

コイの遊泳時の心拍数変化と回復過程

伊東裕子, 秋山清二, 有元貴文*

(2002年7月12日受付, 2002年10月15日受理)

¹東京水産大学海洋生産学科Heart rate change during exercise and recovery for carp *Cyprinus carpio*

HIROKO ITO, SEIJI AKIYAMA AND TAKAFUMI ARIMOTO

Department of Marine Science and Technology, Tokyo University of Fisheries, Minato, Tokyo 108-8477, Japan

The heart rate change during swimming exercise and recovery for carp *Cyprinus carpio* was measured by electrocardiogram observation. Heart rate increased significantly during exercise at higher speeds of 2–5 BL/s. The maximum value was 2.7 times the control value, while the rate of increase was not proportional to the swimming speed.

The heart rate after exercise decreased to the control level for recovery in a short time at lower speeds. The time for recovery after exercise was extended with increase of swimming speed over 3 BL/s. Under the condition of exercise duration for 60 min, the heart rate and the recovery time showed a similar response to those in the condition for 10 min exercise.

キーワード：心拍数, 遊泳運動, 回復過程, コイ, 心電図

魚類の遊泳運動は、漁具からの回避能力や採餌能力などに関係し、生存に大きく関与する重要な機能の一つである。この遊泳運動に関しては多くの研究成果が報告されており、普通筋と血合筋の機能分業と関連させて速度別の遊泳耐久時間の推定が行われてきた。Tsukamoto *et al.*¹⁾は16魚種について、遊泳速度と遊泳持続時間から遊泳曲線を求め、遊泳能力の比較を行った。また、遊泳速度別の筋肉の活動状況や、²⁻⁵⁾筋収縮時間から推定した生理学的な最大遊泳速度の推定結果が報告されている。⁶⁾

一方、遊泳時の生理状態に関する研究も報告され、遊泳速度の増加に伴って酸素消費量が増大することが知られている。⁷⁻¹²⁾また、遊泳中の心拍数増加も報告されており、¹¹⁻¹⁹⁾心拍数の増加に伴う酸素消費量の増大についても調べられている。^{11,12,18)}

一方、漁獲技術に関する論文のなかで、必要な魚種・魚体だけを選択的に、効率よく漁獲するため、漁獲対象魚ならびに非対象魚の遊泳運動に関する知見を応用する提案がなされている。^{6,20)}その際、漁獲過程において逃避した個体については、強制的な遊泳による運動負荷を受けていることが想定され、それに伴う疲労やその後の

回復といった生理的観点から検討する必要がある。しかし、これまでの報告では、遊泳中の生理的变化の把握に重点が置かれ、遊泳後の回復過程に関しては変化の観察にとどまっており、^{7,13,14)}その変化量や回復に関する解析がなされている例は少ない。¹⁶⁾そこで、本研究ではコイ *Cyprinus carpio* を用いた心電図測定に関する実験をもとに、遊泳時及び遊泳後の心拍数変化を指標として、遊泳速度と遊泳時間による運動負荷量と心拍数ならびに遊泳後の回復過程に関する検討をおこなった。

材料および方法

1998年5月～1999年10月にかけて東京水産大学魚群行動学研究室において実験を行った。実験魚には活魚販売業者より入手したコイ（体長11.2～13.2 cm, 平均12.3 cm）25尾を使用した。回流水槽を用いて強制遊泳を行わせ、心電図測定によって遊泳前、遊泳中、そして遊泳後の心拍数変化を測定した。

心電図導出用の電極として、エナメル絶縁処理を施した直径0.4 mm, 長さ約10 mmの2本のステンレス線（MT技研製）を使用し、リード線にはXBTプローブ線を用いた。装着方法は難波ら²¹⁾の方法に準拠し、

* Tel : 81-3-5463-0470. Fax : 81-3-5463-0360. Email : tarimoto@tokyo-u-fish.ac.jp

FA100 水溶液 (400 ppm) で麻酔した実験魚の囲心腔に体表から電極を挿入し、2本の電極先端で心臓を挟むように装着した。得られた心電図波形は生体電位増幅器 (日本光電 AB-632J) を通して、デジタルストレージスコープ (岩通電子 DS-6612C) で表示、記録した。

電極の装着後、手術時の影響から回復させるために15時間以上おいてから実験を行った。実験水槽には Fig. 1 に示す小型回流水槽 (西日本流体技研製、観測部 70×30×20 cm, 流速範囲 0.1~2.0 m/s) を用いた。実験魚を観測部に収容し、30分以上順応させた後、遊泳

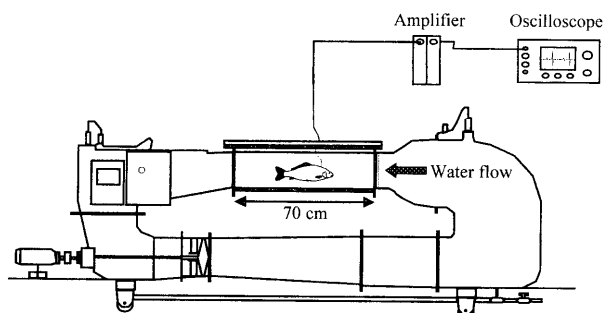


Fig. 1. Arrangement of experimental apparatus for electrocardiogram monitoring, during the swimming exercise and recovery in a flume tank with a swimming chamber of 70×30×20 cm, for a flow range of 0.1–2.0 m/s.

前の平常時の心拍数を10分間計数した。次に、流水中で強制遊泳させ、遊泳時の心拍数を10分間計数した。最後に、流水を停止して、遊泳後の心拍数を60分間計数した。遊泳速度は予備実験の結果をもとに、10分間の遊泳を続けられる速度の上限までを設定し、1, 2, 3, 4, 5 BL/s の5段階とした。また、遊泳時間を延長して60分間とした場合については、1, 2, 3 BL/s の条件で遊泳時の心拍数増加と遊泳後の回復過程を観察した。各速度段階について、実験魚を換えて3~4回の実験を行った。なお、途中で観測部後端の金属製網地に張り付いて遊泳不能となった場合には、直ちに流水を止めて遊泳後の心拍数の計数を開始した。実験時の水温は平均 23.4 °C であった。

遊泳時の心拍数変化について、平常時の心拍数が実験魚によって異なることから、実験結果を互いに比較するため、相対心拍数を次式から求めて標準化を行った。

$$\text{相対心拍数} = \frac{\text{遊泳時平均心拍数}}{\text{平常時平均心拍数}}$$

この相対心拍数は平常時の平均心拍数1に対する相対値で表され、相対心拍数が1の場合には平常時に対して変化がなかったことを意味し、1より小さい場合は心拍数の減少を、大きい場合は増加を示す。

また、遊泳後の心拍数について、5分ずつの移動平均を求め、この平均が平常時の最大心拍数以下に減少した時間を回復時間と定義し、遊泳速度、遊泳時間との関係

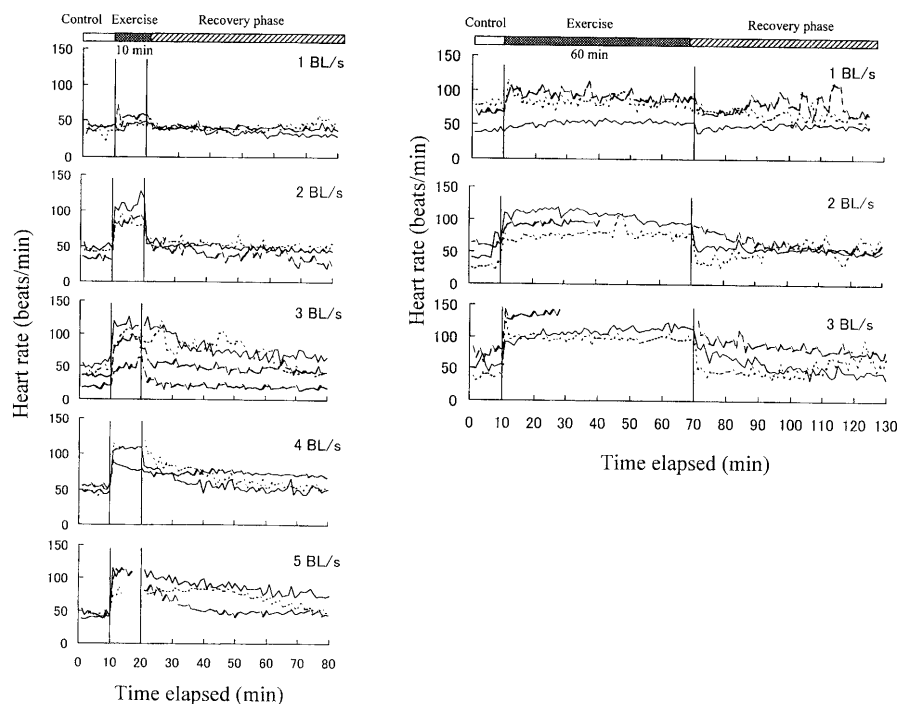


Fig. 2. Heart rate change of carp. Different lines represent data for different individuals. The cases of interrupted line show the data of fish unable to keep swimming during exercise.

を検討した。

結 果

心拍数の経時変化を Fig. 2 に示す。遊泳開始前の平常時の心拍数は実験魚によって異なり、平均 20~78 回/分とばらついていた。遊泳時間 10 分の条件において、遊泳速度 1 BL/s では平常時、遊泳時、遊泳停止後と同じレベルであり、大きな心拍数変化はみられなかった。2 BL/s では、遊泳を開始すると同時に急激な心拍数の増加がみられ、最大心拍数は 92~128 回/分となった。遊泳後の心拍数変化については遊泳停止とともに大きく減少し、平常時レベルへの早期の回復が確認された。3 BL/s では、2 BL/s の場合と同様に遊泳時に心拍数は急激に増加し、最大 65~126 回/分となった。しかし、遊泳後の心拍数は、早期に回復する個体と、回復に時間がかかる個体に分かれ、60 分以内では回復しない個体も 1 例みられた。なお、遊泳中 9 分目で遊泳不能となった 1 個体については、遊泳後の心拍数回復が遅れる傾向にあった。4 BL/s の場合、10 分間の遊泳中に遊泳不能となった個体が 1 例みられた。遊泳時の心拍数は全体に高く、最大 90~114 回/分となり、また、遊泳後は心拍数の回復に時間がかかる傾向にあった。5 BL/s の条件では、すべての個体が途中で遊泳不能となり、遊泳時の心拍数は最大で 84~115 回/分であった。遊泳後の心拍数については、60 分以内で回復しない場合が顕著にみられた。

遊泳時間を 60 分と延長した場合、1 BL/s の低速でも遊泳時に心拍数の増加が認められたものの、平常時の 1.1~1.4 倍と増加割合は小さく、遊泳後はすぐに減少して平常時レベルに回復する傾向にあった。2, 3 BL/s では、遊泳時間 10 分の場合と同様に、遊泳時に心拍数が急激に増加して最大 99~140 回/分となり、遊泳中の 60 分間にわたって高いレベルに維持される傾向にあった。2 BL/s で 31 分目、3 BL/s で 18 分目に遊泳不能となった個体があった。遊泳後は心拍数が徐々に減少し、全体的に遊泳時間 10 分の場合と同様の傾向となった。

遊泳速度と相対心拍数の関係を Fig. 3 に示す。いずれの遊泳速度でも相対心拍数は 1 以上の値をとり、遊泳時に心拍数が増加したことが示された。しかし、遊泳速度 1 BL/s の場合には、相対心拍数は 1~1.3 の範囲にとどまっており、心拍数の増加はわずかであった。それに対して、2 BL/s の速度では 1.9~2.6, 3 BL/s では 2.1~2.6, 4 BL/s で 1.5~2.3, 5 BL/s で 1.6~2.7 の値をとり、1 BL/s に比べて顕著な増加がみられた ($P < 0.05$)。しかし、遊泳速度が増しても心拍数の最大値には限界がみられ、遊泳速度 5 BL/s の場合でも相対心拍数は 2 BL/s での結果と有意差はなく ($P > 0.05$)、同程度にとどまった。また、遊泳時間を 60 分とした実験で

は、相対心拍数は遊泳速度 1 BL/s で 1.1~1.4, 2 BL/s で 1.5~2.7, 3 BL/s で 1.8~2.6 であり、10 分の場合と同程度であり、この速度範囲では、遊泳時間を長くしても有意差はみられなかった ($P > 0.05$)。

遊泳後の心拍数について、遊泳速度と回復時間の関係を Fig. 4 に示す。遊泳速度 1 BL/s ではおおむね 5~20 分で回復したのに対し、2 BL/s になると 6~43 分と回復に時間がかかるようになった。3 BL/s 以上の場合には回復時間は個体によって大きくばらつき、60 分間経過しても回復のみられない個体が観察され、遊泳速度の増加に伴って回復が遅れる傾向が顕著にみられた。また、遊泳時間を 60 分とした場合、1 BL/s で 5 分、2 BL/s で 5~23 分、3 BL/s で 8~36 分で回復しており、これらの速度段階では遊泳時間 10 分の場合よりも回復に時間のかかるという傾向はみられなかった。

平常時の心拍数について、実験魚によってばらつきが大きかったことから、この違いが遊泳時の心拍数増加に及ぼす影響について検討した。Fig. 5 に平常時の平均心拍数と遊泳時の相対心拍数の関係を示した。遊泳速度 1

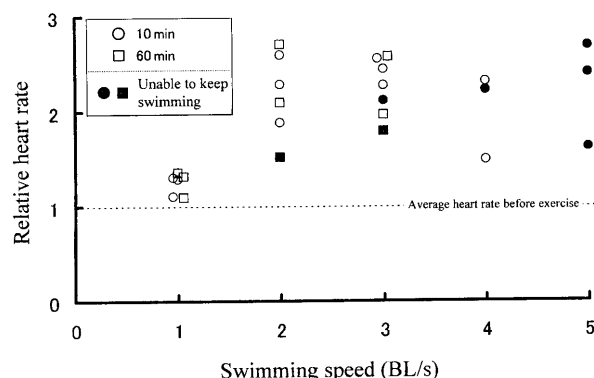


Fig. 3. Relative heart rate during exercise for carp with swimming speed. The relative heart rate value is given as the ratio to the average before exercise.

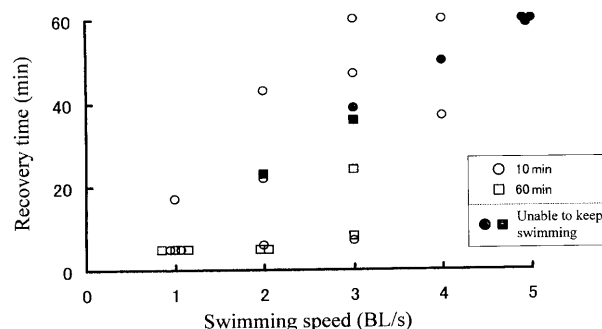


Fig. 4. Recovery time for carp with swimming speed. The recovery time is defined as the time taken for the moving average heart rate for five minutes to decrease below the maximum heart rate before exercise.

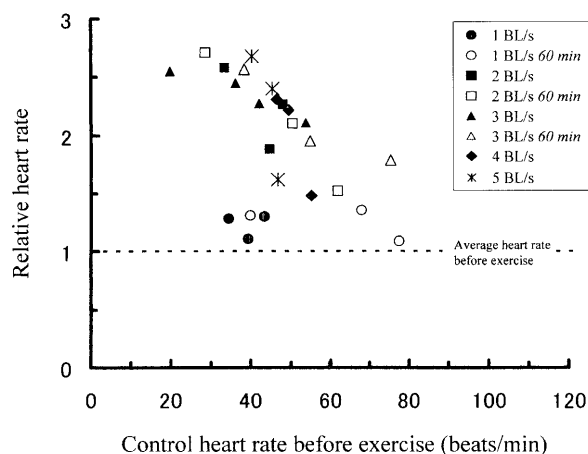


Fig. 5. Relationship between relative heart rate and average heart rate before exercise as a control.

BL/s の場合には、遊泳時間 10 分、60 分ともに 1~1.5 の範囲内に全ての実験魚の値が分布しており、平常時の心拍数によらず、心拍数の増加が小さかったことが示されている。2~5 BL/s の場合には、平常時の平均心拍数が最小の 20 回/分の場合、相対心拍数は 2.6 と高い値であるのに対し、50 回/分では 2.2、最大の 75 回/分では 1.8 であり、平常時の心拍数が大きいほど相対心拍数の値が小さい傾向にあった。すなわち、平常時の心拍数が高い場合、遊泳時の心拍数の増加割合が小さくなる傾向にあり、遊泳速度、遊泳時間による違いは認められなかった。

考 察

平常時の心拍数について、実験魚によってばらつきがみられたが、実験水槽へ移してから順応時間を延長して観察した場合もそれぞれの心拍数に変化はみられず、また、他の魚種について、本実験のように実験魚を拘束せずに自由遊泳状態で観察した場合、個体や魚の状態によって心拍数が異なる結果が報告されており、^{15,19,22)} 実験条件の設定や取り扱いによる影響よりも、個体差による影響が大きかったものと判断した。

遊泳時の心拍変化に関して、遊泳時に心拍数は増加し、¹³⁻¹⁸⁾ その増加割合は遊泳速度に伴うとの報告がある。^{17,19)} また、一方では、遊泳時の心拍数の増加割合は遊泳速度に比例するものではなく、ある速度以上ではほぼ一定になるとも報告されている。^{15,16)} 本実験においては、遊泳速度 2 BL/s 以上の場合に心拍数が急激に増加したものの、相対心拍数は速度に関わらずほぼ一定となり、増加割合は速度に比例しないとする後者の結果と一致した。心臓は遊泳運動による筋肉やその他の器官の酸素要求を充たすように血液を循環させる必要があり、そのため遊泳時には心拍数の増加が起こったものと考えら

れる。しかし、心拍数は本来、副交感神経の抑制と、交感神経の促進作用により調節されている。Priede¹⁶⁾はこの抑制作用を及ぼす副交感神経を切断したニジマスを用いて、遊泳時の心拍変化を観察している。その結果、心拍変化は不安定となり、平常時の心拍数が遊泳時と同程度まで増加する例がみられた。しかし、正常な魚が遊泳時に示した心拍数以上に増加することはなかったとしている。一方、神経による調節を受けていない摘出心臓の場合、心筋の収縮時間は生体のそれよりも短く、より速い拍動が可能である。つまり生体では、心筋の収縮能力に余裕を残した状態で心臓は拍動しており、心拍数が無制限に増加するとは考えられない。²³⁾ 平常時の心拍数と遊泳時相対心拍数に負の関係が認められた本実験の結果からも、平常時の心拍数が高ければ増加割合は小さくなる、すなわち増加に限度があることが示された。これらのことから、遊泳運動の負荷によって増加する心拍数も、ある遊泳速度になると限界近くに達し、そのためにそれ以上に遊泳速度が速まってもさらに心拍数が増加することはないものと考えられた。

遊泳後の回復過程について、Priede¹⁶⁾は 50% 回復時間を求め、遊泳速度の上昇に伴って延長し、特に心拍数の増加がほぼ一定となる遊泳速度以上で急激に延長することを明らかにした。このことについて、遊泳運動によって増加した酸素要求に対して、供給が足りずに生じる酸素債が影響し、呼吸と代謝のつり合いがとれなくなったためと推察している。魚類の遊泳運動について、塚本、²⁴⁾ Tsukamoto⁴⁾がブリに関して、筋出力、酸素消費量など遊泳速度に伴う諸変化を提示し、遊泳速度と筋肉の機能分業について報告している。それによれば、低速遊泳にあたる持続速度では血合筋による好氣的代謝を行っているために疲労しないが、高速遊泳である突進速度では普通筋主体となり、嫌氣的代謝によるエネルギー供給のために酸素債が大きく、ごく短時間で疲労する。そして中間速度では血合筋が主体ではあるが普通筋も活動しているため、酸素債が現れ始め、時間経過に応じていつかは遊泳不能になるとしている。コイの場合、普通筋を使い始める速度は 40 cm/s とされている。²⁵⁾ 本実験において、3, 4, 5 BL/s は普通筋も利用している中間速度と考えられる。また、2 BL/s で心拍数の増加はすでに限界に達していることから、3 BL/s 以上では酸素債の伴うことが推察され、疲労が生じ始めたものと考えられる。遊泳速度の増加に伴って回復時間の延長する傾向は顕著であり、特に回復時間が 60 分以上となった個体は、中間速度と考えられる 3 BL/s 以上でみられたことから、遊泳後の回復には普通筋の活動度が大きく影響したものと考えられる。この普通筋の関与と速度との関係については、筋電図による普通筋の活動度の確認が必要である。

なお, 遊泳時間中に遊泳不能となった個体について, 2, 3 BL/s の速度では, 相対心拍数が低く, また, 遊泳姿勢を崩して魚体が流される様子が観察されたことから, まだ余裕のある状態でありながら, バランスを崩して遊泳を停止してしまったものと考えられる。

以上より, 心拍数変化を指標として遊泳運動の負荷量との関係を解析し, 遊泳時の生理状態について考察を行ってきた。その結果, 遊泳運動により心拍数増加が起こるものの, その増加割合は遊泳速度に関わらず上限が認められ, ほぼ一定となることが明らかとなった。また, 遊泳後の回復には心拍数の増加割合よりも遊泳速度が大きく影響し, 運動負荷の影響は遊泳時よりも遊泳後の回復過程に大きく現れることが示唆された。実海域においても, 漁具との遭遇時には高速遊泳による逃避行動をおこない, 激しい運動負荷の加わることが考えられる。本実験結果より, いったんは漁具を回避できた個体が遊泳終了後の回復過程において再び漁具に遭遇した場合には, その後の逃避能力が制限される可能性が高くなるものと推察される。

最後に, 本実験では心電図から観察される心拍数変化のみを指標として解析してきたが, 難波²⁶⁾は遊泳時の心機能について, 心拍数の増加だけでなく心拍出量の増大による調節もなされていると報告しており, 今後は心拍数変化だけでなく, 心拍出量や酸素消費量などの他の生理情報と関連させた総合的な検討が必要と考える。

文 献

- 1) Tsukamoto K, Kajihara T, Nishiwaki M. Swimming ability of fish. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1975; **41**: 167–174.
- 2) Tsukamoto K. Direct evidence for functional and metabolic differences between dark and white muscles in free-swimming yellowtail, *Seriola quinqueradiata*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1981; **47**: 573–575.
- 3) Tsukamoto K. The role of the red and white muscles during swimming of the yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1984; **50**: 2025–2030.
- 4) Tsukamoto K. Contribution of the red and white muscles to the power output required for swimming by the yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1984; **50**: 2031–2042.
- 5) Xu G, Arimoto T, Inoue M. Red and white muscle activity of the jack mackerel *Trachurus japonicus* during swimming. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1993; **59**: 745–751.
- 6) Arimoto T, Xu G, Matsushita Y. Muscle contraction time of captured walleye pollack *Theragra chalcogramma*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1991; **57**: 1225–1228.
- 7) Brett JR. The respiratory metabolism and swimming performance of young sockeye salmon. *J. Fish. Res. Bd. Canada* 1964; **21**: 1183–1226.
- 8) Brett JR. The relation of size to rate of oxygen consumption and sustained swimming speed of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *J. Fish. Res. Bd. Canada* 1965; **22**: 1491–1501.
- 9) Brett JR. The metabolic demand for oxygen in fish, particularly salmonids, and a comparison with other vertebrates. *Respiration Physiology* 1972; **14**: 151–170 (1972).
- 10) Tsukamoto K, Chiba K. Oxygen consumption of yellowtail *Seriola quinqueradiata* in relation to swimming speed. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1981; **47**: 673.
- 11) Claireaux G, Webber DM, Kerr SR, Boutilier RG. Physiology and behaviour of free-swimming atlantic cod (*Gadus morhua*) facing fluctuating temperature conditions. *J. Exp. Biol.* 1995; **198**: 49–60.
- 12) Claireaux G, Webber DM, Kerr SR, Boutilier RG. Physiology and behaviour of free-swimming Atlantic cod (*Gadus morhua*) facing fluctuating salinity and oxygenation conditions. *J. Exp. Biol.* 1995; **198**: 61–69.
- 13) Stevens ED, Randall DJ. Changes in blood pressure, heart rate and breathing rate during moderate swimming activity in rainbow trout. *J. Exp. Biol.* 1967; **46**: 307–315.
- 14) Stevens ED, Randall DJ. Change of gas concentrations in blood and water during moderate swimming activity in rainbow trout. *J. Exp. Biol.* 1967; **46**: 329–337.
- 15) 野村晋一, 茨木弟介, 広瀬 昶, 白旗総一郎: 魚類心電図用テレメーターの応用に関する研究—I. 游泳時の心拍数と心臓反射について. 日水誌 1972; **38**: 1105–1117.
- 16) Priede IG. The effect of swimming activity and section of the vagus nerves on heart rate in rainbow trout. *J. Exp. Biol.* 1974; **60**: 305–319.
- 17) Hanyu I, Tsukamoto K, Yamamori K, Ngan PV, Furukawa K, Hibiya T. Simultaneous recording of physiological information from swimming fish. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1979; **45**: 1261–1265.
- 18) Lucas MC. Heart rate as an indicator of metabolic rate and activity in adult atlantic salmon, *Salmo salar*. *J. Fish Biol.* 1994; **44**: 889–903.
- 19) Korsmeyer KE, Chin Lai N, Shadwick RE, Graham JB. Heart rate and stroke volume contributions to cardiac output in swimming yellowfin tuna: Response to exercise and temperature. *J. Exp. Biol.* 1997; **200**: 1975–1986.
- 20) Wardle CS. Understanding fish behaviour can lead to more selective fishing gears. *Proceedings; The World Symposium on Fishing Gear and Fishing Vessel Designs*. Marine Institute, St. John's. 1988; 12–18.
- 21) 難波憲二, 村地四郎, 河本真二, 中野義久. 魚類の心電図に関する研究—I. 心電図の導出方法の検討. 広島大学水産学部紀要 1973; **12**: 147–154.
- 22) 野村和男, 秋山 勲. 自由游泳時の心電図測定装置の考案. 日水誌 1984; **50**: 959–967.
- 23) Ito H, Akiyama S, Arimoto T. Temperature effect on the function of heart beat for carp *Cyprinus carpio*. *Fish. Sci.* 2002; **68 Supplement**: 465–466.
- 24) 塚本勝巳. 游泳速度と筋活動. 海洋科学 1983; **15**: 189–194.
- 25) Alexander RM. 生物と運動. 「バイオメカニックスの探究」日経サイエンス社, 東京. 1992; 201–206.
- 26) 難波憲二. 運動時の心電図と心臓の働き. 海洋科学 1983; **15**: 232–234.

日本水産学会誌掲載報文要旨

全周型スキャニングソナーによる表層魚群の体積散乱強度の計測方法

湯 勇, 古澤昌彦 (東水大), 青山 繁 (古野電気),
樊 春明 (東水大), 西森 靖 (古野電気)

計量魚群探知機による表層魚群の資源調査は、魚群が船に対して逃避行動を示すなどの問題があり、結果の信頼性が低い。そこで、計量用のソナーの開発が期待される。本研究は、その第一歩として、市販の漁業用全周型スキャニングソナーの定量化を試みる。定量化ソナーシステムを構成し、標準球を用いてソナーの校正を行い、表層魚群の観測実験を行った。受信系から生のエコー信号をコンピュータに取り込み、後処理で、表層魚群のエコーを追跡し、生の体積散乱強度 (SV) を求め、調査船の航走海域における表層魚群の生の SV の分布を表示した。本研究により、ソナーによる表層魚群計測の有効性と、本格的な計量用ソナーの開発の可能性が確かめられた。

日水誌, **69**(2), 153-161 (2003)

アカアマダイ漁獲鮮魚から採取した精巢精子の運動活性と冷蔵保存

藤浪祐一郎, 竹内宏行, 津崎龍雄 (日裁協宮津),
太田博巳 (養殖研)

漁獲され、死亡したアカアマダイ雄成魚の精巢精子の採取方法、運動活性、冷蔵保存方法を検討した。精巢を細かく切断する方法とホモジナイズする方法で精子を採取したところ、後者では運動精子比が有意に低下した。精子を種々の濃度の NaCl 溶液で希釈すると、450 mM で最も高い運動精子比が得られた。この溶液中では 20 分後でも精子は運動を持続していた。冷蔵保存は pH を 6.0~8.5 に調整した人工精漿で精巢精液を 50 倍以上に希釈し、4℃で保存する方法が適していた。

日水誌, **69**(2), 162-169 (2003)

モノクローナル抗体を用いた浮遊性魚卵の同定

大西庸介, 池田知司 (KANSO),

広石伸互 (福井県大生物資源), 沖山宗雄 (東大海洋研)

モノクローナル抗体 (単抗体) 法による魚卵同定の有効性を確認することを目的とし、マダイ卵を抗原として作製した単抗体 (MT-1) を用いて、マダイの種内、類縁種間、および野外採集卵に対する反応性を調べた。MT-1 は親魚の異なるマダイ卵に対し全て陽性反応を示し、類縁種のヘダイ、クロダイ、キダイに対しては陰性反応を示した。また、野外で採取したマダイを除く 8 種類の浮遊性魚卵に対し全て陰性反応を示し、マダイの産卵期を過ぎた 7 月に採取した浮遊性魚卵に対しては全て陰性反応を示した。

以上、MT-1 はマダイ卵に特異的に反応することを確認し、単抗体法は従来同定の困難であった浮遊性魚卵の同定に適用可能な技術であることを明らかにした。

日水誌, **69**(2), 170-177 (2003)

日本の主要な漁港におけるサメ類の種別水揚げ量の推定

松永浩昌, 中野秀樹 (遠洋水研),
石橋陽一郎, 中山健平 (NUS)

日本におけるサメ類の種別・漁法別水揚げ量を明らかにする目的で、主要な漁港で市場伝票整理に基づくサメ類の水揚げ量調査を行なった。製品重量では 1992~98 年の漁法全体で年平均 19,600 トン、延縄で 15,000 トンの内、ヨシキリザメが 11,600 トン (59%), 11,000 トン (73%) であった。更に生体重量に換算した結果、全漁法で年平均 28,700 トン、延縄 23,400 トンとなり、同様にヨシキリザメが 18,800 トン (66%), 17,800 トン (76%) であり、何れの場合も 6~8 割程度がヨシキリザメで占められていた。ヨシキリザメ以外ではネズミザメ、アオザメが 10% 前後、オナガザメ類が 5% 程度と、比較的多く水揚げされていた。また、これら主要種の水揚げ量が減少しているような傾向は見られなかった。

日水誌, **69**(2), 178-184 (2003)

皇居道灌濠における雌性発生ギンブナクロンの識別と分布

前田克明, 西村大介, 前村浩隆 (広大院生物圏),
森島 輝 (北大院水), 張 全啓 (中国海洋大),
海野徹也, 中川平介 (広大院生物圏),
荒井克俊 (北大院水)

1996-1998 年の皇居の上、中および下道灌濠で得たギンブナ 201 個体は三倍体 (196) と四倍体 (5) であり、それらの内、性判別を行った個体はすべて雌であった。DNA フィンガープリント分析の結果、7 クローン (I-VII) が識別され、他に 8 個体が個体特異的パターンを示した。各クロンの出現頻度は年と濠により異なったが、クロン I が最も優占的であった。三倍体クロン I と VI は広島県黒瀬川のクロン 8 と 6 と各々同一であった。三倍体クロン I と四倍体個体の DNA フィンガープリントは酷似し、四倍体は三倍体から生じたものと示唆された。 日水誌, **69**(2), 185-191 (2003)

コイの遊泳時の心拍数変化と回復過程

伊東裕子, 秋山清二, 有元貴文 (東水大)

回流水槽を用いてコイに強制遊泳させ、遊泳時の心拍数変化とその後の回復過程について検討した。遊泳速度 1 BL/s では大きな心拍数変化はなかったが、2~5 BL/s では遊泳時に急激に増加し、最大で平常時の 2.7 倍に達した。しかし、遊泳速度を速めても心拍数の増加割合がさらに増すことはなかった。遊泳後の心拍数は、低速条件では早い段階で平常時レベルまで回復したが、3 BL/s 以上では回復に時間のかかる個体が認められた。遊泳時間を 60 分に延長しても、全体的に遊泳時間 10 分の場合と同様の心拍数変化を示した。

日水誌, **69**(2), 192-196 (2003)