

夏眠期における伊勢湾産イカナゴのへい死条件

山田 浩且・久野 正博

Mortal Condition of Sand Lance *Ammodytes personatus* in Ise Bay during Estivation

Hirokatsu YAMADA and Masahiro KUNO

Mortal condition of Japanese sand lance *Ammodytes personatus* in Ise Bay during estivation was studied under laboratory condition. Effects of nutritional condition before estivation on the mortality of sand lance during estivation were investigated by experiment I. Almost all sand lance could survive when the condition factor was higher than 3.2 before estivation. In the natural estivation grounds, sand lance with smaller condition factor than 3.2 at the beginning of estivation was below 1.9% of the total number of individuals in each year. It suggests that the mortality during estivation due to malnutrition would be very low. In experiment II, effects of water temperature on the mortality during estivation were investigated. Sand lance with low condition factors (3.3 in mean) at the beginning of estivation were kept under various temperature during estivation. Then most sand lance could survive in conditions below 25°C. In the natural estivation grounds, the water temperature during estivation has never been over 25°C in the past. It suggests that the mortality during estivation due to high temperature would be very low. Thus there is little effect of external environment on the mortality of sand lance during estivation.

イカナゴ *Ammodytes personatus* は伊勢湾の重要な漁業資源のひとつである。三重・愛知両県のバッチ網、船曳網船団は、3～5月にシラス期～未成魚期のイカナゴを漁獲し、1漁期当たりの水揚げ金額は10～30億円に及ぶ。

イカナゴは高水温となる夏秋季に、潜砂して活動を停止する夏眠と呼ばれる特殊な生態をもつ。伊勢湾産イカナゴの夏眠期間は6月から12月までの約半年間に及ぶ。この間の漁獲死亡はなく、へい死も少ないと考えられている(柳橋ら, 1997)。また、夏眠期間中に成熟を開始し、夏眠終了後比較的短期間のうちに満1歳で産卵する(柳橋ら, 1997, 山田・久野, 1999)ことから、夏眠までに残り残した当歳魚の大半は、産卵親魚になりうると考えられる。こうした考えに基づき、伊勢湾では再生産関係から求めた必要親魚尾数を確保するという再生産管理型の資源管理を実践している。しかし、こうした資源管理手法の根拠となっている夏眠期間中のへい死が少ないことについては、過去に定量的な評価がなされた例はなく、その詳細は明らかにされていない。

イカナゴは夏眠期間中、全く摂餌せず(山田ら, 1999)、夏眠までに蓄積したエネルギーのみで夏眠期を生き残ることから、夏眠開始期の栄養状態は夏眠期間中の個体維持を左右する重要な要因となりうる。また、イカナゴは冷水起源の魚種であり(橋本, 1991)、夏眠生態は生活圏を温暖域に拡大する際に獲得した適応能力と考えられることから、夏眠期の温度環境、特に高水温が個体維持に及ぼす影響も大きいと推測される。そこで、本研究では飼育実験により、夏眠開始期の栄養状態および夏眠期の水温が、夏眠期間中の個体維持に及ぼす影響について検討した。本研究の一部は、水産庁による“伊勢・三河湾漁場生産力モデル開発基礎調査”の一環として行われた。

材 料 と 方 法

本研究では夏眠開始期および夏眠終了期を、ほぼ100%の個体が潜砂および遊泳を開始した日と定義した。

1. 夏眠開始期の栄養状態と夏眠期のへい死

(飼育実験Ⅰ)

1993年4月13日に伊勢湾内で操業するバッチ網漁船によって漁獲された平均標準体長 7.0 ± 0.6 (標準偏差) cmのイカナゴ未成魚を三重県水産技術センターに搬入し、配合飼料に馴致した後、4月27日から12月24日(夏眠終了期)まで飼育実験を行った。実験開始時の平均体長は 7.1 ± 0.5 cm, 平均体重は 1.34 ± 0.37 g, 平均肥満度は 3.7 ± 0.3 であった。

実験区として、A: 残餌がみられるまで給餌する飽食区(1日1個体当たりの給餌量は魚体重の3~4%), B: 1日1個体当たりの給餌量を飽食区の10%とした10%区, C: 1日1個体当たりの給餌量を飽食区の2%とした2%区の3区を設定した。飼育水槽には2トンFRP水槽を用い、各々にイカナゴを1,600個体収容した。餌料には市販のマダイ種苗生産前期用配合飼料(オリエンタル酵母社製)を使用し、午前(9~10時)および午後(15~16時)の2回に分けて給餌した。いずれの実験区も、三重県水産技術センターの地先から採取した濾過海水を1日当たり8~12回転注排水し、自然光下で飼育した。実験期間中の3区の水温は $12.5 \sim 24.4$ °Cの範囲で変動した。

5月24日には各水槽に夏眠床として粒径1~2 mmの粗砂を敷いたプラスチック製コンテナ(山田・久野, 1999)をそれぞれ4個設置した。夏眠開始期には体長、体重を測定し、肥満度($CF = BW / SL^3 \cdot 10^3$, SL: 標準体長cm, BW: 体重g)を算出した。夏眠開始以降は毎日10時にへい死個体数を計数した。

2. 夏眠期の水温とへい死(飼育実験Ⅱ)

飼育実験Ⅱでは、夏眠開始期において栄養蓄積不良(低肥満度)の個体を対象に、夏眠中の水溫耐性を調べた。

予備飼育 1996年4月27日に伊勢湾内で操業するバッチ網漁船によって漁獲されたイカナゴ未成魚(平均体長 8.9 ± 0.4 cm, 平均体重 3.64 ± 0.50 g, 平均肥満度 5.1 ± 0.3)を三重県水産技術センターに搬入し、1トンFRP水槽に1,200個体収容した。収容時のイカナゴ未成魚は栄養状態が良好で、高い肥満度を示したことから、5月26日までの約1ヶ月間は無給餌で飼育した。無給餌飼育終了時点の平均体長は 8.8 ± 0.4 cm, 平均体重は 2.63 ± 0.40 g, 平均肥満度は 3.8 ± 0.2 であった。

5月27日に、これらのイカナゴを2トンおよび1トン

FRP水槽3基にそれぞれ250個体ずつ収容した。各水槽には夏眠床を1個設置した。夏眠開始は3水槽とも7月8日にみられた。それまでは1日1個体当たり体重の約0.3%の配合飼料を給餌した。その他の飼育条件は飼育実験Ⅰに準じた。予備飼育期間中の水溫は $15.8 \sim 21.9$ °Cの範囲で変動した。

飼育実験 1996年7月8日(夏眠開始)から、3水槽の水溫制御を開始した。実験区として、23°C区、25°C区、27°C区の3区を設定した。予備飼育終了時(夏眠開始直前)の3水槽の水溫は22°C付近にあった。実験開始後は濾過海水の注水量の減少(1日当たり4~5回転)並びにヒーターの使用によって0.5°C/日の勾配で水溫を徐々に上昇させた。設定水溫には23°C区で7月10日に、25°C区で7月14日に、27°C区では7月18日に到達し、以後は一定に保った。飼育実験は天然海域で水溫低下が顕著となる10月上旬まで行った。水溫設定完了から実験終了時までの平均水溫は、23°C区で 23.0 ± 0.3 °C, 25°C区で 25.0 ± 0.3 °C, 27°C区で 26.8 ± 0.4 °Cであった。夏眠中のイカナゴの生理には、水溫より砂中の温度が強く影響する。本研究で用いた夏眠床はエアリフト方式で砂中の間隙水が絶えず循環するよう設計し、飼育水溫と砂中温度はほぼ一致する(山田・久野, 1999)。ここでは砂中の温度と水溫を区別せず、一括して水溫として取り扱った。実験期間中は毎日10時にへい死個体数を計数した

結 果

1. 夏眠開始期の栄養状態と夏眠期のへい死

(飼育実験Ⅰ)

夏眠開始期の栄養状態 夏眠開始期は飽食区(A)で7月10日に、10%区(B)で7月25日に、2%区では8月10日にみられ、既往の知見(柳橋ら, 1997, 山田ら, 1999)と同様に給餌量の減少に伴い、顕著に遅れる傾向を示した。夏眠開始前5日間の平均水溫は、飽食区(A)で 21.0 ± 0.2 °C, 10%区(B)で 22.1 ± 0.2 °C, 2%区(C)では 22.1 ± 0.2 °Cであった。夏眠開始時における各区の体長、体重および肥満度をTable 1に示した。飽食区(A)では実験開始時から急激に成長し、平均肥満度も 5.3 ± 0.4 と高い値を示した。10%区(B)では実験開始時から体長、体重の変化はほとんど認められず、開始時の魚体がほぼ維持できた状態にあった。一方、2%区(C)では実験開始時から体重が減少し、平均肥満度も 2.6 ± 0.5 と低い値を示した。

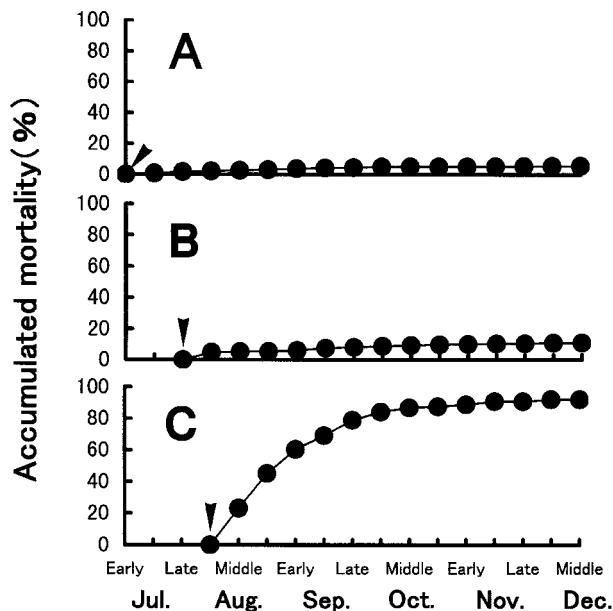
Table 1. Standard length(SL), body weight(BW) and condition factor(CF) at the beginning of estivation of Japanese sand lance in experiment I. Values indicate the mean \pm standard deviation.

Experiment	Feeding level	Initial			Beginning of estivation		
		SL(cm)	BW(g)	C F	SL(cm)	BW(g)	C F
A	Satiated* ¹	7.1 \pm 0.5	1.34 \pm 0.37	3.7 \pm 0.3	10.2 \pm 0.8	5.67 \pm 1.38	5.3 \pm 0.4
B	10% satiated	7.1 \pm 0.5	1.34 \pm 0.37	3.7 \pm 0.3	7.3 \pm 0.5	1.41 \pm 0.26	3.6 \pm 0.2
C	2% satiated	7.1 \pm 0.5	1.34 \pm 0.37	3.7 \pm 0.3	7.3 \pm 0.6	1.05 \pm 0.32	2.6 \pm 0.5

*¹ 3-4% of body weight per day.

夏眠期間中のへい死状況 夏眠終了は、全区において水温が14℃を下回ってから約1週間後の12月24日にみられ、夏眠開始期のような栄養状態による差は認められなかった。

夏眠期間中における各区のへい死状況を Fig.1 に示した。飽食区 (A) では夏眠期を通じてへい死は少なく、夏眠期間中の累積へい死率も5.6%と低かった。10%区 (B) では、高水温となる8~9月のへい死個体数が飽食区 (A) よりやや多かったものの、その後のへい死は少なく、夏眠期間中の累積へい死率も11.1%にとどまった。一方、2%区 (C) では8~9月の間に約80%の個体がへい死した。その後も継続してへい死が認められ、夏眠期間中の累積へい死率は92.0%に達した。

**Fig. 1.** Changes in mortality during estivation in Japanese sand lance reared at different feeding levels until the beginning of estivation in experiment I. A: satiated feeding, B: 10% of satiated feeding, C: 2% of satiated feeding. Arrows indicate the beginning of estivation.

2. 夏眠期の水温とへい死 (飼育実験 II)

夏眠開始 (1996年7月8日) 前5日間の平均水温は、全区で21.5 \pm 0.3℃であった。夏眠開始期における各区の体長、体重および肥満度を Table 2 に示した。一元配置分散分析法により実験区間の体長、体重の平均値の差を検定したところ、いずれも有意な差は認められなかった。平均肥満度は全区で3.3と低い値を示し、飼育実験 I における10%区の夏眠開始期の肥満度に近似していた。

夏眠期間中における各区のへい死状況を Fig.2 に示した。23℃区ではへい死が少なく、実験期間中の累積へい死率も4.8%と低い値を示した。25℃区では、水温設定完了直後における7月下旬~8月上旬のへい死個体数が23℃区よりやや多かったものの、その後のへい死は少なく、実験期間中の累積へい死率も17.8%にとどまった。一方、27℃区では水温設定完了直後の7月下旬に全ての個体がへい死した。

Table 2. Standard length(SL), body weight(BW) and condition factor(CF) at the beginning of estivation of Japanese sand lance in experiment II. Values indicate the mean \pm standard deviation.

Water temperature (°C)	SL (cm)	BW (g)	C F
23	8.9 \pm 0.4	2.35 \pm 0.25	3.3 \pm 0.3
25	8.8 \pm 0.4	2.27 \pm 0.39	3.3 \pm 0.4
27	9.0 \pm 0.4	2.36 \pm 0.38	3.3 \pm 0.2

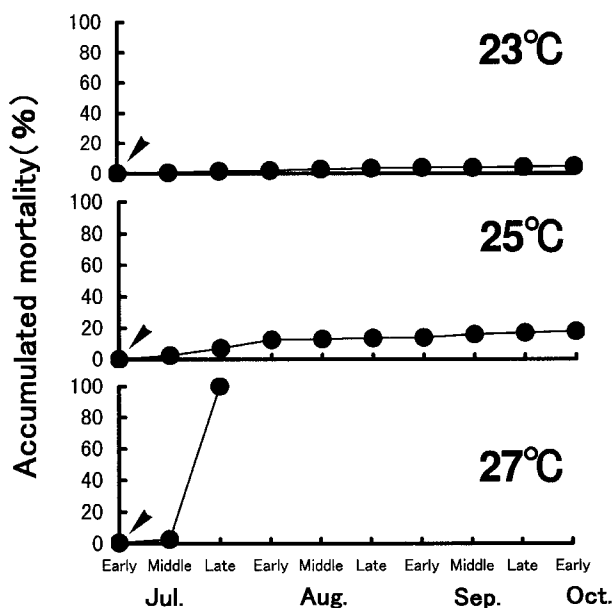


Fig. 2. Changes in mortality during estivation in Japanese sand lance reared at different water temperature in experiment II. Arrows indicate the beginning of estivation.

考 察

イカナゴは夏眠までに蓄えたエネルギーを夏眠中の個体維持と成熟に配分している。山田ら (1999) は本種の飼育実験により、夏眠開始までに4.2以上の肥満度が確保できなくなると、蓄えたエネルギーを夏眠中の個体維持に優先的に回し、成熟しないことを明らかにした。さらに本研究によって、夏眠開始期の栄養状態がある水準を下回ると、夏眠中の個体維持も困難となることが判明した。飼育実験 I では、夏眠開始期の平均肥満度が5.3 ± 0.4にあった飽食区 (A) および平均肥満度が3.6 ± 0.2にあった10%区で、ともに夏眠期間中のへい死は少なかった。これらの実験区とは対照的に、2%区 (C) では高水温となる8~9月を中心に大半の個体がへい死し、夏眠期間中の累積へい死亡率も92.0%に達した (Fig.1)。山田ら (1999) に従い、夏眠開始期の栄養状態の指標として肥満度を用いると、夏眠期間中の個体維持に必要な夏眠開始期の肥満度閾値は、大半の個体がへい死した2%区 (C) と、これに最も近い栄養状態にあり、夏眠期間中の累積へい死亡率が11.1%と低かった10%区 (B) の間に存在すると考えられる。

Fig.3にこれら両者の夏眠開始期における肥満度組成を示した。10%区 (B) で11.1%の個体がへい死したこと、2%区 (C) で8.0%の個体が生残したことを考慮すると、夏眠期間中の個体維持に必要な夏眠開始期の肥満

度閾値は3.2前後にあると推定される。著者らは1991年以降、伊勢湾産イカナゴの最大の夏眠場と考えられている出山海域 (中村ら, 1997) において、夏眠開始期のイ

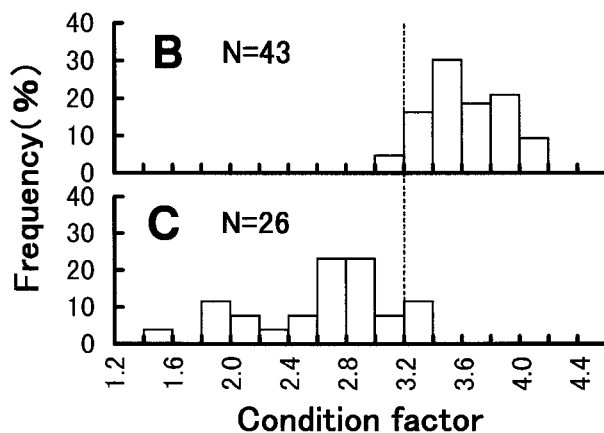


Fig. 3. Frequency distributions of condition factor at the beginning of estivation of Japanese sand lance in experiment I. B: 10% of satiated feeding, C: 2% of satiated feeding. A dotted line shows 3.2 in condition factor.

Table 3. Monthly changes in water temperature in 30m layer at station 1 in observational stations of Aichi Fisheries Research Institute (Aichi Fisheries Research Institute, 1981-1998). Station 1 is located at the main estivation grounds of sand lance population in Ise Bay.

Year	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.
1980	21.1	21.5	23.6	21.7	18.7
1981	19.3	22.3	23.8	21.9	18.6
1982	20.6	22.2	24.4	22.9	20.7
1983	21.6	21.6	22.1	22.6	19.9
1984	21.3	23.7	21.3	23.2	19.0
1985	20.0	20.9	23.1	22.5	20.5
1986	18.8	22.0	23.1	21.3	17.5
1987	21.2	22.6	22.8	23.5	21.1
1988	19.9	22.9	21.6	24.1	18.9
1989	22.5	23.5	19.4	19.9	19.1
1990	19.2	21.8	23.1	23.9	20.7
1991	17.6	17.3	24.2	23.8	20.2
1992	20.6	22.2	18.5	24.2	20.0
1993	19.1	20.4	20.2	21.7	18.5
1994	19.7	23.7	23.7	22.7	19.8
1995	19.3	19.1	18.9	22.4	19.7
1996	18.1	22.3	24.0	21.9	17.8
1997	18.1	20.7	24.2	21.4	17.8
Mean	19.9	21.7	22.3	22.5	19.4
SD	1.3	1.6	1.9	1.1	1.1
Max	22.5	23.7	24.4	24.2	21.1
Min	17.6	17.3	18.5	19.9	17.5

カナゴの肥満度組成を調査している。それによると、夏眠開始時において肥満度が3.2を下回る個体の出現率は、1991年で0%、1992年で0%、1993年で1.9%、1994年で0.2%、1995年で0.6%、1996年で1.2%、1997年で0.5%、1998年で0.2%と、いずれの年もきわめて低い水準にあった（山田、未発表）。これらの結果から、伊勢湾産イカナゴでは、夏眠までの栄養蓄積不足で夏眠期間中にへい死する個体はほとんど出現しないと判断される。

飼育実験Ⅱにおける夏眠開始時の栄養状態（Table 2）は、飼育実験Ⅰの10%区（B）の夏眠開始時並、すなわち、夏眠期間中の個体維持が可能な栄養状態の下限に近い状況にあった。こうした栄養状態にも係わらず、23℃区および25℃区では夏眠期間中のへい死は少なかった。対照的に27℃区では夏眠開始後の短期間のうちに全個体がへい死した（Fig.2）。これらの結果に基づけば、夏眠期間中の伊勢湾産イカナゴは、25℃水温までは生存が可能であると考えられる。天然海域の夏眠場周辺における水温環境については、愛知県水産試験場が実施している定線観測のデータ（愛知県水産試験場、1981～1998）によって把握することができる。Table 3は伊勢湾産イカナゴの最大の夏眠場に最も近い定点（St.1）における底層（30m層）の水温変動を示したものである。高水温となる8～10月の水温平年値は21～22℃台、過去最高値でも24.4℃であり、25℃（夏眠期のイカナゴが生存可能な水温の上限値）を上回った例は過去にない。したがって、伊勢湾産イカナゴでは夏眠期間中の高水温によってへい死する個体もきわめて少ないと判断される。

本研究により、夏眠期間中のイカナゴの個体維持に外部環境が及ぼす影響は少ないと考えられた。また、夏眠期のイカナゴは潜砂した状態を維持し、全く遊泳しないことから、他の生物に捕食されることはほとんどないと思われる。これらを総括すると、伊勢湾産イカナゴにおける夏眠期間中の減耗はきわめて少ないと推定される。

要 約

伊勢湾産イカナゴの夏眠期間中のへい死状況を調べるため、2つの飼育実験を行った。飼育実験Ⅰでは、夏眠開始期の栄養状態が夏眠期間中の個体維持に及ぼす影響を調べた。夏眠開始期まで異なる給餌条件で飼育した3つの実験区について、夏眠期間中のへい死状況を観察したところ、夏眠開始期の肥満度が3.2以上であればへい死が少ないことが判明した。天然海域の夏眠開始期において肥満度が3.2を下回る個体の出現率は、最も高い年

で1.9%であり、栄養蓄積不足による夏眠期間中のへい死はきわめて少ないと考えられた。飼育実験Ⅱでは、夏眠期間中の水温が個体維持に及ぼす影響を調べた。夏眠開始時の栄養状態が悪い個体（夏眠開始期の平均肥満度が3.3）を異なる水温条件で飼育したところ、25℃付近までは生存可能であることがわかった。天然海域では夏眠期間中に水温が25℃を上回ることがないことから、高水温による夏眠期間中のへい死もきわめて少ないと判断された。これらのことから、夏眠期間中のイカナゴの個体維持に外部環境が及ぼす影響は少ないと推定された。

文 献

- 愛知県水産試験場（1981～1998） 漁況海況予報事業結果報告書。
- 橋本博明（1991） 日本産イカナゴの資源生態学的研究。広島大学生物生産学部紀要, **30**, 135-192.
- 中村元彦・船越茂雄・向井良吉・家田喜一・石川雅章・柳橋茂昭（1997） 伊勢湾産イカナゴの夏眠場所。愛知水試研報, **4**, 19.
- 山田浩且・久野正博（1999） 伊勢湾産イカナゴの成熟に及ぼす水温および光周期の影響。水産海洋研究, **63**, 14-21.
- 山田浩且・西村昭史・土橋靖史・久野正博（1999） 伊勢湾産イカナゴ親魚の栄養状態と再生産力。水産海洋研究, **63**, 22-29.
- 柳橋茂昭・船越茂雄・向井良吉・中村元彦（1997） 伊勢湾産イカナゴの夏眠期における生き残り成熟、産卵機構。愛知水試研報, **4**, 23-31.