短 報

炭素・窒素安定同位体比に基づく紀伊水道におけるタチウオの栄養段階

土居内 龍,* 安江尚孝, 武田保幸

(2011年8月22日受付, 2012年2月13日受理)

和歌山県水産試験場

Trophic level of *Trichiurus japonicus* in the Kii Channel, Japan, based on carbon and nitrogen stable isotope ratiosRYU DOIUCHI,* NAOTAKA YASUE
AND YASUYUKI TAKEDAWakayama Prefectural Fisheries Experimental Station,
Kushimoto, Wakayama 649-3503, Japanキーワード: $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, 栄養段階, 紀伊水道, タチウオ

タチウオ *Trichiurus japonicus* は紀伊水道の重要漁獲対象種の一つである。¹⁾ 和歌山・徳島両県の紀伊水道(瀬戸内海区)におけるタチウオ漁獲量は, シラス, ムロアジ類に次いで多い年間約2,400 tにもおよぶ(平成19年)。²⁾ これに相応して資源量も多いとみられ, タチウオは紀伊水道の海洋生態系で重要な構成要素になっている可能性がある。最近, 土居内ら¹⁾は紀伊水道産タチウオの炭素源の推定を行った。しかし, 栄養段階については明らかになっておらず, タチウオが紀伊水道の海洋生態系における物質循環中でどのような位置を占めるのかは不明である。胃内容物調査によると, 成長に伴って動物プランクトン食性から魚食性へ転換することが推察されている。³⁾ このことは, タチウオがその生活史の過程で, 低次捕食者から高次捕食者までの幅広い栄養段階を占める可能性を示唆している。本研究では土居内ら¹⁾の結果に新たにサンプルを加え, 炭素・窒素安定同位体比の分析に基づき, 紀伊水道におけるタチウオの栄養段階の定量的な把握と, 成長に伴う栄養段階の変化を解明することを目的とした。また, 紀伊水道の南部に隣接する海域(紀伊水道外域)で採集された個体も分析に加え, 比較を行った。

紀伊水道産のサンプルは, 土居内ら¹⁾が分析した32個体と, 今回新たに分析した27個体の計59個体を用いた。これらは, 2008年10月29日から2011年5月19日の間に, AとBの2地点(Fig. 1)から採集されたもので, 肛門前長(下顎前端から肛門までの距離)は25~502 mmであった。採集方法はAは小型底びき網, Bは定置網であった。紀伊水道外域のサンプルは, C地点から2010年6月10日と2011年5月18日にひき縄

Fig. 1 Sampling localities (A–C) of *Trichiurus japonicus* for the present study.

で漁獲された8個体で, 肛門前長は280~355 mmであった。これらについて氷冷状態で研究室へ持ち帰った後, 肛門前長を測定した。また胸鰭上方から筋肉片を切り取り, 分析まで -20°C で凍結保存した。以後の安定同位体比分析手法と, $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ の表示方法は土居内ら¹⁾に従った。

栄養段階の推定は個体ごとに行なった。まず, 植物プランクトンと底生微細藻類をエンドメンバーとした上で, タチウオの炭素源に対する植物プランクトンの寄与率(Contribution ratio; CR)を, dual isotope model⁴⁾に基づき(1)と(2)式にしたがって算出した。

$$CR(\%) = 100 \times (S \times C_C - S \times E_{2C} - C_N + E_{2N}) / (S \times E_{1C} - S \times E_{2C} + E_{1N} + E_{2N}) \quad (1)$$

$$S = {}^{15}\text{N fractionation} / {}^{13}\text{C fractionation} \quad (2)$$

ここで, C_C と C_N はタチウオの $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$, E_{1C} と E_{1N} は植物プランクトンの $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$, E_{2C} と E_{2N} は底生微細藻類の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$, ${}^{13}\text{C}$ fractionationと ${}^{15}\text{N}$ fractionationは ${}^{13}\text{C}$ と ${}^{15}\text{N}$ の濃縮係数である。本研究では, 植物プランクトンの $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ をそれぞれ -21.3% と 7.9% ,¹⁾ 底生微細藻類の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ を -16.3% と 8.9% ,¹⁾ ${}^{13}\text{C}$ と ${}^{15}\text{N}$ の濃縮係数を 1.0% ⁵⁾と 3.4% ⁶⁾と仮定した。次に, 栄養段階(Trophic level; TL)を一次生産者の栄養段階を1とした上で, 奥田⁷⁾に従い(3)式によって算出した。

* Tel : 81-735-62-0940. Fax : 81-735-62-3515. Email : doiuchi_r0001@pref.wakayama.lg.jp

$$TL = 1 + \{C_N - [CR/100 \times E_{1N} + (1 - CR/100) \times E_{2N}]\} / \delta^{15}N \text{ fractionation} \quad (3)$$

紀伊水道産タチウオの安定同位体比は, $\delta^{13}C$ が $-17.8 \sim -15.2\%$ (平均 $\pm$ 標準偏差: $-16.4 \pm 0.6\%$), $\delta^{15}N$ が $13.8 \sim 19.4\%$ ($16.8 \pm 1.5\%$) であった。また紀伊水道外域のタチウオは, $\delta^{13}C$ が $-17.3 \sim -16.5\%$ ($-16.9 \pm 0.3\%$), $\delta^{15}N$ が $13.5 \sim 15.0\%$ ($14.2 \pm 0.5\%$) であり, いずれも紀伊水道産に比べて低いものであった (Mann-Whitney test, $\delta^{13}C$: $p < 0.01$, $\delta^{15}N$: $p < 0.001$)。従って, 本研究では地理的変異の影響を排除するため, 栄養段階の推定に際しては紀伊水道産のみを用いた。

紀伊水道産タチウオの炭素源に対する植物プランクトン寄与率は $25.0 \sim 73.8\%$ ($50.7 \pm 9.8\%$) であった。肛門前長と植物プランクトン寄与率との関係は Fig. 2a のとおりである。肛門前長を 50 mm ごとに区分し, 各階級の植物プランクトン寄与率の平均値を算出したところ, 肛門前長 50~99 mm の階級で 44.5% と最も低い値を示し, 肛門前長 150~199 mm の階級で 60.3% と最も高い値を示した (Table 1)。栄養段階は $2.6 \sim 4.2$ (3.5 ± 0.4) であった。肛門前長と栄養段階との関係は Fig. 2b のとおりである。栄養段階についても肛門前長階級別の平均値を算出したところ, 肛門前長 250~299 mm の階級までは成長に伴って上昇したが, これ以上の階級ではほぼ一定の値を示した (Table 1)。このことから, 紀伊水道産タチウオの栄養段階は, 主に 3 (=二次消費者) および 4 (=三次消費者) と位置づけられ, 肛門前長 250~299 mm までは成長に伴って上昇し, これ以降は上昇がストップするものと考えられた。

紀伊水道産タチウオは, 幼魚期は浮遊生甲殻類が主要な餌生物であるが, その重要性は成長とともに減少し, 肛門前長 130 mm を越えるとマルソコシラエビとサイウオ属が多く捕食され始める。³⁾ さらに肛門前長 200 mm を越えるとマルソコシラエビとサイウオ属とともにイワシ類やタチウオ (共食い) 等の魚類が主体となる。³⁾ 本研究で示された肛門前長 250~299 mm までの成長に伴う栄養段階の上昇は, このような動物プランクトンからエビ類や魚類への食性の変化を反映したものと考えられる。その後, 肛門前長 300 mm を越えるとマルソコシラエビとサイウオ属は捕食されなくなると, イワシ類等の魚類が主体となるが,³⁾ この時点での食性の変化は栄養段階の上昇を伴わないと判断される。土居内ら¹⁾ はタチウオの餌生物の安定同位体比を分析しており, そこで示された値を (1)~(3) 式にあてはめて栄養段階を推定すると, マルソコシラエビとトヤマサイウオがそれぞれ 2.9 と 2.6 であるのに対して, マイワシとカタクチイワシはいずれも 2.2 であった。すなわち, タチウオは肛門前長 300 mm を越えると魚食性が強まるものの, 主要餌生物の栄養段階は上昇せず, このためにタチウオの

Fig. 2 Relationship between preanal length and contribution ratio (CR) of phytoplankton to carbon source (a) and trophic level (b) in *Trichiurus japonicus* collected from the Kii Channel.

Table 1 Contribution ratio (CR) of phytoplankton to the carbon source and trophic level (TL) in *Trichiurus japonicus* by preanal length class

Preanal length class (mm)	N	CR of phytoplankton (%)	TL
≤49	1	47.3	2.9
50-99	11	44.5±11.4	3.1±0.2
100-149	4	58.3±9.3	3.3±0.1
150-199	4	60.3±13.6	3.2±0.3
200-249	6	51.3±8.6	3.4±0.7
250-299	17	51.6±7.6	3.7±0.4
300-349	12	49.6±7.5	3.7±0.2
350-399	2	51.6	3.5
≥400	2	47.1	3.7

Values are indicated as average $\pm$ standard deviation.

栄養段階も上昇しないものと考えられる。なお, マイワシとカタクチイワシの栄養段階はマルソコシラエビとトヤマサイウオに比べて低いが, タチウオの栄養段階は肛門前長 300 mm を超えても低下していない。タチウオは魚食性が進むとイワシ類以外にサバ類やアカハゼなどの魚類も捕食するようになる。³⁾ 紀伊水道におけるサバ類やアカハゼの栄養段階は不明ではあるが, これらイワシ類以外の魚類を捕食することが, 肛門前長 300 mm 以上のタチウオの栄養段階が低下しない要因である可能

性がある。

土居内ら¹⁾は肛門前長 178~360 mm のタチウオを分析し、植物プランクトンがタチウオの炭素源のおよそ半分を占めることを示した。本研究では肛門前長階級別の植物プランクトン寄与率が 44.5~60.3% であり、土居内ら¹⁾の結果は本研究で分析した魚体範囲でも概ね支持されたものと考えられる。ただし、本研究では肛門前長 200 mm 未満で植物プランクトン寄与率平均値の変動がやや大きかったほか、植物プランクトン寄与率の個体間のばらつきも肛門前長 200 mm 以上に比べて大きかった。このような肛門前長 200 mm 未満における炭素源の変動要因については、現時点では特定するだけのデータがなく、今後の検討課題である。タチウオの安定同位体比に地理的変異が認められたことについては、以下の要因が考えられる。すなわち、紀伊水道では底生微細藻類や大型藻類の $\delta^{15}\text{N}$ は北部よりも南部の方が低いことが判明しており、¹⁾ この要因として、黒潮系水の影響が比較的強い南部では、日本南方海域で発生した $\delta^{15}\text{N}$ 値の低い有機物が流入することにより、生物・有機物の $\delta^{15}\text{N}$ が総じて低下するものと推察されている。¹⁾ 紀伊水道外域の C 地点は、紀伊水道よりもさらに黒潮系水の影響が強いものと考えられ、このために生態系全体の $\delta^{15}\text{N}$ が低下し、タチウオの $\delta^{15}\text{N}$ も低下した可能性が考えられる。一方、 $\delta^{13}\text{C}$ 値については、紀伊水道内の南北間で一次生産者に地理的変異は認められていない。¹⁾ したがってタチウオの $\delta^{13}\text{C}$ の地理的差異は、紀伊水道と紀伊水道外域で炭素源が異なることに起因すると考えられる。このことを確認するには、今後紀伊水道外域においても一次生産者の炭素・窒素安定同位体比を分析した上で、これらをエンドメンバーとして紀伊水道外域産タチウオの炭素源に対する植物プランクトン寄与率を算出する必要がある。

本研究では肛門前長が 200 mm 以上でありながら、3.0 以下の低い栄養段階を示す個体が 6 個体認められた (Fig. 2b)。これら 6 個体は肛門前長が 225~352 mm で、 $\delta^{13}\text{C}$ は $-17.1 \sim -16.3\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ は $13.8 \sim 15.2\text{‰}$ であり、紀伊水道外域産に近い安定同位体比を有していた。当海域のタチウオは満 1 歳 (肛門前長約 200 mm) で大部分の個体が成熟することから、³⁾ これら 6 個体は成魚とみられる。通常、当海域におけるタチウオの成魚は、紀伊水道南部から紀伊水道外域で越冬し、夏季にかけて紀伊水道や大阪湾、播磨灘に北上する。³⁾ また、本研究

ではほぼ周年にわたりサンプリングを行ったが、これら 6 個体の採集時期はいずれも 5~7 月であり、北上の時期に一致するものであった。したがって、これら 6 個体は紀伊水道外域からの移動直後にあたり、このために紀伊水道外域の個体に近似した低い $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ を保持し、栄養段階が実際よりも低く見積もられた可能性もある。一方、肛門前長 200 mm 未満の個体は当歳魚が主体と考えられる。通常、当海域におけるタチウオの産卵場は日ノ御崎沖周辺の紀伊水道であり、当歳魚は紀伊水道以北の内海域で生育する。³⁾ したがって、肛門前長 200 mm 以下の個体が低い栄養段階を示した要因については、紀伊水道外域から移動したためとは考えにくい。今後、このような栄養段階や炭素源の推定を他生物でも行っていくことで、紀伊水道における物質循環の全容解明に近づくものと考えられる。

謝 辞

有田箕島漁業協同組合と和歌山南漁業協同組合の漁業者・職員各位にはサンプリングにご協力いただいた。SI サイエンス株式会社の川西英彦氏、佐藤里恵氏、市川順子氏には安定同位体比分析にご協力をいただいた。和歌山県水産試験場の木村創場長をはじめとする職員各位には多岐にわたりご助言・ご協力をいただいた。以上の各位には記してここに謝意を表する。

文 献

- 1) 土居内 龍, 安江尚孝, 竹内照文, 山内 信, 奥山芳生, 諏訪 剛, 向野幹生, 小久保友義, 芳養晴雄. 炭素・窒素安定同位体比に基づく紀伊水道におけるタチウオとその他の底生魚類の炭素源の比較. 日水誌 2011; **77**: 205-214.
- 2) 平成 19 年漁業養殖業生産統計年報. 農林水産省, 東京. 2010.
- 3) 阪本俊雄. 紀伊水道におけるタチウオの漁業生物学的研究. 和歌山水試特別研報 1982; 1-113.
- 4) Yokoyama H, Higano J, Adachi K, Ishihi Y, Yamada Y, Pichitkul P. Evaluation of shrimp polyculture system in Thailand based on stable carbon and nitrogen isotope ratios. *Fish. Sci.* 2002; **68**: 745-750.
- 5) DeNiro MJ, Epstein S. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta* 1978; **42**: 495-506.
- 6) Minagawa M, Wada E. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochim. Cosmochim. Acta* 1984; **48**: 1135-1140.
- 7) 奥田 昇. 安定同位体分析. 「魚類生態学の基礎」(塚本勝巳編) 恒星社厚生閣, 東京. 2010; 110-119.