

水槽内において急激な水温の上昇と低下を経験したツバイの生残率

前田 経雄・若林 信一
(2004年11月17日受理)

Survival rates of the deep-sea whelk, *Buccinum tsubai*, exposed to sharp water temperature increases and decreases in the laboratory

Tsuneo MAEDA * and Shin-ichi WAKABAYASHI *

Survival rates of specimens of the deep-sea whelk, *Buccinum tsubai*, were examined in the laboratory by exposing them to various water temperatures comparable to the temperatures experienced by the animals at the time they are landed on a fishing boat. The aim of the experiments was to determine the effectiveness of releasing small-sized whelk once they are fished for the purpose of conserving the stock. Large and small-sized groups (mean shell height in mm \pm SD: 50.5 ± 5.5 and 31.0 ± 2.5 mm, respectively) were exposed to three grades of water temperature: 28 °C, 20 °C and 10 °C, which were assumed to the surface water temperature in summer, spring/autumn and winter, respectively. No snail died at water temperatures of 20 °C, 10 °C and 0.8 °C (control), but survival rates on the 14th day of the experiment for large and small-sized groups were only 40% and 0%, respectively, at water temperature up to 28 °C. Therefore, it is probable that captured small snails will not be able to survive even if they are released from the catch in the hot summer season, when surface water temperature rises to 28 °C. This suggests that release of the catch of small whelks may not be the best way for conservation of the commercial stock.

Key Words : *Buccinum tsubai*, release, stock conservation, survival rate, water temperature

1977年以降日本沿岸各地において、資源管理型漁業に対する取り組みが数多く実施されてきた。資源管理や漁業管理のために、生存を期待して一旦漁獲された小型魚を放流する行為は「再放流」と呼ばれており（松宮 1997）、日本では栽培漁業が盛んなこともあり、種苗放流と関連して「再放流」という資源の管理手法が重要視されている（東海 1996）。ところが、実際に資源管理に効果があるかどうかは、再放流された個体その後生残するか死亡するかにより大きく左右される。これまでも、底曳網で漁獲された小型魚を中心に、数多くの魚種について再放流後の生残状況が調査されている（有山他 2004, 福井県 1997, 1999, 2000, 平川・田中 1997, 香川・合田 1994, 木村 1994, 小林 1989, 上妻他 1993, 鍋島・大美 1997, 小川・柴田 1996, 岡本・反田 1997, 山口他 1995, 1996, 山崎 1994）。

* 富山県水産試験場 (Toyama Prefectural Fisheries Research Institute, Namarikawa, Toyama 936-8536, Japan)
富山県水産試験場業績A16第3号

富山湾では、エゾバイ科に属するオオエツチュウバイ *Buccinum tenuissimum*, カガバイ *Buccinum bayani*, ツバイ *Buccinum tsubai*, チヂミエゾボラ *Neptunea constricta* (もしくはエゾボラモドキ *Neptunea intersculpta*) の少なくとも4種類の深海性巻き貝(以下、バイ類とする)が、かご漁業により漁獲されている(土井 1987, 土井 1990, 寺町 1933)。富山県に水揚げされるバイ類の漁獲量は近年減少傾向にあり、資源管理が必要とされている(前田 2004)。バイ類4種の中でも、ツバイは漁獲金額が全体の約50%を占める重要種であることから、殻高30mm未満の小型ツバイを保護する資源管理指針が示された(富山県 2002)。保護の方法としては、バイかごの網目を拡大すること、もしくは一旦水揚げされた小型個体を再放流することが挙げられる。後者の方法を採用するにあたっては、再放流された個体がその後生残するかを確かめておく必要がある。

再放流された個体の生死を左右する要因としては、漁獲の過程や船上への水揚げの際における個体の損傷、水温や気温変化に伴う体温の変化、ならびに干出に伴う酸素の欠乏などが考えられる。市場に水揚げされたツバイを観察すると、表層水温や気温の低い冬季には生きた個体が多数見受けられるのに対し、表層水温や気温の高い夏季にはほとんどの個体で軟体部が硬直し、死亡している。このことから、ツバイの生死には、かご揚げの際の網擦れや空気中への干出よりも、温度の変化がより大きな影響を及ぼしていると推察される。ツバイは日本海の水深約200–1350mに生息しており(土井 1990, 加藤 1979, 土田・林 1994)、環境水温は年間を通して0.16–0.87℃という極めて低い温度である(土田・林 1994)。それに対し、富山湾における表層水温は約10–27℃の間で季節変動する(今村他 1985)ことから、夏季では漁獲の際にツバイが27℃におよぶ極めて大きな水温差を経験することになる。ツバイの経験するこのような水温の変化は、再放流後の生残に大きな影響を及ぼすと考えられる。そこで本研究では、ツバイに漁獲の過程で経験する水温の上昇と、再放流後の沈降の過程で経験する水温の低下と同様の水温変化を室内で経験させ、ツバイの再放流後の生残率を調査した。

方 法

2002年3月23日に富山県新湊市場にて水揚げされたツバイを購入し、生かしたまま富山県水産試験場深層水飼育施設に持ち帰り、実験に供した。なお、この時期は富山湾における表層水温が一年で最も低い時期に相当する(今村他 1985)。滑川市地先の水深321mから汲み上げられた海洋深層水(小善・大津 2001)を、ツバイの生息環境水温とほぼ同様の水温0.7–1.0℃に冷却し、その水を水槽にかけ流して蓄養した。実験開始まではツバイの活力が維持されるよう、餌料として冷凍カタクチイワシやサバを週に1回程度の頻度で十分量与えた。それらの中の大型群(平均殻高±標準偏差: 50.5±5.5mm)ならびに小型群(31.0±2.5mm)の2つのグループの中から、原則として各試験区10個体ずつを実験に用いた(大型群のコントロール区でのみ9個体で実施)。前者では2002年7月11日に、後者では7月12日に実験を開始し、実験はすべて気温15–17℃の深層水飼育施設内にて行った。

ツバイに経験させる水温は、以下に述べる方法で段階的に変化させた。水温0.8℃(飼育水温)から、5, 10, 15, 20, 25および28℃に調温した深層水を満たした水槽(58×30×35cm)を準備しておき、ステンレス製かご(1辺15もしくは20cm)に収容したツバイを、かごと水槽から次の

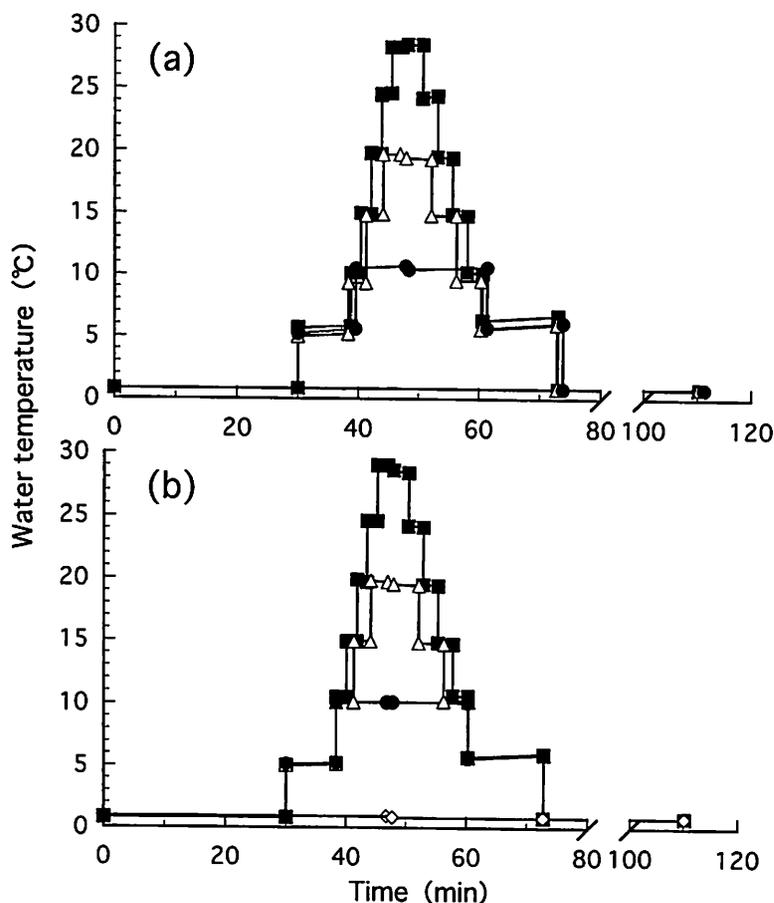


Fig 1 . Changes of water temperature up to 28°C (■), 20°C (△), 10°C (●) and control at 0.8°C (◇) in the survival experiment with (a) large and (b) small size groups of the whelk, whose shell height (mean \pm standard deviation) were 50.5 \pm 5.5 and 31.0 \pm 2.5mm, respectively.

水槽へと順次移していくことにより、水温を変化させた。表層水温を約10°C（冬季）、20°C（春・秋季）、28°C（夏季）とした3つの試験区を設定し、各試験区とも実験開始後30分間は水温0.8°C、30–39分は5°Cとし、その後の約8分間で5°Cから各試験区の設定表層水温までおよそ5°Cずつ上昇させた（Fig.1）。コントロール区は水温0.8°Cで一定とした。船上への水揚げを想定して、各試験区とも設定表層水温に達した後に、ツバイを1分間空气中（室温15–17°C）に干出させた（大型群のコントロール区を除く）。

再放流後の沈降を想定した水温変化は、後述する水槽内で計測したツバイの平均落下速度26.7 cm/秒を用いて、沈降後のツバイの深度と水温を推定し、実験開始約60分後（沈降開始13分後）に水温5°Cとなるように、およそ5°C刻みで段階的に水温を低下させ、実験開始73分後（沈降開始25分後）には水温0.8°Cにまで低下させた（Fig.1）。

実験開始1日後から7日後（大型群は8日後）までの毎日と、14日後にツバイの生死を判別した。ツバイの足を柄付き針で軽く刺激し、筋肉に収縮が認められたものを生残、認められなかったものを死亡とした。なお、実験期間中は無給餌とした。

結 果

大型群ならびに小型群ともに、夏季を想定した28℃区でのみ死亡個体が認められた (Fig.2)。大型群の28℃区では5日後に死亡個体が出現し始め、その後生残率は緩やかに減少し、14日後には40%となった。小型群の28℃区では1日後に死亡個体が出現し、3 - 4日後には生残率は急激に低下し、7日後にはすべての個体が死亡した。それに対し、20℃区、10℃区およびコントロール区では死亡個体は認められなかった。

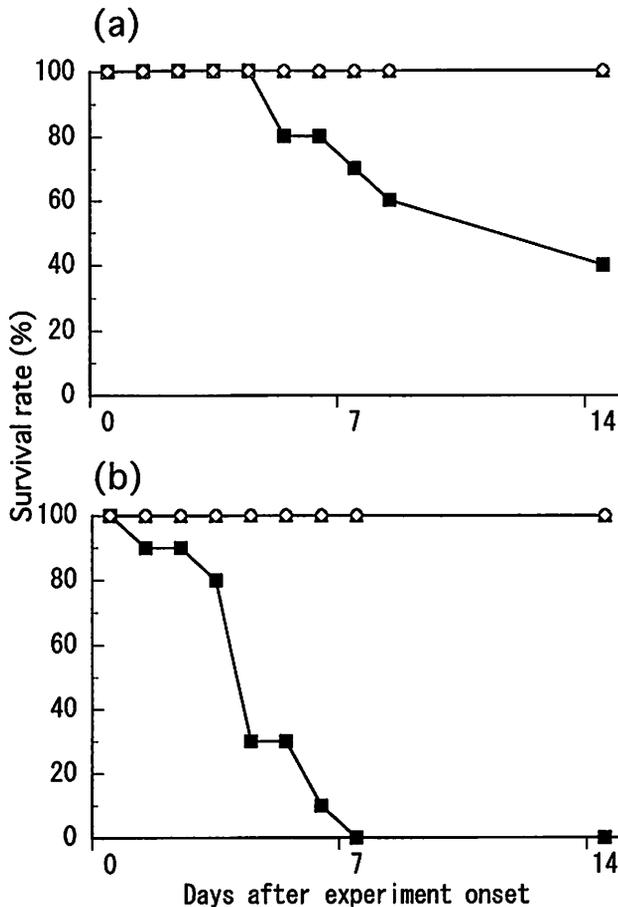


Fig 2. Survival rate of (a) large and (b) small size groups of the whelk exposed to high water temperature up to 28 °C (■), 20°C (△), and 10°C (●), and control at 0.8°C (◇).

考 察

本研究では、ツバイがかご揚げ時に経験する水温を、以下の情報をもとに推定した。2001年7月6日の富山湾でのバイかご試験操業の際に、かごに小型記録式水温深度計 (アレック電子製 MDS-TD) を取り付けて、予めかご揚げ開始後の時間の経過に伴う深度と水温の変化を測定した (Fig. 3)。通常、操業が行われる水深約1000mの海底に敷設されたバイかごは、かご揚げを開始してからおよそ47分後に海面に引き上げられた。そのうち、水深1000-400m (かご揚げ開始後約33分まで) の間には水温はほとんど変化しておらず、それ以降のおよそ15分間で水温約1℃から

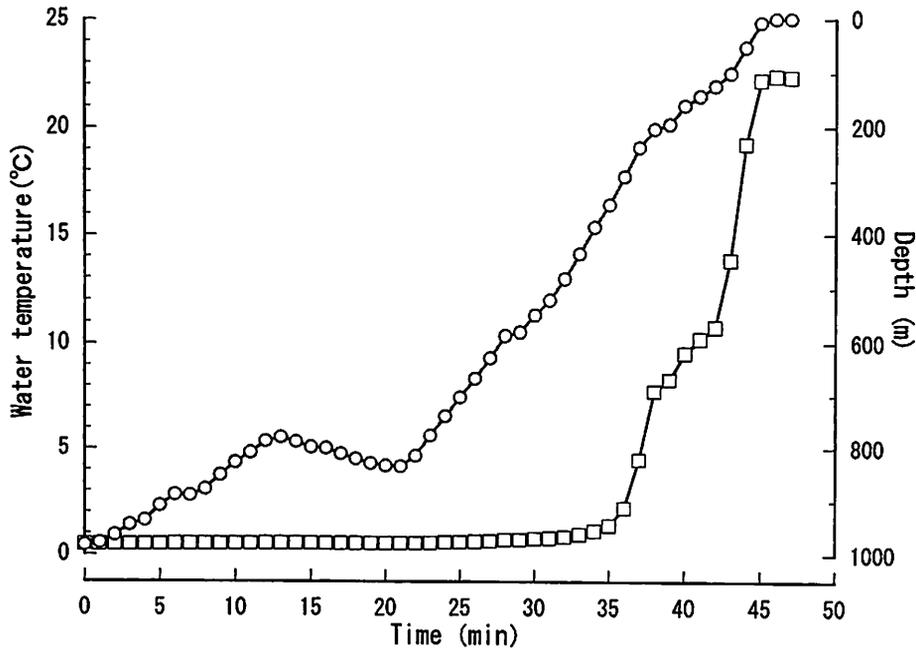


Fig 3. Changes of depth (○) and water temperature (□) at hauling up of the whelk pots from the depth of 982m in the central part of Toyama Bay on 6 July 2001, measured with temperature/depth recorder (MDS-TD Alec Electronics Co., Ltd) attached to a pot.

Table 1. Sinking velocity (cm/second) of the whelk *Buccinum tsubai* measured in the tank with the depth of 88cm.

No	1	2	3	4	5	6	7	Mean of all data
Body size of the whelk used for experiment								
Shell height (mm)	28.6	27.9	32.4	59.2	65.1	36.3	38.5	41.1
Body weight (g)	5.38	4.5	7.2	35.8	46.2	7.9	8.8	16.5
Sinking time (seconds) from surface to bottom of the tank (88cm)								
Mean	3.20	3.23	3.35	3.42	3.41	3.21	3.25	3.30
Standard deviation	0.16	0.10	0.14	0.37	0.16	0.10	0.15	0.21
Sinking velocity (cm/second)	27.5	27.3	26.2	25.7	25.8	27.4	27.1	26.7
Assumed sinking time (minutes) from sea surface to the depth of 400m								
	24.2	24.4	25.4	25.9	25.9	24.3	24.6	25.0

22℃にまで上昇していた。このことをもとに本研究では、各試験区とも実験開始後30分間（水深約1000–400m）は水温0.8℃とし、その後の約17分間（水深400m以浅）で0.8℃から各試験区で設定した表層水温までおよそ5℃刻みで上昇させた（Fig.1）。

一方、再放流後の水温の低下はツバイの沈降速度に大きく依存することから、以下の方法でツバイの沈降速度を求めた。殻高27.9–65.1mm（体重4.5–46.2g）の7個体のツバイについて、水深88cmの水槽の水面から底面までの落下時間を1個体当たり20回ずつ計測し、沈降速度を求めた（Table 1）。沈降速度は最も速かった個体で27.5cm/秒、最も遅かった個体で25.7cm/秒であり、

個体により有意に異なった ($p < 0.001$, ANOVA)。先にも述べたように海面から水深400mに落下する間の水温変化が非常に大きいことから、その落下所要時間を算出し、最小の個体と最大の個体の差を求めると1.7分であった。ここでは、水深400mまでの落下に要する時間の個体差が比較的小さかったことと、実験設定を単純化するために、全測定値の平均値 (26.7cm/秒) を用いて沈降時の水温変化を設定した。その値を用いると、水深200m (水温約5℃) までは12.5分、水深400m (0.8℃) までは25分、水深1000mの海底 (0.8℃) までは62.4分を要すると推定された。

本実験では、ツバイに与えた水温の変化が段階的なものとなったことから、実験水温が妥当であったか検討するために、ツバイが実際に経験する水温と、実験で経験させた水温変化を比較してみる。実際のかご揚げ時にツバイが経験する水温は、Fig.3に示した2001年7月6日の富山湾でのバイかご試験操業において記録された1分毎の水温を用い、沈降時に経験する水温は、平均沈降速度 (26.7cm/秒) により1分毎の深度を推定し、水深と水温の関係 (Fig.3) から1分毎に経験する水温を推定した (Fig.4)。実験水温は、大型群の20℃区を代表として示した (Fig.4)。両者を比較してみると、実験水温は段階的に変化させたこともあり、一部の時間 (開始30-37分後と62-72分後) において、かご揚げ時と沈降時に経験する水温よりも高かった (5℃の水温を長く経験させた) が、それ以外の水温変化についてはほぼ再現することができたと考えられる。なお本実験では、船上への水揚げを想定して気温15-17℃の室温で1分間の干出を行ったが、2002年の富山県の気象概況 (富山地方气象台) によると、これは富山市の4、5月および10月の月平均気温にほぼ相当した。

以上のように、本実験ではやや高目に水温が設定されていた時間帯があったものの、大型群・小型群ともに10℃区および20℃区においてツバイの生残率は100%であった。したがって、冬季ならびに春・秋季においては船上に水揚げされたツバイを再放流すれば、それらは生残する可能性が高いと考えられる。一方、小型群の28℃区においては実験開始7日後には全個体が死亡して生残率は0%となり、大型群についても実験終了時 (14日後) の生残率は40%に低下した。したが

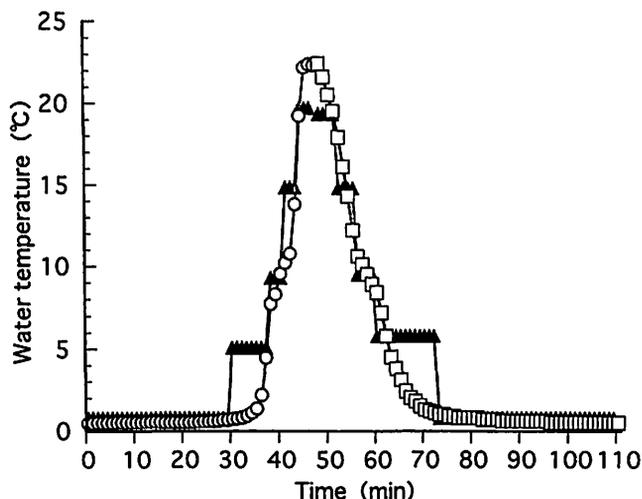


Fig 4 . Comparison of water temperature in the experiment (▲ : 20℃ for Large size group), and those at hauling up of whelk pots (○) measured with the temperature/depth recorder (Fig.1) and at sinking calculated from sinking velocity of whelk (□) (Table 1).

って、25℃もしくは28℃という水温は、8分程度の短時間であっても、ツバイ（中でも殻高30mm前後の小型個体）にとっては致命的であったと推定される。また、本実験では気温15–17℃の室内で1分間の干出を行ったが、2002年の富山県の気象概況（富山地方気象台）によると7、8月には富山市の月平均気温は26℃以上に達する。以上のことから、表層水温や気温が1年の中でも高い夏季に、殻高30mm未満のツバイを再放流しても、死亡する可能性が極めて高いと推定される。

これまでに、ツバイの水温耐性について詳細な調査が行われた例はないが、高山（1996）は、水温0.5–4.5℃でツバイの長期飼育に成功し、水槽内で産卵を観察したのに対し、高山（私信）によると水温6–7℃では数日から1週間以内で死亡した。したがって、ツバイの生存上限水温（下茂他 2000）は4.5–6℃の間にあると考えられる。高山（1996）はまた、富山湾に生息するエゾバイ属3種について飼育可能水温を調べ、オオエッチュウバイ *B. tenuissimum* はツバイと同様に水温6–7℃で短期間に死亡したのに対し、カガバイ *B. bayani* およびイジケシライトマキバイ *B. zelotes* についてはそれぞれ、水温1–12℃ならびに水温6–12℃で長期間の飼育が可能であることを報告している。このような飼育可能水温の種間の比較を通して、ツバイやオオエッチュウバイは日本海固有冷水により適応分化し、高水温では生存できなくなったと考えられている（高山 1996）。また、オホーツク海に生息するエゾバイ属4種（アニワバイ *B. aniwatum*, キヌカツギバイ *B. kinukatsugi*, フクレエゾバイ *B. fukureum*, ウスカワバイ *B. pemphigus*）の生存上限温度は、それぞれ10–13℃, 7–9℃, 3–8℃および6–8℃と報告されており（Ito 1980）、フクレエゾバイを除きツバイの生存上限温度よりも高い。以上のことから、ツバイは高水温に対する耐性がかなり低い種であると推察される。

これまで述べてきたようにツバイは、生存上限温度の低い冷水性の種類であり、比較的短時間であっても、夏季の表層水温や気温のような高い温度に曝されると死亡することが示唆された。したがって、資源管理方策として一旦船上へ水揚げされた殻高30mm未満の小型ツバイを再放流しても、春季および秋季から冬季には資源保護への効果が期待できるものの、夏季には全く期待できない。富山県ではバイ類は周年漁獲されているが、ベニズワイが禁漁となる夏場（6–8月）に多く漁獲されることを考えると、水揚げされた小型個体を再放流する方法は、バイ類の資源管理方策として十分でないと判断される。それでは、夏場におけるツバイの小型個体の保護のためにはどのような管理方策が良いのであろうか。

バイ類はバイかごを用いて漁獲されることから、かごの網目の大きさを調節することによって、漁獲物のサイズをコントロールすることが可能である。島根県ではエッチュウバイ *B. striatissimum* の資源管理方策として、網目を10節から9節に拡大して小型貝を保護することが検討され、一部の地区ではすでに実施されている（安達・清川 1991, 道根ら 2002）。ツバイについても、殻高30mm未満の小型個体を網目から逃がすためには、少なくとも9節（1辺が38mm）以上の目合が必要とされているが（前田 2001）、富山県におけるバイかご漁業者は、主に目合12–10節（1辺が28–34mm）のバイかごを使用している現状にある（富山県 2002）。したがって、水温や気温の高い夏季には使用するかごの目合を拡大して、未成熟な小型個体を網目から逃がしてやる必要があるだろう。以上述べてきたように、富山県におけるバイ類（ツバイ）の資源管理方策としては、春季および秋季から冬季には水揚げされた小型個体の再放流は有効と考えられるが、夏季についてはバイかごの網目拡大を実施し、小型個体を漁獲しない努力が必要不可欠と考えら

れる。

謝 辞

本論文をとりまとめるにあたり、富山県水産試験場の林清志博士をはじめ漁業資源課の方々に議論を深めていただくとともに、東京水産大学名誉教授の奥谷喬司博士ならびに富山海区漁業調整委員会事務局の土井捷三郎氏には有益なご助言を賜った。これらの方々に厚く御礼申し上げます。

要 約

バイ類の資源保護の方法として、一旦漁獲された小型ツバイを再放流することが有効であるか判断するために、バイかごの揚網と再放流後の沈降の過程を再現した水温変化をツバイに室内で経験させ、その後の生残率を調査した。大型および小型群（平均殻高±SD：50.5±5.5mmおよび31.0±2.5mm）のツバイに、夏季、春・秋季および冬季を想定した3パターン水温変化（各試験区の最高温度28、20および10℃）を経験させた。両群とも20℃区、10℃区およびコントロール区では死亡個体が認められなかったのに対し、28℃区では実験終了時（14日後）の生残率が大型群で40%、小型群では0%であった。したがって、表層水温が28℃に達する夏場には、一旦漁獲された小型ツバイを再放流しても、死亡する可能性の高いことが示唆された。以上のことから、小型ツバイの再放流は年間を通じた資源管理方策として十分ではないと考えられた。

文 献

- 安達二郎・清川智之 1991. 島根県大田市沖におけるエッチュウバイの資源管理とエッチュウバイかご網の網目選択性. 日本海ブロック試験研究集録, 21: 23-32.
- 有山啓之・日下部敬之・大美博昭・辻村浩隆 2004. 石桁網で漁獲されたマコガレイ小型魚の再放流後の生残について. 大阪府水試研報, 15: 17-21.
- 土井捷三郎 1987. 富山湾のバイ漁業について. 漁業資源研究会議 北日本底魚部会報, 20: 69-74.
- 土井捷三郎 1990. 富山湾のバイーその生態と漁業一. とやまと自然, 第12巻冬の号: 6-9.
- 福井県 1997. 平成8年度複合的資源管理型漁業促進対策事業報告書, 40pp.
- 福井県 1999. 平成10年度複合的資源管理型漁業促進対策事業報告書, 75pp.
- 福井県 2000. 平成11年度複合的資源管理型漁業促進対策事業報告書, 55pp.
- 平川英人・田中利幸 1997. 小型底曳網における再放流ヒラメの生残率. 月刊海洋, 324: 376-379.
- 今村 明・石森繁樹・川崎賢一 1985. 第25章 富山湾 II 物理 pp.990-1000, 日本全国沿岸海洋誌 (日本海洋学会沿岸海洋研究部会編). 東海大学出版会, 東京.
- Ito, H. 1980. On the upper lethal temperatures of five species of sea snails, family Buccinidae. Bull.

Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab., 45: 57-63.

- 香川 哲・合田誠志 1994. 小型底曳き網における投棄シャコの生残率の向上. 栽培技研, 22: 137-139.
- 加藤史彦 1979. 日本海における深海性有用エゾバイ科4種の分布. 日水研報, 30: 15-27.
- 木村 博 1994. 小型底曳網漁船の投棄魚の研究? IV, 投棄された魚介類の生残率について. 山口県内海水試報, 23: 1-8.
- 小林啓二 1989. ズワイガニの増殖生態に関する研究. 鳥取水試報告, 31: 1-95.
- 上妻智行・有江泰章・宮本博和 1993. 小型底曳網で漁獲されるシャコの投棄後死亡率の推定. 福岡水技研報, 1: 85-88.
- 前田経雄 2001. 2. ばい類調査. pp.21-35, 平成12年度複合的資源管理型漁業促進対策事業報告書, 富山県.
- 前田経雄 2004. (2)バイ類調査. pp.35-37, 平成15年度富山水試年報, 富山水試.
- 松宮義晴 1997. 再放流・投棄魚の諸研究と資源管理との関連. 月刊海洋, 324: 327-332.
- 道根 淳・為石起司・村山達朗 2002. 隠岐島周辺海域のばいかご漁業におけるエッチュウバイの資源管理. 島根水試研報, 9: 1-9.
- 鍋島靖信・大美博昭 1997. III地域重要資源調査(シャコ). pp.89-113, 平成7年度大阪府水試事業報告, 大阪水試.
- 小川泰樹・柴田玲奈 1996. 瀬戸内海における小型底びき網投棄物の生残試験. 漁業資源研究会議 西日本底魚部会, 23: 13-36.
- 岡本繁好・反田 実 1997. 小型底曳網で漁獲されるカレイ類幼稚魚の投棄実態と再放流の生存率. 月刊海洋, 324: 371-375.
- 下茂 繁・秋本 泰・高浜 洋 2000. 海洋生物の温度影響に関する文献調査. 海生研報, 2: 1-351.
- 小善圭一・大津 順 2001. 海洋深層水の水質安定性-低温性と富栄養性- pp.8-10, 21世紀の資源 富山湾深層水(富山湾深層水利用研究会編). 桂書房, 富山.
- 高山茂樹 1996. 富山湾産エゾバイ属の飼育I-飼育水温-. 富山の生物, 35: 9-11.
- 寺町昭文 1933. 富山湾のバイ漁. Venus, 3(6): 358-365.
- 東海 正 1996. 管理方策としての再放流. 月刊海洋, 316: 627-633.
- 富山県 2002. 富山県バイ類・ヒラメ資源管理指針. 53pp.
- 土田英治・林 育夫 1994. 日本海西部海域における浅海带下部と漸深海带貝類の特性. 日水研報, 44: 81-126.
- 山口宏史・森 泰雄・武藤卓志・志田 修 1995. 6. 資源管理型漁業推進対策事業. pp.250-258, 平成6年度事業報告, 北海道立釧路水試.
- 山口宏史・森 泰雄・武藤卓志・志田 修 1996. 8. 資源管理型漁業推進対策事業. pp.278-287, 平成7年度事業報告, 北海道立釧路水試.
- 山崎 淳 1994. ズワイガニの生態特性にもとづく資源管理に関する研究. 京都府海洋センター研究論文, 4: 1-53.