

助成年度：平成3年度

[所属] 鹿児島大学 水産学部
[役職] 教授
[氏名] 川村 軍蔵 (坂本 亘)

[課題]

琵琶湖の藻類と放線菌が産出する異臭汚染物質に対する魚の感応閾値と汚染水域内の魚の挙動

[内容]

琵琶湖では1960年から藻の発生が顕著になり、1960年に京都で初めて水道水のカビ・泥臭が問題になった。このカビ・泥臭の原因物質は、水源となる湖沼や貯水池に増殖する藻類や放線菌類によって産生される第二次代謝産物であるジオスミンと2-メチルイソボルネオール (MIB) であり、これらの異臭物質の産生は水環境の富栄養化と無関係ではないことはよく知られている。

一方、ジオスミンとMIBは淡水域だけでなく沿岸水や汽水域でも産生され、世界各地でこれらの水域の魚介類にカビ・泥臭がついて商品価値が失われるという産業上の問題が生じている。原因生物の発生と分布は比較的局所的でありながら、移動性のある魚類がなぜこれらの異臭原因物質に汚染されるのか興味深い。

本研究は、ヒトには悪臭であるジオスミンとMIBに魚が感応するのか、感応するならばその感応閾値はどれ程で魚はこれらの物質を忌避するのか、あるいは逆にこれらの物質に誘因されるのかを、実験室における感覚整理と行動の実験および琵琶湖の異臭汚染水域における魚の行動追跡実験によって明らかにし、魚の異臭化の行動学的機構を知ることが目的とする。

I. 感応閾値と水槽内の反応行動

[感応閾値]

ジオスミンとMIBの受容器として嗅上皮、味蕾、側線系遊離感丘のいずれも可能性をもっており、本研究では、受容器を特定できない場合に有効である心拍変化を指標にする方法を用いて感応閾値を調べた。材料魚として、安静時の心拍頻度が比較的安定していて感覚器の形態がよく知られているティラピア *Tilapia nilotica* (45-65g) を用いた。

飼育水槽水を連続流入させている暗箱に心電図記録用の電極を体内に埋め込んだ実験魚を入れて馴致させた後、暗箱に種々の濃度 (10^2 - 10^{-5} ng/l) のジオスミンあるいはMIBを100ml注入したときの心電図を記録した。

ティラピアはジオスミンおよびMIBの刺激によって明瞭な心拍頻度の低下を示し、それらへの感応閾値は、実験水温 26.0-27.5°C で、ジオスミンに対しては 0.005ng/l、MIB に対してはこれよりも低い 0.0001ng/l であった。嗅上皮を除去した場合でも反応を示したが、それぞれ 0.5ng/l と 0.001ng/l に閾値が上昇した。これは、ジオスミンとMIBの受容に嗅覚が関与しており、他の感覚器より嗅上皮の感度が高いことを示している。この実験と並行して行われた嗅覚神経応答と味覚神経応答の記録によって、ジオスミンとMIBは嗅覚物質であると同時に味覚物質でもあることは確認されている。その他の受容器としては側線系遊離感丘の可能性はあるが、これはまだ確認されていない。

ティラピアの嗅覚感度を既知のヒトの嗅覚感度と比較するとジオスミンでは3千 - 4千倍、MIBでは1万 - 4万倍ティラピアの方が高いことになる。

[反応行動]

逆Y字形の流路選択水槽と浅い四角形の静水水槽で、ジオスミンあるいはMIBを注入した汚染区と対照区

をつくり、テイラピアの反応行動を調べた。いずれの水槽でもテイラピアは汚染区と対照区で滞留時間は等しく、汚染区では忌避反応がみられず、また異臭物質に誘因もされなかった。

以上のことから、魚はジオスミンと MIB に極めて高い感度をもちながらこれらを忌避せず異臭化水域に滞留するために異臭化すると考えられる。

II. 琵琶湖における内部静振と魚の挙動

魚のジオスミンと MIB に対する反応行動は、水槽内では魚の緊張状態で行われるので、最終的には湖で調べる必要がある。しかし、環境条件を制御しない自然状態では、魚は異臭物質だけでなく様々な刺激環境のなかで行動しているはずで、これらの環境要因を把握しておかないと異臭物質との関係を明らかにできない。琵琶湖では魚の行動に影響を及ぼす種々の要因のなかで特に重要なのは水温と考えられる。

琵琶湖では南湖と北湖とで、両方の境界域を中心に複雑な混合が行われている。混合は成層期に特に興味深い現象をもたらし、その影響は生物の行動にも及ぶものと思われる。琵琶湖の環境を考える上で内部静振が極めて重要であると思われ、近年この内部静振が物質輸送について果たす役割に目が向けられている。その機構として、北湖の 8-15m 深に発生した内部静振が北湖から南湖に波及し、北湖の深層水が南湖の湖底にそって流入することがあげられている。この現象は北湖の密度躍層と南湖の底深とが一致したとき顕著になり、内部静振の越波とよばれていて、越波は南湖底の物質を北湖の中層に輸送する可能性がある。

対象生物として、琵琶湖で最も大きく成長するビワコオオナマズを選んだ。この魚は、梅雨期を中心に深い方から特定の岸に近付き密集して産卵する。この現象と内部静振とになんらかの関係が見いだせそうであるが、実際に湖の環境要因と生物行動とを関係づける研究手法はまだ未開発であるので、本研究を遂行するためには新手法の開発が必要である。たとえば水温の鉛直構造にしてもその時間的変化を長期にわたって間隔を密にして測定しなければならないし、生物行動にしても生きた個体を入手してその行動を追跡する手法を開発しなくてはならない。本研究においては、環境要因と生物行動とをむすび付ける手段として、生物に装着可能かつ環境も測定可能な超小型データロガを考案した。そのいくつかはビワコオオナマズに装着して、個体が自由に遊泳している時に会う水温変化や深度変化を記録し、もう一方では一定点で間隔を密にして長時間水温記録するのに用いた。最終的には安定成層の形成過程とその内部静振の発達、内部静振の南湖への伝わりかた、静振にともなう南湖での環境変化などを理解した上で、それらと異臭汚染物質が生物行動に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。以上のことから琵琶湖における研究を 1) 超小型データロガの開発、2) 一定点における水温環境の測定、3) ビワコオオナマズに装着して行動を追跡するという三つの方向から進めた。

[データロガの開発]

データロガは 2 回目の製品から現場で用いられるようになった。現在使用しているものはさらに小型化改良したもので、記憶容量 32000 データ分、水中光、水深、水温の 3 種のセンサーと、幅 12mm 長さ 100mm の基盤上に配列された IC で構成されていて、生物にも装着可能である。信号はアナログ型としてセンサーから伝えられ、増幅回路を経て論理回路により数値化され、所定の時間間隔ごとにその瞬間値が記憶素子の中に収納されるしくみである。記録の読み取りはパーソナルコンピュータで可能で、記録計とコンピュータとの相互の通信を可能にするためのインターフェイスとコンピュータを作動させるためのソフトを記録計と同時に開発しておいた。

[水温環境設定]

1992 年 3 月から水深 40m の定点において、1m 間隔でデータロガ水温計を鉛直的に湖底まで取り付け 3 月末から 10 月中旬まで測定を行った。測定時にはデータ収容容量が限度に達するごとに新しい装置を交換した。長期間測定用のサーミスタチェーンについては、まだ記録計からのデータ読み取りを継続している。

4 月 20 日以後の水温変化について水深 15m 層に着目すると、安定成層が振動を始めるのは 6 月 8 日からで、約 90 時間周期の振動が 3 回にわたって記録された。一方、この年琵琶湖においてビワコオオナマズが初めて産卵場に集群したのは、6 月 8 日深夜からであり、集群が最初の大きな内部静振に対応しているのは興味深い。

[行動追跡]

ビワコオオナマズが捕獲される時期は限られており、5月～9月である。実験もこの時期に行う必要があったが、データロガの開発が間にあわず、第一回目の予備実験は1991年11月になった。記録計の装着部位は、左右の胸鰭第一刺の骨にドリルで微細な穴をあけ、記録計を糸で装着した状態が最も安定していた。プールでデータロガ装着実験を行った結果では、記録計が大きすぎて5日後には脱落してしまったが、プールの水温記録結果は良好であった。しかし琵琶湖における実験はまだ実施していない。

現在、さらに小型化したデータロガと併用してピンガーを装着してビワコオオナマズの移動追跡と記録計回収を次年6月に実施できるよう、開発試験と予備実験をくりかえしている。