に制限される。送信器の重量を決定する要因は電池であり、回路ならびにセンサによる増重量は抑制されなければならない。種々の海洋測器の圧力検出用センサとして採用されているペロー、箔ゲージ、半導体ゲージ、導電ゴムなどはその大きさ並びに精度の点からバイオテレメトリーの目的用には満足すべきものとはいえない。バルク型半導体応力素子が圧抵抗効果、圧電気効果の点で極めて優れた水深測定用センサであることが認められてから（中村、相馬、1973）、この利用方法が検討されてきた。

この素子の外力による抵抗変化は、素子のおかれる環境温度の変化によって起こる抵抗変化に対し十分に大

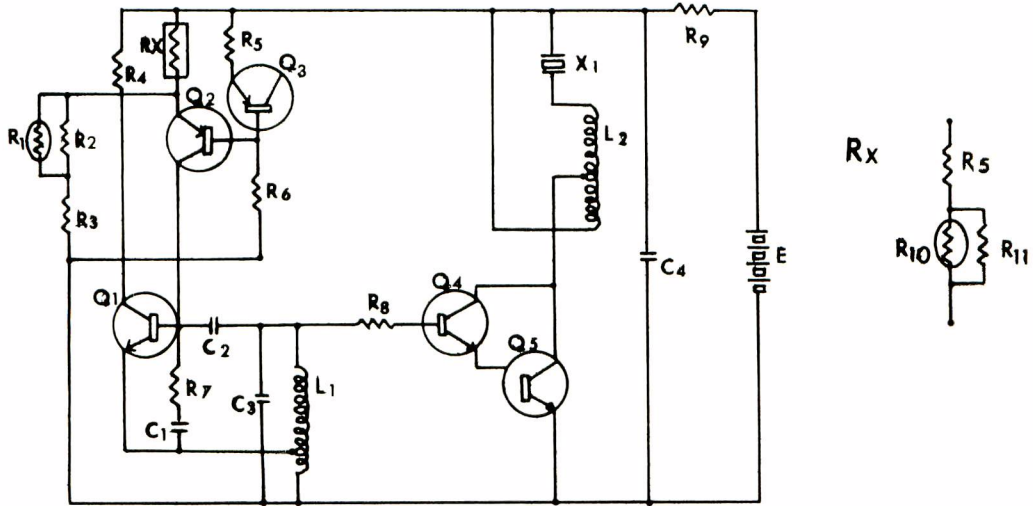


図 1. 測深用超音波送信器の回路図

R₁ : サーミスター X₁ : トランスデューサー Rx : 測深センサ

Fig. 1. Circuit diagram of the ultrasonic transmitter for measuring depth.

R : thermister X : transducer Rx : sensor of depth

表 1. 測深用超音波送信器の性能

Table 1. Specification of the ultrasonic transmitter for measuring depth.

形 状	シリンダー型エポキシカプセル	電 源	酸化銀電池, 6 V
トランスデューサー	ジルコン酸鉛リング振動子	電源寿命	120時間
周波数	50 KHz	大 き さ	18φ×84 mm
最大パルス間隔	3 sec.	重 量	32 g (空中), 11 g (水中)
パルス幅	20 ms.	耐 水 圧	30 kg/cm ²
電気出力	70 mW	測深範囲	0 ~ 60 m

大きく、それを無視できる特長をもっている。今回使用した超音波送信器は、このシリコン応力素子を水圧測定センサとして組み入れたものである。素子は送信器の一端にとりつけられたセンサ室の中の硬質アルミニウム板上にサーミスターと共に貼りつけられ、温度補償のレスポンスを高めるように配慮された。圧抵抗変化を利用して安定したパルス間隔変調記号を送信するために、回路構成は先の報告（市原，他，1972）の図2に示されたものから変更された。図1及び表1は測深用超音波送信器の回路図および性能表を示す。

次に回路の変更について説明を加える。バルク型半導体応力素子は抵抗値が低く 500Ω ~ 1000Ω であるため、トランジスタ Q₂ 及びダイオード Q₃ からなる付加回路をもってインピーダンス変換を行っている。ダイオード Q₃ は変換回路 Q₂ の温度補償として使用されている。コイル L₁ を簡単にするため、パルス発振 Q₁ の出力は抵抗 R₅ を通して出力トランジスタ Q₄ 及び Q₅ に接続され、Q₄ 並びに Q₅ は入力インピーダンスを高めるためにダーリントン接続となっている。また、出力コイル L₂ を簡単にするため、トランスデューサー X₁ を出力同調回路共振素子として利用した。

図1の右側には圧力センサ Rx の内容が示されており、バルク型半導体応力素子 R₅ とサーミスター R₁₀、抵抗 R₁₁ より構成されていて、R₁₀ と R₁₁ の並列回路は素子 R₅ の温度補償として作用する。結局、今回の回路変更の目的は、部品密度を大きくしながら容量の増加を極力さけることにあり、さらにコイルの簡易化を計り、圧力センサ及びインピーダンス変換回路の温度補償回路を附設したところに特色がある。

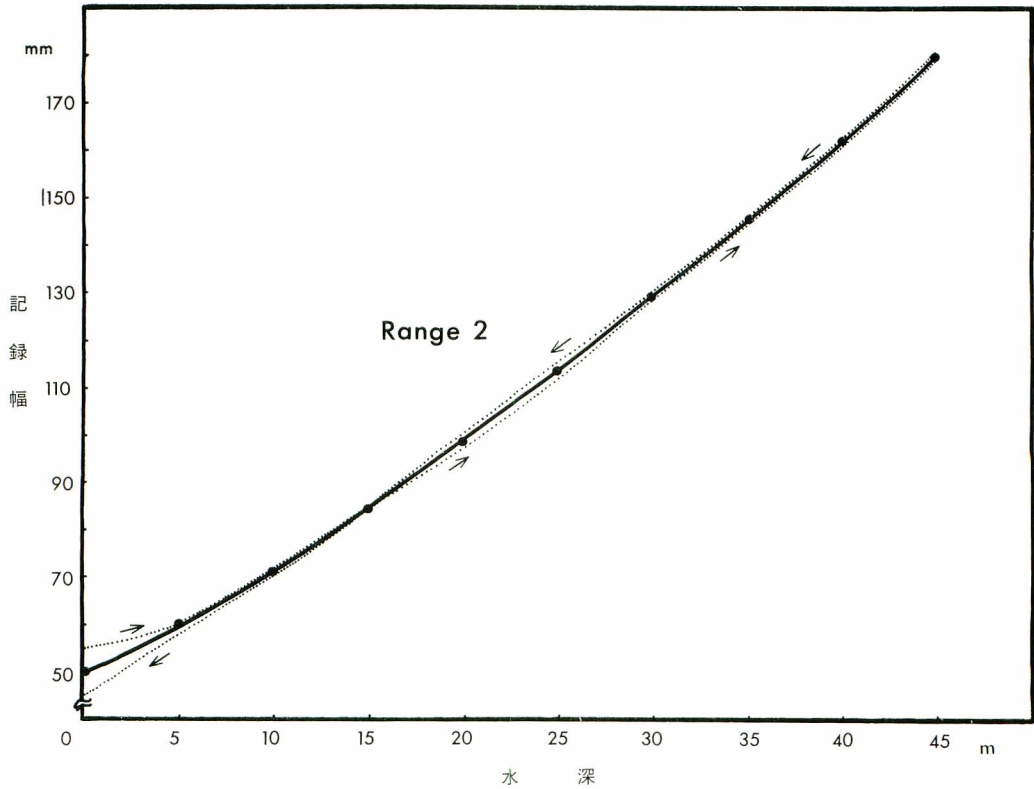


図 2. 測深用超音波送信信号の水圧特性曲線
水深と受信記録幅の関係をしめす

Fig. 2. Characteristic curve of signal of ultrasonic transmitter against water pressure. The curve shows relationship between the water depth and the width of record. Pulse interval which changes with the depth is expressed as the width of record.

バルク型センサの測深許容範囲は貼布するアルミ板との組合せで調整できる。今回の試験のためのシロザケの遊泳水深範囲はほぼ 60 m 以浅であると推定し、最大水深を 60 m として送信器を作製した。南下回遊期のシロザケの垂直行動については確立された知見はなかったが、北方における索餌期における遊泳水深に関する報告（待鳥，1966，1967，1968）より推測されたものである。最大感圧力を設定することにより、ヒステリシスに基づく計測の誤差範囲を小さくすることができる。バルク型センサそれ自体は圧力—抵抗関係が直線的であり、ヒステリシスは認められないが、送信器容器がエポキシ樹脂であり、受圧板がアルミニウムであるため、板の彎曲にもなって総合された型でヒステリシスが出現する。図 2 は、魚の追跡試験に先立ってエトロフ島沖で実施された較正試験で得られた送信器の水圧特性曲線であり、横軸に水深、縦軸に記録紙上の記録幅が記されている。システムの構成上、受信側の記録幅は送信側のパルス間隔、つまり、送信器に組み込まれたセンサの抵抗値変化に基因するものである。回路構成上で許容されるセンサの最大抵抗値は定められているので、測定すべき最大水深を定めることにより、1 抵抗値—1 パルス間隔—1 記録幅あたりの水深測定誤差が決定できることになる。図 2 で最大水深を 90 m にとれば 1 記録幅に相当する水深幅は 45 m の際の 2 倍になる。今回製作した測深センサは上記の観点からしてヒステリシスにもなる誤差範囲がせまく、水深 25 m において ± 0.5 m であった。魚の行動生態計測を目的とした場合、この程度の誤差は許容されるべきであろう。較

正試験は海上において実施されたために、0～5 m水深帯では波浪の影響があって十分な測定が困難であった。図中の矢印→は較正試験における送信器下降時を示し、矢印←は上昇時を示している。

受信記録器は受信された情報信号をアナログ記録する装置であるが、記録の読みとり精度を高めるために若干改造された。受信記録器にはマルチペン記録方式を採用しているが、市原，他（1972）の報告（図7）では320本の記録ペンを2分して160本ずつの2種類の情報記録をとるように設計されていた。今回の改造では320本の多ペンで1種類の情報を記録するようにしたほか、パルス信号の記録をパルス間隔の変動にともなって3段階に切替えられるようにした。つまり、パルス間隔0～2秒の信号はレンジ1で、1～3秒のものはレンジ2で、2～4秒のものはレンジ3で切替え記録表示できるようにしてある。それぞれのレンジでは320本のペンを全数使用しているのだから、基準パルス発生器では有効記録幅上を掃引記録する時間（2 sec.）を針の本数（320本）で割った針1本分の所要時間（1/160 sec.）のパルスを常時発生してカウンター回路に印加することになる。このため、改造後の記録紙上には深度の差が従来の記録器に比較して4倍に拡大されて表示されることになる。

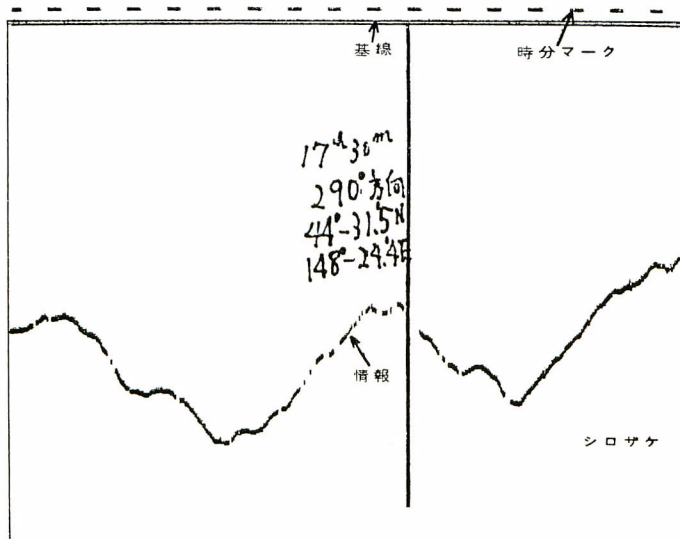


図 3. 記録紙上に表われた遊泳深度情報

Fig. 3. Continuous record of swimming depth of a chum salmon.

図3は、シロザケ追跡中に記録された遊泳水深の変化であり、魚の垂直行動を記録紙上で確認しながら試験を継続することができる。また、図4は、この調査に使用した水産庁調査船北光丸のブリッジの横に設置された受波器の支柱と魚追跡用のヘッドホンを着けた研究者である。支柱となっている竹筒はブリッジの高さから受波器を施回できるように便宜的に考案されたものである。

以上に述べた点以外では機器の構造は従来のものと同じである。

超音波送信器の装着

送信器の外部装着法のうち腹部曳航装着を採用した。これはシロザケの肛門より後部の腹筋を貫いて結んだテグスで送信器を曳航する方法で、8号テグスと超音波送信器の連結部に釣具用サルカンを2個使用しているため、魚の進行にともなう送信器の上下左右振動が極度に抑えられることになる。ブリを使用した曳航試験では群に混入する状態、混入後の尾柄部の運動、遊泳速度に異状が認められない装着法であった（市原，他，1972）。これはとりつけ方法が簡便なため、魚体の麻酔を必要とせず、装着に要する時間は3分以内である。



図 4. 調査船北光丸の舷側に設置された受波器の支柱

Fig. 4. Prop of receiving apparatus installed on the side of research vessel, Hokko-Maru.



図 5. 超音波送信器を曳航装着されたシロザケ

Fig. 5. A chum salmon which bore an ultrasonic transmitter in the trawling type.

装着された魚は、1974年10月2日08:07時にエトロフ島ヒトカップ湾沖合東南東38.6マイルの地点で水産庁調査船北光丸により、塩蔵カタクチイワシを餌とした延縄で漁獲された尾叉長 68 cm の♀4才魚(0・3)のシロザケである。この地点では同じ一連のはえなわ30鉢で110尾のシロザケと6尾のマスノスケが漁獲され、うち、シロザケ40尾とマスノスケ4尾が漁獲と同時にディスク型標識を脊ビレ前部に付けて放流された。また、そのほかに3尾のシロザケ(成熟魚)が漁獲と同時に船上の大型水槽に移され約1時間蓄養された。送信器を装着した魚はその中で最も活力の高いものであった。送信器装着魚を含めて、これら3尾にも背鰭前部にディスク標識がつけられ、漁獲されてから約1時間後に放流された。送信器を魚に装着した状態を図5に示す。

船位測定法

魚よりパルス間隔変調信号としてテレメトリー送信される深度情報は、受信側の船と魚の距離が1 km 以内の場合確実に記録される。一方、受信器回路には超音波信号を聴音モニターできるように音声回路を併設しているので、船を中心にして半径約2 km 以内において魚を見失うことなく、その方位を受波器操作と聴音の組合せによって知ることができる。受波器は片舷に設置されているので、実際の操作では船首の斜前方に魚をおいて船を誘導し追跡することになる。つまり、情報信号を受信記録している限り、魚は船の斜め前方1 km 以内に遊泳していると判断される。この追跡方法によれば時刻ごとの船位によって魚の移動路を求められる。今回の試験は沖合の海域で実施されたので、船位測定はエトロフ島を基点としたレーダー測距により行わざるを得なかった。シロザケ追跡試験海域を図6に示す。

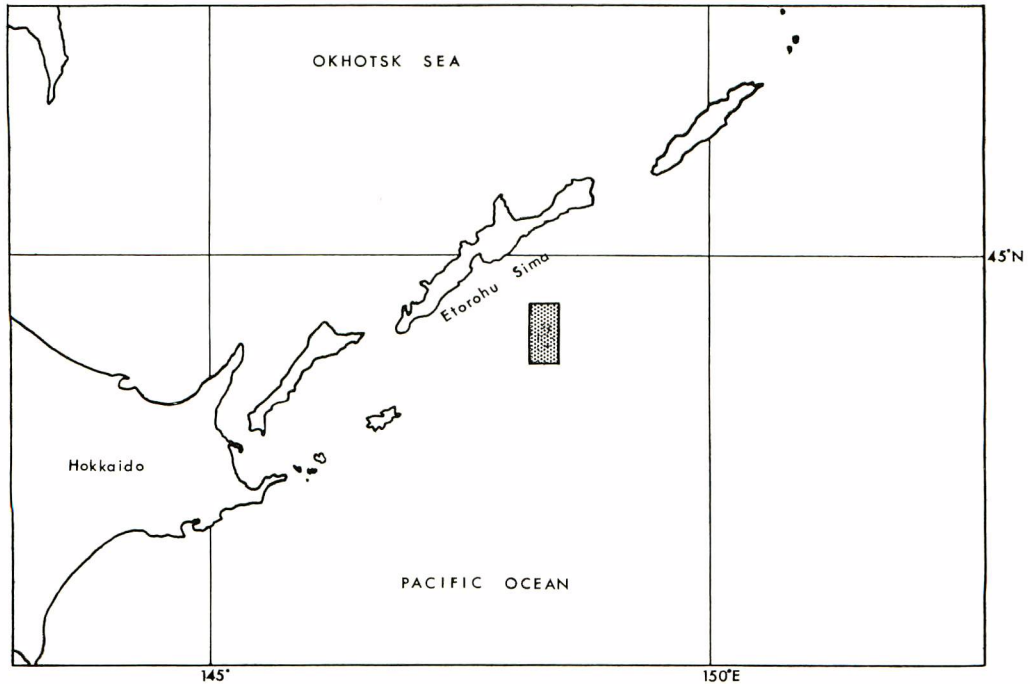


図 6. シロザケ追跡試験の海域，1974年10月2日～3日

Fig. 6. Experiment area for a chum salmon, from October 2 to 3 in 1974.

水平移動及び遊泳速度

シロザケに対する追跡は，10月2日08：07時から10月3日20：55時まで36時間48分間にわたり継続された。天候悪化により試験を打ち切るまでの間における魚の水平移動の状態を図7に示す。図中には30分間隔で魚の位置を記入してある。魚は移動の途中で何回となく方向を変えているが，全体の移動方向は南南西であった。移動図から判断すると，昼間と夜間では魚の動きに相異が認められ，10月2日放流から日没16：45までの昼間と，10月3日の日出05：05後の行動は旋回運動を主とした南南西への進行において類似性が認められるのに対し，10月2日の日没から10月3日の日出までの夜間においては旋回運動の少ない南進の方位づけが行われている。移動距離の点から比較すれば，昼間が1,193分で85.9km，夜間が1,015分で77.6kmであって，相異点は移動距離ではなく，むしろ夜間における定まった移動方位にあると指摘できよう。しかし，約1日半にわたる測定にすぎなかったため，この記録から昼夜の行動差を結論づけることはできず追証を必要とする。

試験期間中の総合遊泳距離は163.6kmで，放流点から試験終了時までの直線最短距離，つまり，35.1kmの4.7倍であった。1日あたりの水平移動距離は106.7kmであった。ちなみに，1日あたりの直線最短移動距離は22.9kmであり，ベーリング海や北西太平洋を回遊中のシロザケについて過去の標識放流の結果から計算された値（HARTT, 1966：米盛, 1971 etc.）に比べてやや低いように考えられる。いずれにしても，迷子札法による標識では直線最短距離だけしか求められないことは明らかであり，テレメトリー手段により，実際の遊泳速度を測定できることは大きな意義がある。

10月2日の23：00～24：00時までの1時間の移動は16.2km（270m/分）であり，10月3日の11：30～12：30時までの1時間の移動は17.8km（296m/分）となる。この間の船位についてはレーダによる読みとりの誤りも考えられ，疑問を残している。

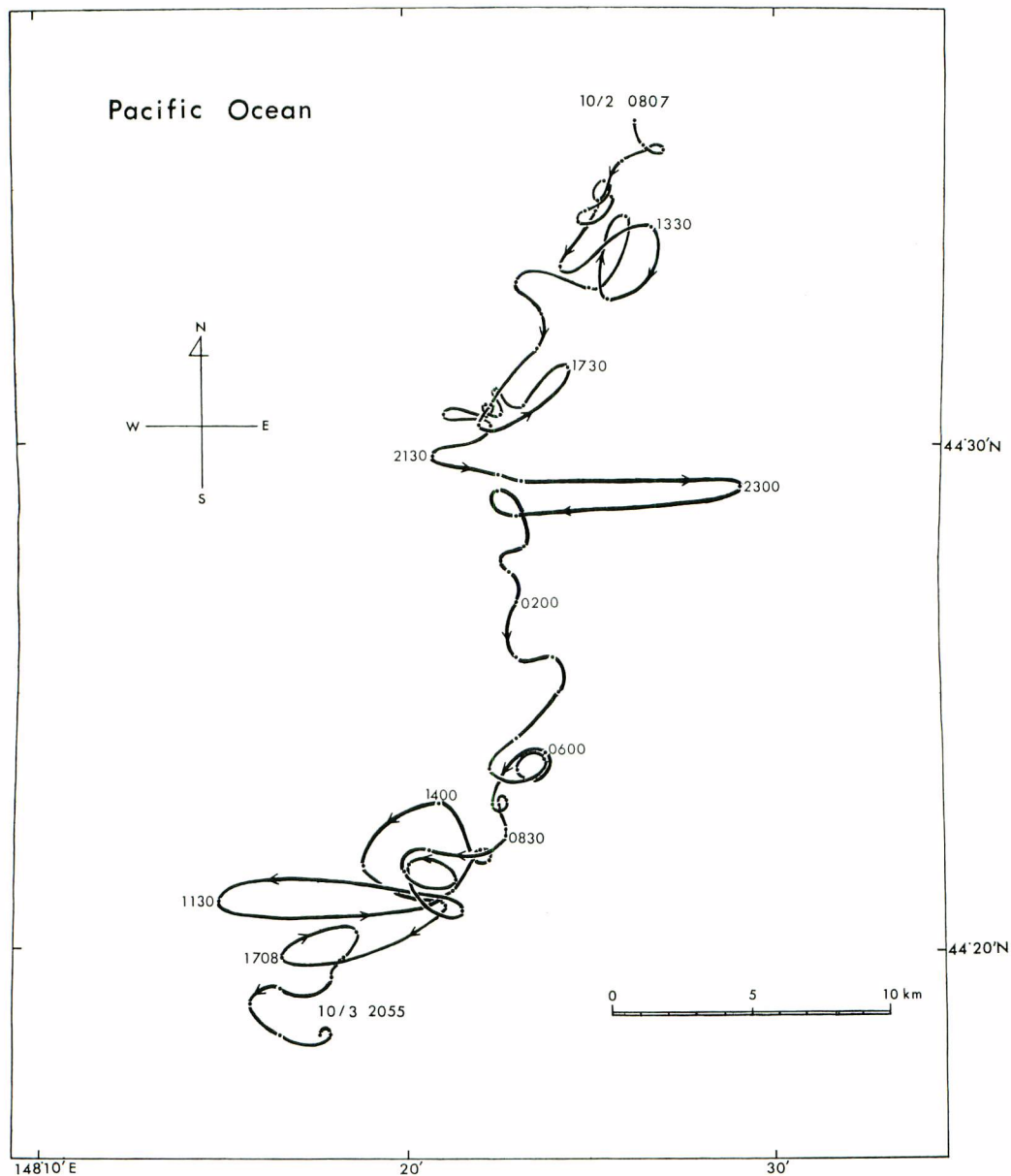


図 7. 超音波標識シロザケの水平移動図

Fig. 7. Horizontal movement of a chum salmon.

昼間および夜間における移動速度を1分間当たりの尾叉長単位 F.L./分 で表2に示した。測定回数は昼間及び夜間においてそれぞれ36回、34回であった。昼間、夜間とも最多頻度は60~120 F.L./分に現われ、平均速度は昼間において105.9 F.L./分、夜間において112.5 F.L./分で差は認められない。この値を秒速に換算すると、それぞれ昼間1.8、夜間1.9 F.L.となる。

時間経過ともなる水平速度の変化を図8に示す。放流直後は63.1 F.L./分で移動していたが、約5時間後の13:00時に198.6 F.L./分に達した。その後速度を落したものの、日没30分後には211.8 F.L./分まで速

表 2. 昼間および夜間における送信器装着シロザケの水平移動速度の頻度分布
Table 2. Distribution of horizontal speed of a chum salmon tagged by an ultrasonic transmitter, in the daytime and at night.

昼間 10/2~10/3				夜間 10/2~10/3			
速度 F.L./min	頻度	百分率%	平均 F.L./min	速度 F.L./min	頻度	百分率%	平均 F.L./min
0—60	10	27.78		0—60	9	26.47	
60—120	13	36.11		60—120	15	44.12	
120—180	10	27.78		120—180	5	14.71	
180—240	1	2.78		180—240	2	5.88	
240—300				240—300	1	2.94	
300—360				300—360			
360—420				360—420	2	5.88	
420—480	2	5.55					
	36	100.00	105.9		34	100.00	112.5

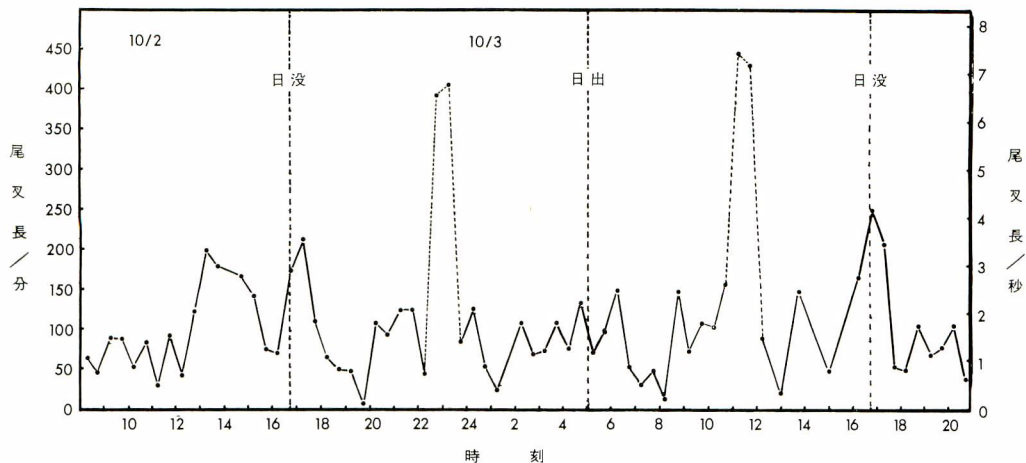


図 8. 時間経過に伴うシロザケの水平移動速度の変化

Fig. 8. Change in the horizontal speed of a chum salmon for each 30 minutes.

度を早めた。10月3日の日没直後にも速度は251.0 F.L./分に上昇している。その他の時間帯では90 F.L./分前後の速度であり、日出時には速度を早めるような特長をしめしていない。10月2日の22:00~24:00時の間および、10月3日の11:00~12:00時の間は急激な速度上昇が認められているが、前述したごとく船位測定の誤りに基づく見かけの速度上昇の疑いがあり、図中において点線で示してある。時間経過にともなう水平速度の変化はシロザケの遊泳が平滑な進行でなくて時間の推移によって刻々と変ることを示唆している。しかし、今回の試験による限り、日没の薄明時を除いて時間帯による周期性は把握できない。流向、流速は測定されなかったもので、それらと魚の移動方向との関係は正確にはとらえ難いが、北太平洋海流図(10, 11月)によるとエトロフ島南方で南西方向の潮流があり、シロザケが潮流に乗る移動方向をしめたものと思われる。

垂 直 移 動

水深情報をテレメトリー送信できる段階に入ったため、魚の遊泳深度のアナログ値は平均1秒おきに記録された。較正図に基づいてアナログ値を水深に換算して1時間ごとに水深パーセント頻度の分布をしめたのが図9である。したがって、それぞれの1時間あたりの測定数は約60回になる。

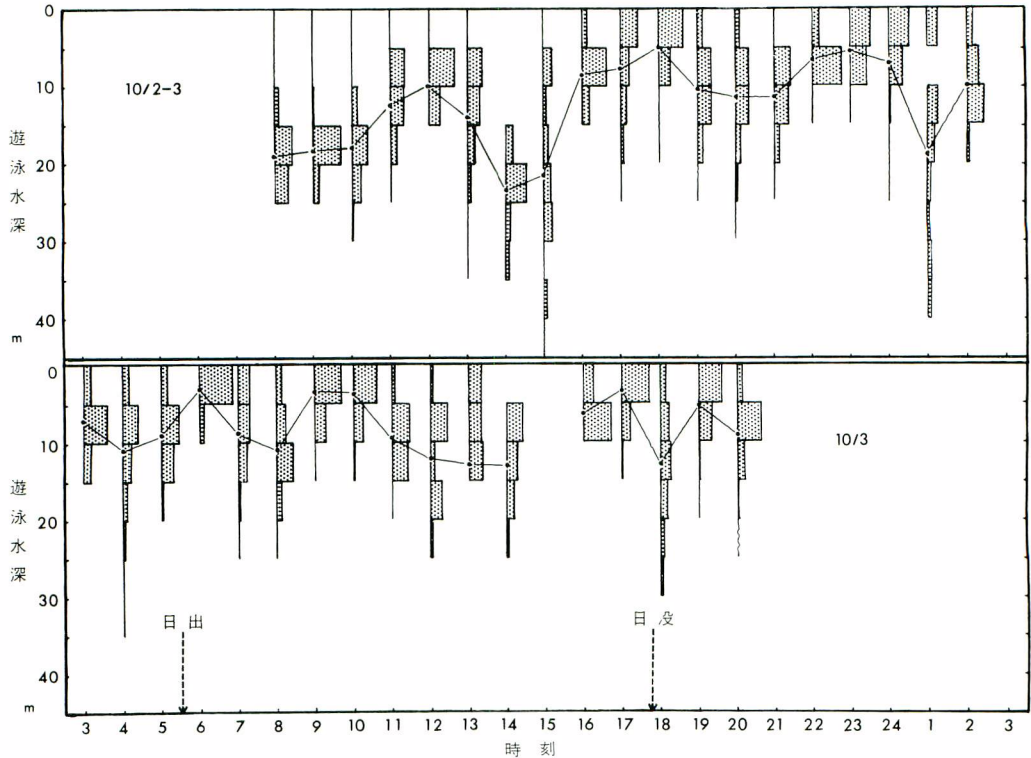


図9. 1時間ごとのシロザケ遊泳水深頻度分布および平均水深
 Fig. 9. Distribution of swimming depth and mean depth of a chum salmon for each hour.

放流後の1時期（08：07～16：45時）の平均水深は16.4mであったが、その後、試験終了までの平均水深は8.8mであった。昼夜における遊泳水深の差は特に認められず、照度変化が直接魚の垂直分布に与える影響は少ないものと判断される。水深パーセント頻度分布が示すように、生息域は浅い方に偏って分布し、最大の水深は45mであって、10月2日の23：00時から10月3日の02：00時の深夜に測定されている。0～5mの海面直下に出現する頻度は比較的高率であるが、特に昼夜の差は検出できなかった。頻繁に海面直下に浮上するシロザケの行動は何を意味するのか不明であるが、1970年及び1971年において中禅寺湖産ヒメマス（4尾）の母川回帰行動の測定の場合にも頻繁に水面までの浮上が記録されている（市原，他，1973）ので、シロザケの母川回帰のオリエンテーションに関する行動なのかも知れない。この点について結論するには測定尾数の増加と、回帰時期以外の索餌回遊時の測定との比較が必要になるであろう。

10月2日放流後、約8時間にわたる垂直分布は翌日10月3日の当該時間の分布とは異なっている。この原因の1つとして捕獲、送信器装着、放流の刺激が魚に逃避行動を維持させたとも考えられるが、他の原因として

海況の影響を吟味する必要がある。放流前日の10月1日は荒天であり、その余波は放流後まで残っていた。参考のために試験終了時までの風向、風力を表3に示す。なお、天候は10月2日の朝における全天曇から次第に回復し、晴天あるいは晴ときどき曇に変化している。シロザケが浮上を開始したのは16時以降であるから、風力、天候の変化は時刻からみて必ずしも一致していないが、今後考察すべき1項目となり得るであろう。

北太平洋及びベーリング海などシロザケの索餌場における垂直移動と天候の関連については過去の報告がほとんど見当たらず、今回の試験結果と比較することができない。一方、逃避行動が8～9時間も継続したとすると、今後は魚体のとり上げ、機器装着による影響を配慮せねばならなくなる。

また、図9はシロザケの垂直移動がきわめて活発なことを示している。魚は海面から水深45mまで上下し、昼間における最大水深は44m、夜間のそれは45mであった。さら30m以深に下降した回数は昼間に6回、夜間に3回認められ、1日を通して活発な上下移動が認められている。北太平洋の索餌漁場におけるシロザケの遊泳層の推定がNEAVE及び待鳥ならびに松下により報告されている。漁具深度に基づくこれらの推定によると、5月18日～7月13日のアラスカ湾における調査（NEAVE, 1960）、並びに6月～8月にわたるカムチャ

表3. シロザケ追跡期間中の風方、風力ならびに天候の記録
Table 3. Records of weather, wind force and wind direction
in the period of tracking a chum salmon.

10月2日				10月3日			
時刻	風向	風力	天候	時刻	風向	風力	天候
01	NE	3	O	01	N	2	C
02	N	2	O	02	Calm	2	C
03	N	2	O	03	NW	1	C
04	N	2	O	04	NW	2	C
05	NE	3	O	05	NW	2	bc
06	NNE	3	O	06	NW	2	bc
07	NNE	3	O	07	NNW	2	bc
08	NNE	3	C	08	NNW	2	b
09	NNE	3	C	09	NNW	2	bc
10	NNE	3	O	10	NW	2	bc
11	NNE	2	C	11	NW	2	bc
12	NNE	2	bc	12	NNW	2	bc
13	NNE	2	bc	13	NNW	2	C
14	Calm		bc	14	NNW	2	C
15	NE	1	bc	15	NNW	2	C
16	Calm		C	16	NE	2	bc
17	NW	1	C	17	NE	1	bc
18	WNW	2	O	18	ENE	2	bc
19	NNW	2	bc	19	ENE	2	bc
20	NW	2	C	20	ENE	2	bc
21	NW	2	C	21	E	2	bc
22	NW	2	C				
23	NW	2	C				
24	NNW	2	C				

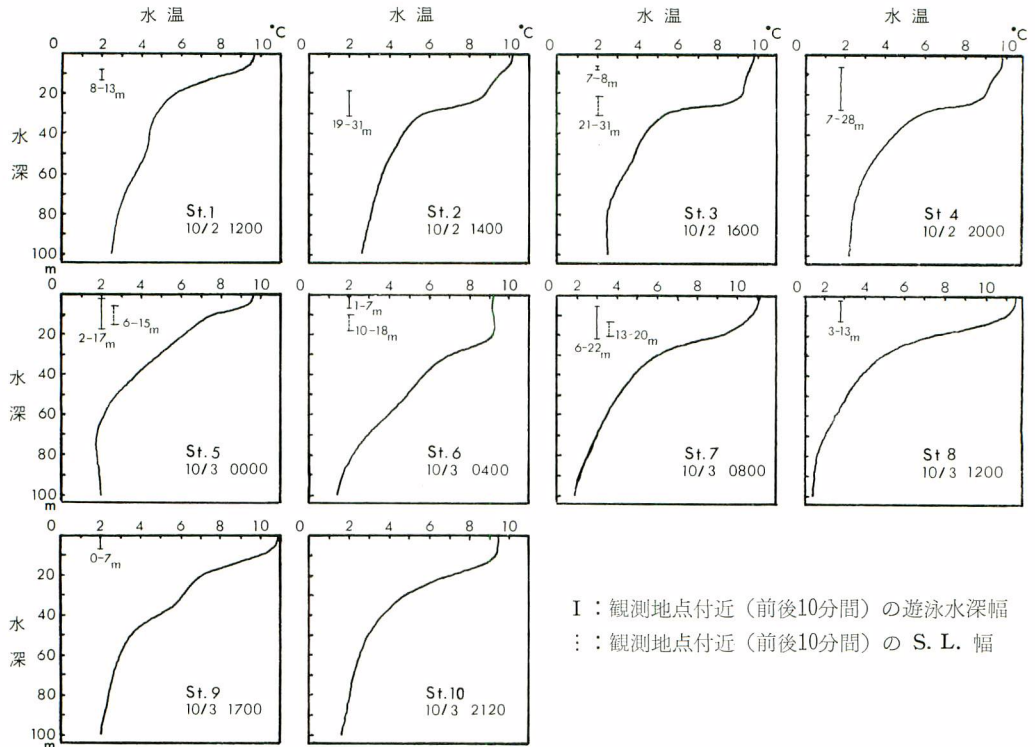


図 10. B. T. 観測による垂直水温分布 (エトロフ島沖) とシロザケの遊泳水深

Fig. 10. Distribution of vertical sea temperature on the basis of B. T. survey and swimming depth of a chum salmon.

I : Range of swimming depth of a chum salmon during 20 minutes near the station.

: : Range of S. L. depth during 20 minutes near the station.

ツカ東岸沖の調査(待鳥, 1966)によると, 夜間には昼間よりも一般に遊泳層が浅くなる傾向があるものの, カムチャッカ東岸沖のシロザケの場合には夜間でも 50 m 水深にシロザケが分布する(松下, 1964)と報告されている。

上述したように, 今回の試験では放流後の一時期を除いて魚の遊泳水深には昼夜における顕著な差が認められてはいないが, 最大遊泳水深については, 松下(1964)の知見とほとんど一致する結果が得られている。

結局, シロザケの遊泳水深を規定する主要因は餌の分布であろう。試験期間中10ヶ所の測点において BT 観測を実施した。そこで入手された垂直分布と, その水域を遊泳する魚の深度の関係をしめしたのが図10である。この図に示された魚の水深は BT 観測時刻の前後10分間にわたる魚の遊泳水深幅として表わされている。BT 観測は極力魚に接近して実施されたので, 水塊分布の状態と遊泳水深との対応を示すものと思われる。すべての測点において, 明らかにシロザケは水温躍層に浅く存在している。魚探は試験期間中継続して作動させていたが, 記録がきわめて不鮮明で, SL 層の全体的上下移動が把握される測点 3, 5, 6, 7, についてのみ SL 分布水深幅を記入した。測点10は試験終了後の観測値を与えている。

放流前, 同時に漁獲されたシロザケの胃内容物は *Themisto* sp. ならびに *Euphausia* sp. であり, 摂餌量からみて10月における摂餌活動はいまだに活発であることを示唆していた。ちなみに, 魚の遊泳層の水温幅は 5.4°~11.3°C であった。

時間経過ともなる垂直移動速度の変化を30分おきにプロットしたのが図11である。垂直方向における速度

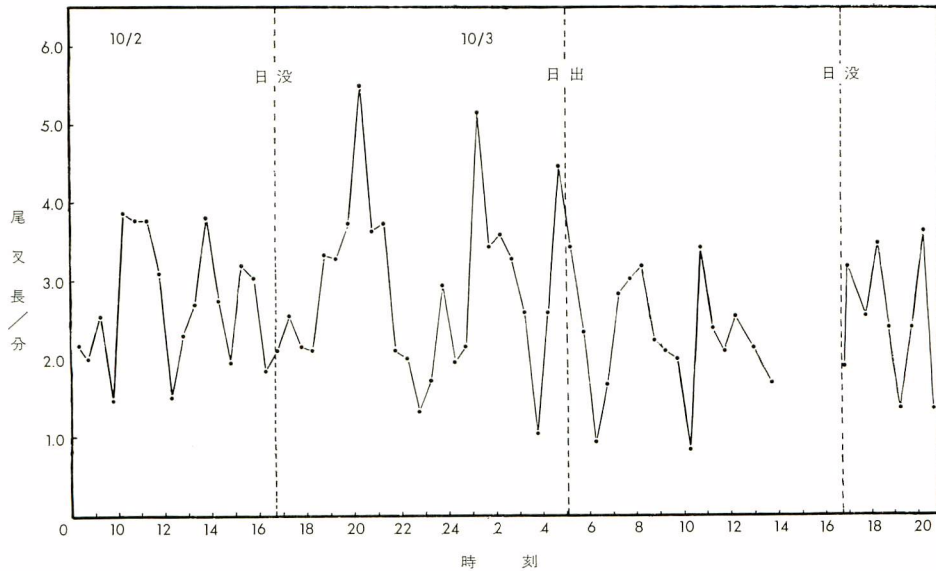


図 11. 時間経過に伴うシロザケの垂直移動速度の変化

Fig. 11. Change in the vertical speed of a chum salmon, for each 30 minutes.

幅は 0.8~5.2 F.L./分 であり，水平方向における速度幅 63~445.0 F.L./分 に比較して上昇，下降の速度がきわめて遅いことを示している。試験期間中における平均垂直速度は 2.6 F.L./分 で，昼間で 2.5 F.L./分，夜間で 2.8 F.L./分 となり，特に昼夜における差は認め難い。前述したように水平移動速度において昼夜の差は確認できなかった。

興味あるのはシロザケの垂直速度が時間経過にともなって変化することである。図10によれば速度を早めて上下移動をした後で，暫時休息する様相が画かれている。同様な周期性は水平移動速度の時間経過をしめす図8においても一見認められ，これが遊泳するシロザケの自律的振動である「ウルトラデアン・リズム」を意味するかどうかについては，測定時間を延長して今後考究すべき課題である。

垂直移動が日没時よりも日出時（日出30分前）に活発化する状態（図11），ならびに水平移動の活発な時刻と垂直移動の活発な時刻とが全般的にみて一致しないこと（単位時間内の水平移動距離と垂直移動距離の相関係数は -0.168 で両者の間に相関が認められない。）から判断して，遊泳速度を魚の活動度指数として取り上げる場合には，今後，水平，垂直両方向の速度を斟酌する必要がある。シロザケの種特有のアクトグラムを求めるには，本試験のように約37時間という短時間でなくて，少なくとも数日にわたる測定期間を必要とする。現有の超音波送信器の性能でも十分この要望に沿うことが可能である。

湿式記録紙には，魚の上下移動の動態が刻明に記録されている。その中で48回にわたる急速下降および上昇が認められているので，それぞれについて垂直遊泳速度の頻度分布が求められる（表4）。速度の単位を m/sec. で表わすと，下降時の最大速度は 0.18 m/sec. となり，平均速度は下降時で 0.08 m/sec.，上昇時で 0.06 m/sec. となり，下降速度は上昇速度よりも若干早い（危険率 1% で有意）。換言すれば，シロザケは下降した後に反転上昇する際の浮上力が若干弱いため，下降前の水深に復帰するにはそれだけ時間を要することをしてしている。この傾向は他の魚種であるブリ，マダイにも認められる（市原，未発表）が，水中重量約 10 g の送信器負荷に対する魚の適応性の欠如か，魚本来の行動であるか不明である。水中重量が 0 g 以上の魚種においては送信器の負荷に関係なく，一般的に認められる行動習性と考えることもできる。興味あるのは魚種によって，垂直移動速度が著しく異なる点であり，鰐の調節の水圧の急激な変化に対する魚種別適応度を示

表 4. 急速下降時および上昇時のシロザケの垂直遊泳速度の頻度分布

Table 4. Distribution of vertical speed of a tagged chum salmon in the rapid descent and ascent.

下 降 時				上 昇 時			
速度 m/sce.	頻度	百分率%	平均 m/sec.	速度 m/sec.	頻度	百分率%	平均 m/sec.
0 —0.02	1	2.08		0 —0.02	2	4.17	
0.02—0.04	7	14.58		0.02—0.04	9	18.75	
0.04—0.06	8	16.67		0.04—0.06	20	41.67	
0.06—0.08	18	37.50		0.06—0.08	10	20.83	
0.08—0.10	4	8.34		0.08—0.10	4	8.33	
0.10—0.12	6	12.50		0.10—0.12	2	4.17	
0.12—0.14	2	4.17		0.12—0.14			
0.14—0.16	1	2.08		0.14—0.16	1	2.08	
0.16—0.18	1	2.08					
	48	100.00	0.076		48	100.00	0.063

すものとしてパターン化できそうである。シロザケは測定記録から判断して海中において急激な上下行動をとれる魚種とは考えにくい。将来、鈍な上下行動と摂餌習性との比較の過程で両者の対応を求めてみる必要がある。

ま と め

魚の遊泳深度を遠隔測定できる超音波送信器の開発が行われたので、従来の記録器に若干の改善を施して、無拘束で遊泳するシロザケから連続して行動に関する情報を入手した。シロザケは1974年10月2日早朝、エトロフ島ヒトカッ湾沖合東南東38.6マイルで延縄により捕獲された尾叉長68cmの♀の成魚で母川回帰中の南下群の1尾であった。このシロザケに対する超音波を利用した追跡は10月2日08:07時から10月3日20:55時までの間、荒天の間間を利用して約37時間にわたって実施された。魚に対する追跡は水産庁調査船北光丸に超音波受波器ならびに受信記録器を装備して行われた。天候により追跡時間を短縮せざるを得なかったため、また、対象が1尾だったため南下期シロザケの日週行動について結論を下すには早計であるが、将来における追証を期待しながら魚の行動に関して得られた知見を以下に要約する。

まず、超音波テレメトリーシステムについては実用性を考慮して、次の4点について改善が施工された。

1. 魚の遊泳水深測定センサとしてシリコンバルク応力素子を採用し、超音波小型送信器内に収納できるよう改善された。
2. バルク型測深センサを使用すると試験目的に合った測定水深範囲を設定することができる。シロザケの行動測定用に測定できる最大水深は60mとして設計された。
3. このため、測定にともなう総合ヒステリシスを小さくして測深精度を高めることができた。今回使用した超音波送信器の測深精度は水深25mで±0.5mであった。
4. 情報記録器は実用面を考慮して改善された。このため、アナログ記録の読み取りが容易になった。

シロザケの行動に関する知見として

5. 魚の水平移動速度は平均して昼間秒速1.8尾叉長、夜間秒速1.9尾叉長であり、昼夜における差は特に認められない。

6. 水平移動速度は時間経過にともない変化する。特に、日没30分後には行動が活発化して、秒速3.5尾又長以上、つまり、平均速度の2倍以上に達する。記録された最高速度は秒速7.4尾又長であった。
7. 魚は昼間旋回行動を主とする水平移動を示したが、夜間において一定の移動方位をとった。昼夜における行動の相異については、母川回帰のオリエンテーションにも関連するので追証を必要とする。
8. 試験期間中の総合遊泳距離は163.6 kmで、放流点と試験終了点とを結ぶ直線最短距離35.1 kmの4.7倍にあっていた。
9. 放流後約8時間のデーターを除くと、遊泳水深は平均して8.8 mであり、魚は海表面から45 m水深までをよく行動した。放流後8時間の平均水深は16.4 mであり、放流刺激による逃避行動に基づくのか、海況あるいは天候に原因するのか不明である。
10. 昼夜における遊泳水深に特に差は認められない。BT観測による垂直水温分布によると、魚は常に水温躍層よりも浅い水域に滞在していて、魚の遊泳水深を規定する主要因は餌の分布にあると判断された。
11. 昼夜の区別なしに、魚は頻りに海表面近くまで浮上した。この行動の意義づけはできないが、魚のオリエンテーションに関連する行動かもしれない。
12. 魚の垂直移動速度はきわめて緩慢であり、平均して分速2.6尾又長である。急激な下降、上昇記録だけをとりあげて見ても、最大下降速度は秒速0.18 mであった。上昇の速度は下降速度よりも若干遅い。

引用文献

- HARTT, A. C. 1966: Migrations of salmon in the North Pacific Ocean and Bering Sea as determined by seining and tagging, 1959—1960. INPFC Bull. 19.
- ICHIHARA, T., M. SOMA, K. YOSHIDA and K. SUZUKI 1972: An ultrasonic device in biotelemetry and its application to tracking a yellowtail. *Bull. Far Seas Fish. Res. Lab.* 7: 27—48.
- 市原忠義, 白旗総一郎, 相馬正樹 1973: 漁業資源調査方法の開発に関する研究 II. バイオテレメトリーによる方式, 農林水産技術会議研究成果 68: 44—88.
- 待鳥精治 1966: 北西太平洋におけるサケ, マス類の垂直分布 I. 北水研報告 31: 11—17.
——— 1967 同 上 II. 北水研報告 33: 13—20.
——— 1968 同 上 III. 北水研報告 34: 1—11
- 松下友成 1964: 北洋におけるサケ・マス資源 II. 水産研究叢書 2. 110p. 東京
- 中村 朗, 相馬正樹 1973: バイオテレメトリー用水深情報センサについて, 海洋生物テレメトリー研究会報 5: 32—36.
- NEAVE, F 1960: Observation of the vertical distribution of salmon in the northeast Pacific. INPFC Doc. 409.
- 米盛 保 1971: Bering 海中央部に分布するさけ・ますの表層刺網に対するリ網方向 (瞬間的な遊泳方向) と標識放流より得られた長期的回遊方向との関係, 遠水研報告 4: 51—69.