

温排水に対する魚類の反応行動

一室内実験および野外調査の到達点一

はじめに

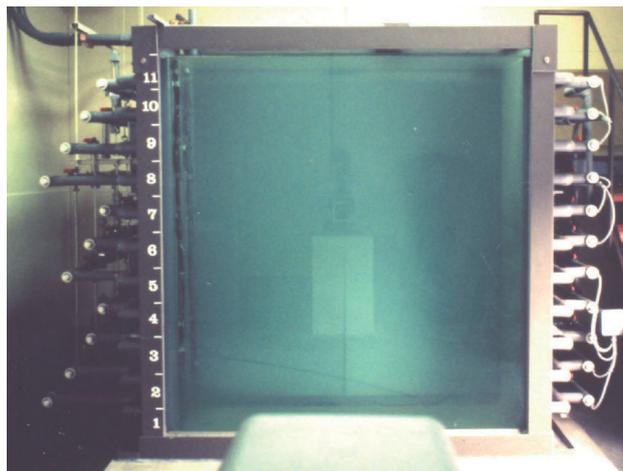
「温排水によって海の水温が上がると、発電所の周りの海から魚が居なくなってしまうのではないか？」これは、温排水が海の生物に与える影響として、真先に思い浮かぶ問題の一つです。この問題について、これまでに海生研が蓄積してきた知見の一部を創立30周年記念シンポジウムにおいてご紹介しました。

選好温度とその測定方法

真夏の炎天下には、冷房の効いた室内に逃げ込みたくなるのが人情であります。魚も同様に、水温が高すぎる、あるいは低すぎる場合は、それを避けてより快適な水温の場所へと移動します。この行動を利用して、魚の「選好温度」、すなわち魚が好んで選ぶ温度を実験的に推定することができます。

魚が入っている水槽の中の水温を、水面から水底に向かって徐々に冷たくなるように調整する(鉛直的な温度勾配を発生させる)、あるいは右から左に向けて同じような条件を作る(水平的な温度勾配を発生させる)とどうなるでしょう。大概、初めのうちは水槽内をグルグル泳ぎまわったり、水槽の底の方でじっとしていたりしますが、時間の経過に伴って、特定の水温の場所を選択的に遊泳するようになります。ただし、底生性の魚類の中には、水槽の隅っこに張り付いて死ぬまで動かない頑固者も居りますが、これは例外です。

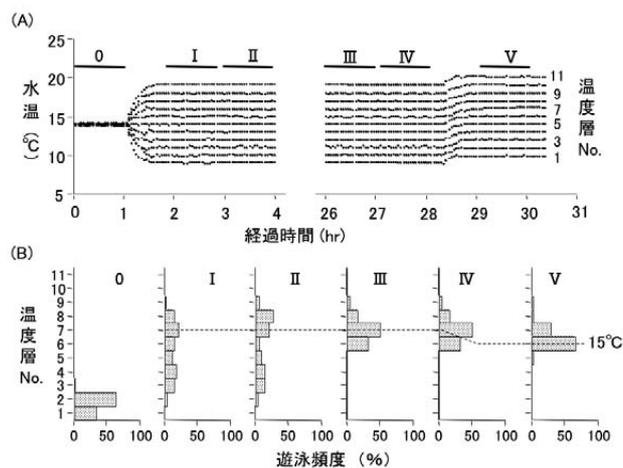
大雑把に言えば、このようにして魚が選択した場所の水温が選好温度です。実際には、試験水槽内に11段階の異なる温度層を鉛直的に作り出す(例えば、最も浅い層を30℃とし、深くなる順に各層の水温を1℃ずつ低くして、最も深い層を20℃とする)垂直温度勾配試験装置(水深1m65cm、奥行き60cm、幅1m50cm、第1図)、および水平的に異なる温度領域を作り出す水平温度勾配試験装置(水深10cm、長さ4m40cm、幅25cm)の二種類の大型装置を用いて測定しました。なお、主に前者は、海の表・中層を遊泳する魚種を対象とした試験に、後者は、底生性の魚種を対象とした試験に用いました。これらの装置に魚を収容して遊泳位置の水温を1~3分間隔で測定し、その平均値を選好温度としました。



第1図 垂直温度勾配試験装置の外観

沿岸性魚類各種の選好温度

測定例として、第2図に、垂直温度勾配試験装置によるニシン(体長7cm、5個体)の試験結果を示しました。



第2図 垂直温度勾配下における選好温度測定試験結果の一例(対象魚種:ニシン)

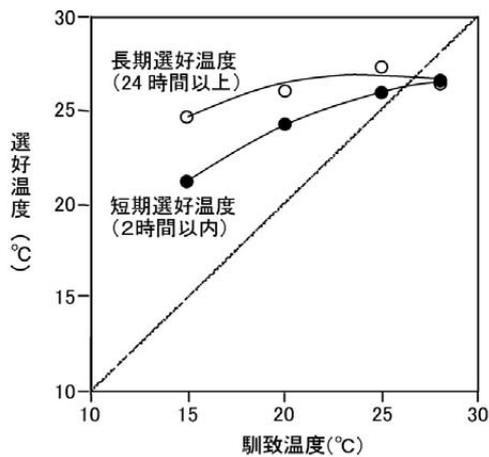
上段のグラフは、試験期間中における表層から底層までの各温度層No. 1~11における水温の推移を示し、下段は供試魚の遊泳位置の頻度組成を示してい

ます。水槽内の各温度層の水温が一様に14℃の場合(0期)は、下層部に分布していましたが、9~19℃の温度範囲の勾配が形成されると(I, II期), 中層の広い範囲を遊泳するようになり、同じ温度勾配下で24時間以上経過すると(III, IV期), 14~16℃の温度域に集中する傾向を示しました。

その後、水槽内の温度を全体に1℃上昇させて10~20℃の温度範囲の勾配を形成すると(V期), 供試魚は底層方向に移動して温度条件変更前とほぼ同様の温度域を選択しました。

このようにして魚の選好温度を求めることができますが、選好温度は常に一定ではありません。特に、人間でも北海道出身の人は暑さに弱く、沖縄出身の人は寒さに弱いように(ちなみに筆者は東北出身ですが寒さに弱いです。生物には例外が付きものですね)、住み慣れた場所の水温「馴致温度」によって選好温度は変化します。

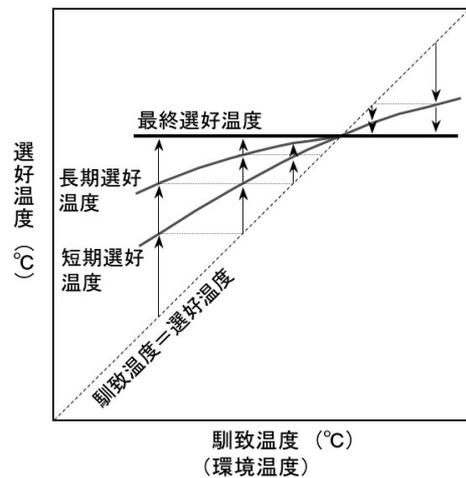
第3図に、イシダイ1年魚の馴致温度(選好温度を測定する前に、2週間以上接触していた一定の温度)と選好温度の関係を示しました。試験装置内に温度勾配を形成してから2時間以内に測定した選好温度を短期選好温度、24時間以上経過後に測定したものを長期選好温度とすると、短期、長期ともに、馴致温度が高いほど高い傾向が認められますが、短期選好温度の方がより馴致温度の影響を大きく受けます。



第3図 イシダイの馴致温度と選好温度の関係

同様の結果は、他の魚種でも認められ、魚類は馴致温度の影響を受けながら、特定の温度を選好しますが、時間の経過に伴って初期の馴致温度の効果が徐々に薄れていきます。そうすると、選好温度は、やがて第4

図のように、特定の温度に収斂すると考えられます。一般に、この収斂した温度を「最終選好温度」と呼び、馴致温度に左右されない魚種固有の値とされています。この最終選好温度は、馴致温度と選好温度が等しくなる温度として推定できますので、この方法によって、これまでに30魚種について推定しました(第1表)。



第4図 馴致温度と選好温度の関係モデル

第1表 魚類30種の最終選好温度

魚種名	体長 (cm)	最終選好温度 (°C)	魚種名	体長 (cm)	最終選好温度 (°C)
マダラ	7.7	7.6	クロメジナ	6.3	26.1
サケ	10.3	13.5	ヘダイ	6.2	26.4
ニシン	7.0	14.4	イサキ	10.3	26.7
アユ	5.7	18.6	ブリ	19.0	26.9
カタクチイワシ	9.8	18.8	ボラ	3.6	27.0
マイワシ	14.6	20.0	トラフグ	6.9	27.2
クロソイ	5.2	20.5	カラハギ	6.0	27.6
カサゴ	6.0	20.7	ハマフエフキ	5.2	28.0
メバル	5.0	21.2	アオギス	9.7	28.5
	14.0	22.6	クロダイ	5.6	29.8
シマアジ	10.2	22.5		11.5	28.8
マアジ	16.8	24.0	ホシギス	5.2	29.4
チダイ	10.0	24.2	スズキ	5.3	29.7
マダイ	11.7	25.3		11.4	30.0
シロギス	12.1	25.5	キチヌ	4.5	30.2
イシダイ	6.7	27.5	コトヒキ	5.8	31.5
	14.0	26.0	ミナミクロダイ	5.9	31.6

理論的には、魚は周囲の水温が最終選好温度より高い場合は、より低い水温を求めて(もちろん逆の場合は逆の方向に)移動します。つまり、最終選好温度は、魚の温度に対する行動の方向性を決める基準と見なされています。

(以上、まるで自分が行った仕事の成果のように書いてきましたが、実際は私の先輩達が長年にわたって実施してきた実験によって蓄積されたデータです。魚類の選好

温度の詳細については、土田, 2002をご参照下さい。

海域における魚類の行動と選好温度

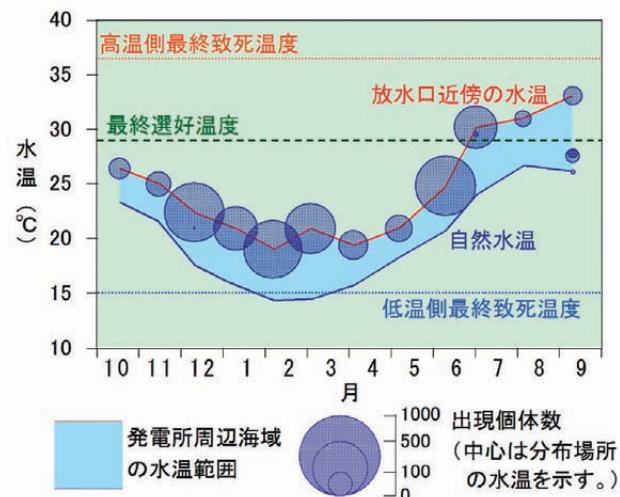
では、実際に発電所周辺の海において、魚は最終選好温度を基準として行動しているのでしょうか？これについて、発電所周辺海域において実施した魚類の分布調査（潜水目視観察調査）のデータを用いて検討してみました。

調査を行ったのは、長崎県五島灘沿岸に立地する火力発電所周辺海域です。この発電所の温排水放水口にはギンガメアジがたくさん集まっています（第5図）。



第5図 放水口近傍に蟻集するギンガメアジ

このギンガメアジについて、発電所周辺海域における分布場所の水温の季節変化を整理し、室内実験によって求めた本種の最終選好温度（約30℃）と比較しました。



第6図 発電所周辺海域におけるギンガメアジの分布場所の水温と最終選好温度の比較

第6図に、発電所周辺海域の水温と同海域におけるギンガメアジの分布場所の水温（図中の円の中心）、出現個体数（円の面積）の季節変化、および本種の最終選好温度を示しました。ギンガメアジは、発電所周辺海域の水温が本種の最終選好温度よりも低い時期（10～6月）、および温排水放水口近傍の水温が最終選好温度と同等になる時期（7～8月）には放水口近傍に蟻集しますが、放水口近傍域の水温が最終選好温度を大きく上回る9月においては、より水温の低い場所にまで分布域が拡大する傾向が見られました。

今後の課題

このように、実際の発電所周辺海域においても、魚類が最終選好温度を基準として行動していることを概ね支持する結果が得られており、最終選好温度を求めることによって、海水温度の上昇に対する魚類の行動（選好あるいは忌避）をある程度予測することができると考えられます。しかし、実際の海域における魚類の行動には、温度以外の多くの要因が関与しており、海水温度の上昇への反応行動を選好温度のみで即断することはできません。ギンガメアジについても、その後の行動追跡調査によって、夏～秋季には、昼間は放水口近傍に分布するが、夜間は索餌のために放水口前面海域を広く遊泳することが判明し、昼夜によって行動を規定する要因が異なること（昼間は水温、夜間は餌生物の分布）が示唆されています。

今後、海水温度の上昇による魚類行動の変化の予測の精度を高めるには、温度以外の要因の影響を把握することが不可欠であり、また、発育段階や日周期、年周期等による温度反応行動の変化も考慮する必要があります。そのために、さらに室内実験と現場における実証的調査を適切に組み合わせて実施していくことが望まれます。

なお、本稿でご紹介した成果は、主に通商産業省資源エネルギー庁および経済産業省原子力安全・保安院の委託を受けて実施した実験・調査によって得られたものです。

（中央研究所 海洋環境グループ 三浦雅大）

参考文献

土田(2002). 沿岸性魚類の温度選好に関する実験的研究. 海生研研報, No.4: 11-66