飼育下における未成熟ミズダコの成長率、摂餌率、 餌料転換効率に及ぼす水温の影響

佐野 稔,^{1*} 坂東 忠男²

(2017年6月7日受付, 2017年9月10日受理, 2017年12月28日J-STAGE 早期公開)

¹(地独)北海道立総合研究機構稚内水産試験場, ²宗谷漁業協同組合

Effect of temperature on growth, feeding and food conversion rates of immature
North Pacific giant octopus *Enteroctopus dofleini* in captivity

MINORU SANO^{1*} AND TADAO BANDO²

¹Wakkanai Fisheries Research Institute, Wakkanai, Hokkaido 097-0001, ²Soya Fishery Cooperative, Wakkanai, Hokkaido 098-6755, Japan

When coastal temperatures increase in summer, North Pacific giant octopus *Enteroctopus dofleini* moves offshore into deeper water. To clarify the physiological changes related to increasing water temperature, we investigated the growth, feeding, and food conversion rates of immature octopus at different water temperatures from 2.5°C to 20.0°C in captivity. Daily growth rate was optimal at 10.0°C, decreasing as temperature increased and becoming negative at 20.0°C. Daily feeding rate decreased at temperatures above 15.0°C. Food conversion rate was optimal from 2.5°C to 5.0°C, decreasing at higher temperatures and becoming negative at 20.0°C. The findings showed that high temperatures have an adverse effect on the metabolism and physiology of *E. dofleini*. It is therefore considered that the summer migration undertaken by immature *E. dofleini* occurs in response to physiological changes associated with increasing water temperatures.

キーワード：成長率、摂餌率、餌料転換効率、ミズダコ

大型底生性の頭足類であるミズダコ *Enteroctopus dofleini* は、北海道では重要な水産資源である。北海道周辺のほぼ全ての海域で漁獲され、水揚げ量は1.5万トン/年、水揚げ高は約70億円/年に達している。¹⁾ 本種は北海道周辺では潮下帯から水深200 m付近まで分布しており、主に樽流し、たこ箱、たこ籠などの漁法で漁獲されている。²⁾ 本種を持続的に利用するために、漁業現場からは、資源管理手法の開発や漁場形成機構の解明が求められている。

ミズダコの漁場形成には、水温が影響を及ぼしていると推定されている。佐野・坂東³⁾は、宗谷海峡において夏季に水温18°C以上になる岸近くの海域にミズダコが分布せず、水温が低い深所へ移動することから、岸近くの高水温海域を回避していると推定している。野呂、桜井⁴⁾は津軽海峡において、夏季に水温15°C以上になる岸側の海域でミズダコがほとんど採集されない結果を得

ている。岩手県沿岸では、体重4 kg未満のミズダコは水温15°C以下の海域、体重4 kg以上の個体は水温7–10°Cの海域に分布することが報告されている。⁵⁾ 北海道沿岸のオホーツク海においては、ディスク型タグや水温データロガーを用いた標識放流調査を行い、未成熟個体が7–9月に深所へ移動することを明らかにし、同期間に回収された水温データロガーからは、再捕個体の平均経験水温は13.5–18.0°Cであることが報告されている。⁶⁾ Hartwick *et al.*⁷⁾は、ミズダコが北太平洋カナダ沿岸では7–15°Cの水温帯に主に認められると報告している。これらのことから、18°C以上の水温帯にはミズダコがほとんど分布していないといえる。

ミズダコが18°C以上の海域に分布しない理由として、18°C以上の水温がミズダコの成長、摂餌、同化吸収に負の影響を及ぼすことが原因と考えられる。しかしながら、18°C以上の高水温がミズダコの成長、摂餌、同化

吸収に及ぼす影響は不明のままである。Robin and Sakurai⁸⁾は、ミズダコを水温 7.0–12.0°C の水温帯で飼育した結果、7.0–9.5°C のときに最も効率的に成長することを報告している。Hartwick *et al.*⁷⁾は、飼育下での水温 12.0°C のときのミズダコの摂餌率、成長率、餌料転換効率を報告しているものの、水温との関係については観察していない。一方、飼育下のマダコ *Octopus vulgaris* では、飼育下での 10, 15, 20°C の異なる水温条件の摂餌率と成長率は、高水温ほど高くなるが、餌料転換効率は温度と明瞭な関係が認められていない。⁹⁾

そこで本研究は、ミズダコが夏季に浅所から深所へ移動する要因を解明し、ミズダコ漁業の資源管理を推進するため、飼育下において 2.5–20.0°C の水温範囲における未成熟ミズダコの成長率、摂餌率、餌料転換効率を明らかにすることを目的とした。

材料と方法

飼育実験には、2011–2013 年の間、宗谷海峡で操業する「たこいさり樽流し漁」で漁獲された体重 2.5 kg 未満のミズダコを用いた。この体重のミズダコは未成熟¹⁰⁾である。これらミズダコを 1 個体ずつ養殖カゴ (日本コンテック㈱), GB-100, 100 L, 外寸: 幅 644 × 長 644 × 高 342 mm) に収容し、これら養殖カゴを水槽 (アース株式会社, FRP 製, KFL-2000SA-1-L, 有効水量: 1400 L, 外寸: 幅 1250 × 長 2650 × 高 1030 mm, 砂濾過槽付設型) に収納して、飼育した (Fig. 1)。この水槽には稚内水産試験場の前浜から取水した自然海水を砂濾過し毎時 180 L 注水した。これは水槽内の海水が 1 日で約 3 回入れ替わる水量である。水槽内ではエアレーションを常時行った。ミズダコを飼育環境に馴致させるため、採集後の約 1 ヶ月間、水温を調節せずに飼育した。馴致期間中は、頭部と内臓を除去したスケトウダラを餌として、週 2 回、体重の 10% 以上の量を与

えた。

水温別の飼育試験は、2.5–20.0°C まで 2.5°C 間隔で行った。水温調節器 (アース株式会社, WTCA601L) で、水槽内に注水する海水および水槽内を循環する海水の温度調節を行い、水温が一定条件となるようにした。一定水温条件下での飼育試験では 3–6 個体同時に飼育し、各水温条件下での飼育個体数は 3–10 個体であった。各水温条件下の試験に用いた個体は、その水温での試験が終了後、再度異なる水温での試験に用い、試験に用いたミズダコの総個体数は 21 個体であった。飼育期間は水温条件より 28–106 日間とした (Table 1)。餌は週 2 回、頭部、内臓、尾鰭を除去したスケトウダラを体重の 10% 以上与えた。給餌の前に、餌の湿重量を測定し、翌日、養殖カゴ内に残った餌を回収して湿重量を測定した。この差から摂餌量を把握した。ミズダコの体重は毎週計測した。一定水温での飼育試験が終了した後、加温もしくは冷却して、別の水温段階の飼育試験を行った。

日間成長率 G (%・日⁻¹), 日間摂餌率 F (%・日⁻¹), 餌料転換効率 C (%) は、マダコ⁸⁾やミズダコ⁶⁾の飼育試験でも用いられている Choe¹¹⁾の計算式によって算出した。

$$G = \frac{w_2 - w_1}{tW} \times 100$$

$$W = \frac{w_1 + w_2}{2} \times 100$$

$$F = \frac{I}{tW} \times 100$$

$$C = \frac{w_2 - w_1}{I} \times 100$$

ここで、 w_1 は観察開始時の体重、 w_2 は観察終了時の体重、 t は飼育日数、 I は飼育期間中の摂餌量の合計である。

結 果

未成熟ミズダコの日間成長率は水温が高くなるにつれて上昇して、水温 10.0°C で頂点となり、その後低下した (Fig. 2)。水温別の平均日間成長率は水温 2.5°C では 0.13%・日⁻¹であり、2.5°C から 10.0°C にかけて上昇して、10.0°C では 0.92%・日⁻¹となった。水温 12.5°C から平均日間成長率は低下して、水温 17.5°C では 0.21%・日⁻¹となった。水温 20.0°C ではさらに低下して、-0.31%・日⁻¹とマイナスになった。

未成熟ミズダコの日間摂餌率は水温とともに上昇し、水温 10.0°C から 15.0°C にピークとなり、それより高い温度では下降した (Fig. 3)。平均日間摂餌率は水温 2.5°C では 0.16%・日⁻¹と低く、その後水温が高くなるにつれて上昇し、水温 10.0°C では 1.53%・日⁻¹となっ

Fig. 1 Schematic of rearing tank. Arrows indicate sea water currents.

Table 1 Summary of captive experiments to investigate growth, feeding, and food conversion rates of immature North Pacific giant octopuses *Enteroctopus dofleini*

Rearing temperature (°C)	Sex	First date of observation	Rearing period (days)	Initial body weight (g)	Final body weight (g)
2.5	male	29 January 2013	63	1,560	1,780
	male	29 January 2013	63	2,400	2,500
	male	29 January 2013	63	2,480	2,600
	male	14 January 2014	77	2,440	2,620
	male	14 January 2014	77	2,160	2,300
	male	14 January 2014	77	2,460	2,860
	female	29 January 2013	63	2,780	2,900
	female	14 January 2014	77	2,380	2,760
	female	14 January 2014	77	2,540	3,100
	female	14 January 2014	77	2,420	2,420
5.0	male	12 December 2011	64	1,680	2,140
	male	12 December 2011	64	2,000	2,600
	male	12 December 2011	64	1,860	2,420
	male	12 December 2011	64	1,520	1,880
	male	04 December 2012	56	1,240	1,560
	male	04 December 2012	56	1,860	2,320
	male	04 December 2012	56	2,100	2,480
	female	12 December 2011	64	2,020	2,500
	female	04 December 2012	56	2,140	2,800
7.5	male	09 April 2013	56	1,820	2,320
	male	09 April 2013	56	2,760	3,400
	male	09 April 2013	56	2,840	3,640
	male	01 April 2014	79	2,980	4,280
	male	01 April 2014	79	3,040	4,400
	female	09 April 2013	56	2,960	3,900
	female	01 April 2014	79	2,680	3,880
	female	01 April 2014	79	3,140	4,660
	female	01 April 2014	79	2,600	4,100
10.0	male	14 February 2012	63	2,140	3,940
	male	14 February 2012	63	2,600	4,400
	male	14 February 2012	63	2,460	4,400
	male	14 February 2012	63	2,420	4,300
	male	14 February 2012	56	1,880	3,400
	female	14 February 2012	63	2,460	4,060
12.5	male	04 June 2013	28	2,320	2,940
	male	04 June 2013	28	3,400	4,120
	male	04 June 2013	28	3,680	4,300
	female	04 June 2013	28	4,020	4,740
	female	21 October 2014	49	3,820	5,000
	female	21 October 2014	42	3,460	4,160
15.0	male	01 June 2012	74	1,920	2,960
	female	01 June 2012	74	1,980	2,820
	female	01 June 2012	74	2,600	3,840
17.5	male	09 July 2013	77	2,860	3,440
	male	09 July 2013	77	4,280	4,660
	male	09 July 2013	28	4,200	4,580
	female	09 July 2013	77	4,920	5,780
	female	01 July 2014	105	2,520	3,360
	female	29 July 2014	77	3,080	3,620
	female	29 July 2014	77	3,880	4,500
20.0	male	14 August 2012	73	2,880	2,750
	female	14 August 2012	76	2,540	1,920
	female	14 August 2012	73	3,520	2,940

Fig. 2 Relationship between water temperature and daily growth rate ($\% \cdot \text{day}^{-1}$) in immature North Pacific giant octopus *Enteroctopus dofleini*. The solid line shows the mean temperature. Open triangles, males; open circles, females. Differences between males and females were tested by a one sample *t*-test ($*p < 0.05$; n.s., not significantly different).

Fig. 3 Relationship between water temperature and daily feeding rate ($\% \cdot \text{day}^{-1}$) in immature North Pacific giant octopus *Enteroctopus dofleini*. The solid line shows the mean temperature. Open triangles, male; open circles, female. Differences between males and females were tested by a one sample *t*-test ($*p < 0.05$; n.s., not significantly different).

Fig. 4 Relationship between water temperature and food conversion (%) in immature North Pacific giant octopus *Enteroctopus dofleini*. The solid line shows the mean temperature. Open triangles, male; open circles, females. Differences between males and females were tested by a one sample *t*-test ($*p < 0.05$; n.s., not significantly different).

た。水温 12.5°C では、個体間のばらつきが大きいものの 1.30%・日⁻¹ と高く、15.0°C では 1.52%・日⁻¹ となった。それより高い水温では日間摂餌率は低下して、水温 20.0°C では 0.49%・日⁻¹ となり、水温 5.0°C とほぼ同じ水準となった。

未成熟ミズダコの餌料転換効率は水温の上昇とともに下降した (Fig. 4)。平均餌料転換効率は、水温 2.5, 5.0°C では個体間のばらつきが大きいものの高く、それぞれ平均で 84, 96% であり、100% を越える個体も認められた。水温 7.5°C から 17.5°C までは緩やかに下降し、17.5°C では平均 25% となった。17.5°C から 20.0°C には急激に下降して、20.0°C の平均餌料転換効率は -65% とマイナスになった。

雌雄間の日間成長率、日間摂餌率、餌料転換効率を比較するために、水温 2.5, 7.5, 12.5, 17.5°C について *t* 検定で比較したところ、日間摂餌率の 12.5°C でのみ有意差が認められ ($p < 0.05$)、それ以外については有意差は認められなかった ($p > 0.05$; Figs. 2-4)。

考 察

本研究により、水温が未成熟ミズダコの成長、摂餌、同化吸収に影響を及ぼしていることを明らかにした。水温 2.5°C では日間成長率、日間摂餌率は低く、餌料転換効率は高かった。水温 2.5°C から 10.0°C にかけて、日間成長率、日間摂餌率は、高水温になるにつれて上昇した。一方、餌料転換効率は低下していった。10.0°C から 15.0°C では日間成長率は低下していくものの、日間摂餌率は高い水準のまま推移した。15.0°C から 20.0°C では、日間成長率、日間摂餌率、餌料転換効率のいずれも低下した。ただし、餌料転換効率は 17.5°C から 20.0°C にかけて急激に低下した。20.0°C では、日間成長率、餌料転換効率がマイナスとなった。これは、水温 20.0°C ではミズダコの呼吸などによるエネルギー消費量が摂餌による同化吸収量を上回るためであると思われる。

本結果は、既報のミズダコの飼育試験^{7,8)} とほぼ同様の傾向を示しており、ミズダコの水温に対する成長、摂餌、餌料転換効率の特性を反映していると考えられる。Robin and Sakurai⁸⁾ は、未成熟ミズダコは水温 7.0-12.0°C の範囲では 7.0-9.5°C で最も成長が速いとする結果を得ており、本試験でも水温 10.0°C において、最も日間成長率が高くなっていた。カニ類や二枚貝を給餌して、水温 12.0°C で体重 4.0 kg 以下のミズダコを飼育した結果⁷⁾ では、日間成長率は 0.6-1.1%・日⁻¹、日間摂餌率は 1.2-2.0%・日⁻¹、餌料転換効率は 40-87% であった。本試験では魚類を給餌したので、餌による違いがあるかもしれないが、水温 12.5°C で日間成長率 0.44-0.84%・日⁻¹、日間摂餌率は 0.55-1.74%・日⁻¹、餌料転換効

率 34–99% と近い範囲となっていた。また, 水温 2.5, 5.0°C で餌料転換効率が 100% を越えたのは, 体内の含水率の増加や給餌以外の摂餌の可能性が推定される。

夏季に宗谷海峡においてミズダコが水温 18°C 以上の海域を避けて深所へ移動するのは, 水温の上昇にともない生理的な悪影響が生じることが主な要因であると考えられた。本飼育試験では未成熟ミズダコは, 水温 20.0°C では摂餌は行うもののマイナス成長となっていた。ただし, 12.5°C から 20.0°C にかけての日間成長率は, 水温の上昇とともに低下しているため, 未成熟ミズダコの成長に対する高水温の負の影響は徐々に現れると思われる。つまり, 春季から夏季にかけて水温が 10.0°C まで上昇すると, 未成熟ミズダコは摂餌量が上昇して活発な摂餌活動を行って速い成長を示し, 10.0–15.0°C では活発な摂餌を行うものの成長速度が低下し始める。さらに, 水温 15.0°C になると摂餌量, 成長ともに低下していき, 水温 20.0°C をこえると成長に負の影響を及ぼしはじめる。これらのことから, 未成熟個体は夏季に成長に適した水温の低い深所へ徐々に移動していくと思われる。ただし, 本研究では浅所から深所へ移動し始める水温範囲を特定することはできなかった。この水温範囲を特定するためには, 天然海域において水温・水深を記録できるデータロガーを用いた標識放流調査を実施することで明らかにすることは可能であろう。

一方で, 水温 5.0°C 以下の低い水温は未成熟ミズダコの成長を阻害することではなく, 非常に高い餌料転換効率を示していた。このことから, 低い水温下では少ない摂餌量でも高い餌料転換効率で成長を維持できると思われる。宗谷海峡,³⁾ 津軽海峡,⁴⁾ 常磐沿岸¹²⁾ では, 冬季に浅所から深所へ移動することは報告されていない。このことから, 未成熟ミズダコは水温が低下してくる夏季から秋季にかけて深所から浅所へ移動し, 水温が 5.0°C 以下となる冬期間には少ない摂餌量であるものの, 高い餌料転換効率で成長を維持しながら過ごすと思われる。

ミズダコは成熟し始めると急激に成長することが報告されている。^{4,13)} 特に成熟雌は, 春季から夏季にかけて開始する産卵, 保護に備えて体と卵を大きくする必要があるため, その前の冬季に十分な栄養を蓄えておかねばならないだろう。そのため, 低い水温での成熟個体の成長, 摂餌量, 餌料転換効率は未成熟個体とは異なると思われる。今後, 成熟個体についても同様に成長, 摂

餌量, 餌料転換効率に及ぼす水温の影響を明らかにする必要がある。

謝 辞

本飼育試験に用いた未成熟ミズダコを提供してくださった宗谷漁業協同組合の漁業者の方々, および職員の方々には厚くお礼申し上げる。なお, 本研究は科研費 25450288, 16K07856 で行った成果である。

文 献

- 1) 北海道水産資源管理マニュアル 2016 年度. 北海道水産林務部漁業管理課辺, 北海道. 2017.
- 2) 三橋正基. ミズダコ. 「漁業生物図鑑 新 北のさかなたち」(水島敏博. 鳥澤雅監修) 北海道新聞社, 北海道. 2003; 342–347.
- 3) Sano M, Bando T. Seasonal migration of North Pacific giant octopus *Enteroctopus dofleini* in the Soya/La Pérouse Strait. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2015; **81**: 27–42 (in Japanese with English abstract).
- 4) 野呂恭成, 桜井泰憲. 津軽海域におけるミズダコの移動と分布及び成長. 水産増殖 2012; **60**: 429–443.
- 5) 後藤友明, 高橋憲明. 地域性漁業資源の管理技術の開発. 平成 16 年度岩手県水産技術センター年報 2005; 84–91.
- 6) 城 幹昌, 三好晃治, 佐藤政俊, 佐野 稔. 標識放流による北海道オホーツク海沿岸におけるミズダコの移動, 成長, 経験水温および漁場水温の季節変化. 水産海洋研究 2017; **81**: 50–59.
- 7) Hartwick B, Tulloch L and Macdonald S. Feeding and growth of *Octopus dofleini* (Wülker). *The Veliger* 1981; **24**: 129–138.
- 8) Robin PR, Sakurai Y. Temperature and feeding related growth efficiency of immature Octopuses *Enteroctopus dofleini*. *Suisanzoushoku* 2004; **52**: 29–36.
- 9) Mangold K, Boletzky SV. New data on reproductive biology and growth of *Octopus vulgaris*. *Mar. Biol.* 1973; **19**: 7–12.
- 10) Sano M, Bando T, Mihara Y. Seasonal changes in the sexual maturity of the north Pacific giant octopus *Enteroctopus dofleini* in the Soya/La Pérouse Strait. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2011; **77**: 616–624 (in Japanese with English abstract).
- 11) Choe S. On the growth, feeding rates and the efficiency of food conversion in cuttlefishes and squids. *Korean J. Zool.* 1966; **9**: 12–20.
- 12) 石田敏則, 遠藤克彦. 常磐海域におけるミズダコおよびヤナギダコについて. 福島県水産試験場研究報告 2003; **11**: 27–48.
- 13) 佐野 稔. 巨大タコの栄華—寒海の主役—. 「日本のタコ学」(奥谷喬司編著) 東海大学出版会, 神奈川. 2013; 91–124.