

クロコ期から黄ウナギ期のニホンウナギに及ぼす磁力の影響

九州工業大学工学部 学生会員 ○武田一輝

九州工業大学大学院 正会員

鬼束幸樹

1. はじめに

迷入防止対策は魚が上りやすい川づくりにおける重要な付帯事項である。そこで、魚道や施設の改善と同時に迷入防止対策として光、気泡、電気、磁力などを用いた魚類の行動制御が試みられてきた。Cresci<sup>1)</sup>はヨーロッパウナギが回遊を行う際に、遠洋では月と磁気を利用し、沿岸では化学物質と磁気を利用し、河口では匂い、塩分、水流、磁気を利用すると述べ、回遊する際に複数の感覚能力を使い分けしていることを指摘した。Nishi & Kawamura<sup>2)</sup>は地磁気とコイルで発生させた地場で形成された磁場を有する実験室内でニホンウナギの心拍数を計測し、地磁気の約4倍の磁界において心拍数が低下することを解明した。以上のように、磁力を用いたウナギの行動制御に関する研究は試みられてはいるが、ウナギの全長を変化させた検討はほとんどない。本研究では、地磁気に対する人工磁場の大きさを0~12倍、ニホンウナギの全長を150~300mmに変化させて、ニホンウナギに及ぼす磁力の影響を検討した。

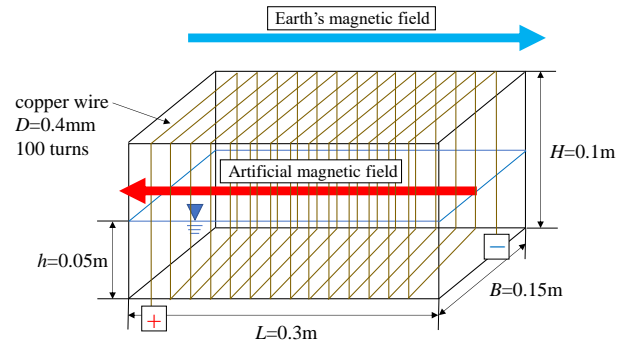


図-1 実験装置

表-1 実験条件

Magnetic flux density $B_m/B_g$	Total length of <i>Anguilla japonica</i> $\bar{T}_L$ (mm)			
	150	200	250	300
0	B0-150	B0-200	B0-250	B0-300
1	B1-150	B1-200	B1-250	B1-300
3	B3-150	B3-200	B3-250	B3-300
5	B5-150	B5-200	B5-250	B5-300
8	B8-150	B8-200	B8-250	B8-300
10	B10-150	B10-200	B10-250	B10-300
12	B12-150	B12-200	B12-250	B12-300

2. 実験装置および実験条件

図-1に実験装置の概要を示す。実験には長さ $L=0.3m$ 、幅 $B=0.15m$ 、高さ $H=0.2m$ の水槽を用いた。テフロン加工の銅線(直径0.4mmの線)を100回巻いたソレノイドコイルを作成し、水槽に巻き付けるように設置した。

表-1に実験条件を示す。ソレノイドコイルに直流電流を流して水槽内に磁場を発生させた。電流を変化させることで水槽内の磁場の大きさを調節した。発生させた磁場の向きは、地磁気に対して逆向きであった。なお、日本の地磁気は約50000nTである<sup>3)</sup>。人工地場 $B_m$ を地磁気 $B_g$ に対して、0, 1, 3, 5, 8, 10および12倍の7通り、全長 $\bar{T}_L$ を150, 200, 250および300mmの4通りの計28ケースの実験を行った。ケース名は磁場の大きさと全長を組み合わせた表記とし、例えば、人工磁場が地磁気の0倍で全長150mmのケース名は「B0-150」である。水槽内に1尾のニホンウナギを挿入し、1分間撮影した。各ケース5回、合計140回の実験を行った。撮影後、ニホンウナギの鰓の振幅を目視で確認し心拍数を計測した。

シラスウナギの段階で捕獲され、その後、蓄養されたクロコ期から黄ウナギ期に相当する養殖ウナギを2022年4月に株式会社丸翔から入手した。ウナギの蓄養適温が20~28°Cであるため蓄養水温を20°Cに設定し、照度を5~25lxに保って約5カ月間蓄養した。蓄養中は配合飼料を与えた。本実験の実験水温は20°Cに設定し、カルキ抜きした水道水を水槽に入れた。魚類の行動は3次元的であり、本来極力境界の制約のない状態で実験を行うことが望ましい。しかし、魚の行動特性は2次元的な挙動すら十分に解明されておらず、現在のところ基本的な2次元挙動を解明する目的で水深を0.05~0.1m程度に設定する場合が多い。本実験でもそれらの値を踏襲し、水深を $h=0.05m$ とした。

3. 実験結果および考察

(1) 心拍数

図-2に磁場の大きさ $B_m/B_g$ の変化に伴う1sあたりの心拍数 $n$ を全長 $\bar{T}_L$ 別に示す。すべての全長 $\bar{T}_L$ において磁場が大きくなるにつれて心拍数 $n$ は一度低下し、磁場の大きさ $B_m/B_g=3\sim 8$ 倍で最も低い心拍数 $n$ を示した。それ以降は磁場の大きさ $B_m/B_g$ が大きくなるにつれて心拍数 $n$ は増加傾向であった。全長 $\bar{T}_L$ 別に比較すると、各磁場において全長 $\bar{T}_L$ の増加に伴い心拍数 $n$ が低下した。

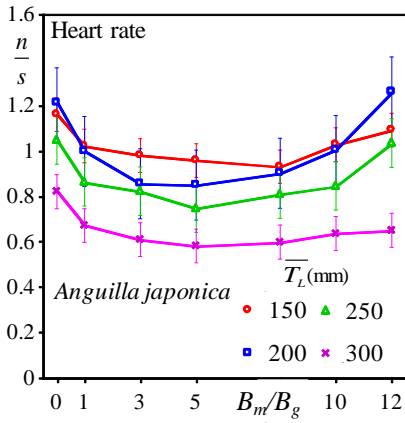


図-2 心拍数

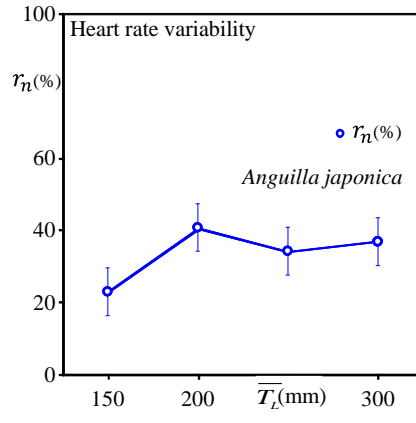


図-3 心拍数変化率

(2) 心拍数変化率

図-2 より, 全長  $\bar{T}_L$  別に  $B_m/B_g=0\sim 12$  倍の磁場における最大値  $n_{max}$  と最小値  $n_{min}$  との差を平均値  $n_m$  で除した  $(n_{max} - n_{min})/n_m$  を求め, 心拍数変化率  $r_n$  とした. 図-3 に全長  $\bar{T}_L$  の変化に伴う心拍数変化率  $r_n$  を示す. 全長  $\bar{T}_L=150\text{mm}$  が最も低く, 全長  $\bar{T}_L=200\sim 300\text{mm}$  においては同程度の値を示した.  $\bar{T}_L=200\text{mm}$  においてやや高い値を示すが, 全体的な増加傾向が確認できるため, 全長  $\bar{T}_L$  の増加に伴い磁力の影響が大きくなると思われる.

(3) 心拍数時間変化

1 回 60s の実験での心拍数を 20s ごとに区切り, 各区間で平均の心拍数  $n_t$  を求めた. 図-4(a)~(d)に心拍数の時間変化を磁場の大きさ  $B_m/B_g$  別に示す. 全長  $\bar{T}_L=200\text{mm}$  を除く全てのケースで 60s を通して多少のばらつきは示したが同程度の心拍数を示した. 一方で全長  $\bar{T}_L=200\text{mm}$  に関しては, 時間  $T$  または磁場の大きさ  $B_m/B_g$  別に見ても大きなばらつきを示した. しかしながら, 全長  $\bar{T}_L=200\text{mm}$  のみでばらつきを生じた原因は現在のところ明らかではない. 以上より, ニホンウナギの心拍数の時間による変化特性は明確には確認できなかった.

4. おわりに

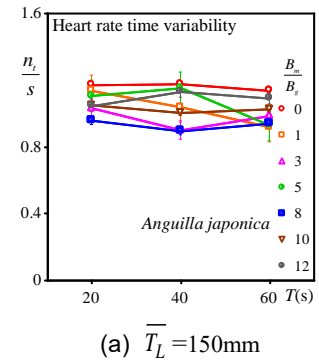
本研究では, 地磁気に対する人工磁場の大きさを 0~12 倍, ニホンウナギの全長を 150~300mm に変化させて, ニホンウナギに及ぼす磁力の影響を検討した. その結果, 以下の知見を得た.

- (1) 全長 150~300mm のニホンウナギは磁場の増加に伴い心拍数が減少し, 地磁気の 3~8 倍で最小値を示す. 以降は磁場の増加に伴い心拍数は増加する.
- (2) 全長 150~300mm のニホンウナギは全長 200mm 以上で全長の変化に伴う心拍数変化率がほとんど一定である, もしくは全長の増加に伴いニホンウナギが受ける磁場の影響が大きくなると思われる
- (3) 全長 150~300mm のニホンウナギは磁場を受ける時間による心拍数の変化に特性がないと思われる.

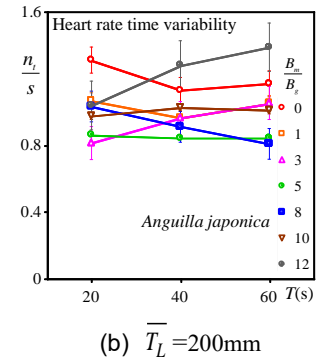
謝辞: 本研究で用いた実験魚を無償提供していただいた株式会社丸翔に謝意を表す.

参考文献

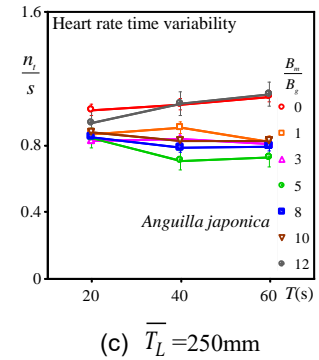
- 1) Cresci, A.: A comprehensive hypothesis on the mi-gration of European glass eels (*Anguilla anguilla*), *Biological Review*, Vol.95, No.5, pp.1273-1286, 2020.
- 2) Nishi, T. and Kawamura, G.: *Anguilla japonica* is al-ready magnetosensitive at the glass eel phase, *Journal of Fish Biology*, Vol.67, pp.1213-1224, 2005.
- 3) 地磁気測量 HP: 地磁気計算サイト, 国土地理院



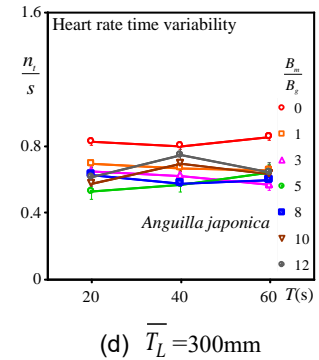
(a)  $\bar{T}_L=150\text{mm}$



(b)  $\bar{T}_L=200\text{mm}$



(c)  $\bar{T}_L=250\text{mm}$



(d)  $\bar{T}_L=300\text{mm}$

図-4 心拍数時間変化