

論文 Article

瀬戸内海西部，山陽小野田市周辺海域における ナルトビエイ *Aetobatus narutobiei* の年齢と成長について

島本 文¹・泥谷明子²・民法紗希²・山崎大海²・
和西昭仁³・坂井陽一²・橋本博明²

Age and growth of the Naru eagle ray, *Aetobatus narutobiei*, off Sanyo-Onoda City,
in the western Seto Inland Sea

SHIMAMOTO Aya¹, HIJIYA Akiko², MINPO Saki², YAMASAKI Hiromi²,
WANISHI Akihito³, SAKAI Yoichi² and HASHIMOTO Hiroaki²

要旨：21世紀に入って九州有明海と瀬戸内海西部域はナルトビエイ *Aetobatus narutobiei* が大きな集団で出現し貝類等に大きな食害をもたらした。本報告は瀬戸内海西部海域にある山陽小野田海域での2004年より約10年間研究調査により同種の年齢と成長についてまとめたものである。有明海での成長研究の結果と比較したところ、有明海と瀬戸内海西部のナルトビエイ個体群には差異がみとめられ、それぞれ別の系統群として分化する過程にあるのかもしれない。

キーワード：ナルトビエイ，年齢・成長，Bertalanffyの成長式，系統群

Abstract: Since the beginning of the 21st century, the Naru eagle ray, *Aetobatus narutobiei*, has distributed in the Ariake Sound and the western Seto Inland Sea. Bivalve populations in both sea areas have decreased sharply as a result of predation by the eagle ray. We conducted ecological study on this eagle ray in the western Seto Inland Sea from 2004 to 2013. In this paper age and growth of the Naru eagle ray in the western Seto Inland Sea was reported. Comparing our results with data on the growth patterns in the Ariake population, it seems that both eagle ray subpopulations of the Ariake Sound and the western Seto Inland Sea are separating biologically together.

Keywords: Naru eagle ray, *Aetobatus narutobiei*, Age and growth, von Bertalanffy growth equation, Subpopulation

I. はじめに

ナルトビエイ *Aetobatus narutobiei* は1989年に長崎県五島列島奈留においてわが国ではじめて捕獲され、当初 *Aetobatus flagellum* (Bloch and Schneider, 1801) として記載された(山田・三谷, 1989)。しかし, *A. flagellum* とは別種である可能性が強いと疑念が呈され(青沼・吉野, 2000), 2013年に日本産のナルトビエイは White et al. (2013) によって *Aetobatus narutobiei* としてトビエイ目トビエイ科に新種記載され, 南日本から韓国, 中国, 香港, ベトナム東部にかけて分布するものとされた。一方, *A. flagellum* は, インドネシア, インドからクウェートにかけての海域に分布するものとされた(White et al., 2013)。この

ことによって本邦周辺で *A. flagellum* として研究・報告がされてきた2013年頃までの報文は, *A. narutobiei* のものと考えることができる。本報で引用した文献もこの扱いをした。

崎山ら(2011)によると, ナルトビエイ *Aetobatus narutobiei* は1989年に長崎県五島列島での初報告ののち, 九州西部から北への各地で出現が記録され, これまでのところ北限は日本海側で秋田県男鹿市地先, 太平洋側では相模湾の神奈川県藤沢市地先まで分布が広がっている。これら日本周辺の分布域の中で特に大量にナルトビエイが出現し, タイラギやあるいはアサリなどへの食害(川原ら, 2004)が大きく問題視された九州有明海では, 2001年から漁業者を中心とし

1 広島大学生物生産学部：Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University

2 広島大学大学院生物圏科学研究科：Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University

3 山口県下関水産振興局：Simonoseki Fisheries Promotion Bureau, Yamaguchi Prefecture

た組織的な駆除捕獲が行われた（山口，2002）。続いて瀬戸内海西部の山口，福岡及び大分の各県沿岸でもそれぞれ2003，2004，2007年から漁業者を中心とした組織的な駆除捕獲が行われた。このうち山口県小野田市（現山陽小野田市）の農林水産課の資料によると，2003年から始まったナルトビエイの駆除は2012年までに総計37,028尾を数えた。このような状況から有明海と瀬戸内海西部（山口県から大分県沿岸にかけて）はナルトビエイの2大来遊海域になっていたと言える。

これら2つの海域においては，ナルトビエイについての生物生態学的研究が積極的おこなわれ，有明海では，出現状況，成長，繁殖，食性や食害，駆除状況について数多くの知見が得られてきた（山口，2002，2003，2004，2005，2006，2009，2011；川原ら，2004；Yamaguchi et al.，2005；吉田・金澤，2009など）。瀬戸内海西部では出現状況（亀井・萱野，2009；和西・小柳，2009），駆除とその効果について（福田・銭谷，2009），仔魚の発育（泥谷ら，2006），食性や食害（伊藤，2006；浜口ら，2007；伊藤・平川，2009；伊藤・福田，2010；亀井ら，2009），その他生態一般（橋本ら，2006）等について報告されてきた。しかしながら，瀬戸内海西部海域のナルトビエイに関する詳細なデータを記載した論文は限られており，有明海データとの本格的な比較分析の機会を得ないままである。

筆者らは有明海と並んでナルトビエイが大量に出現し，漁業者によって大規模にナルトビエイの駆除捕獲が行われた山陽小野田市周辺海域において，2004年から2012年まで水産資源学の視点に基づく調査を行った（島本，2005；泥谷ら，2006；浜口ら，2007；山崎，2013）。本報告ではそれらの研究データ群からナルトビエイの成長について取りまとめる。成長は言うまでもなく生物全般について一義的に重要な生態的内容の一つで，魚類，ナルトビエイについても同様なことである。ナルトビエイの成長についてはすでにYamaguchi et al. (2005) によって有明海で明らかにされているが，大きな来遊域と言える瀬戸内海西部のものについてはこれまで明確にはされてこなかった。有明海と瀬戸内海西部は地理的に離れており，Yamaguchi et al. (2005) も日本各地で出現するナルトビエイが単一系統群（single population）かどうかという問題を呈示しているため，成長の点から有明海の瀬戸内海西部のナルトビエイとの系統群としての異同も検討しうることである。

本報告の成長に関する研究は，ナルトビエイが瀬戸

内海西部への来遊が確認され駆除作業が始まった当初の2005年～2007年の頃（第1期とする）と，駆除捕獲によると考えられる大型個体の減少，捕獲個体の小型化が顕著になった2011～2012年頃（第2期とする）に分けて取りまとめた。本研究では第1期と第2期の成長の違いも検討する。

II. 材料と方法

本研究で試料としたナルトビエイは山口県山陽小野田市の小野田港（図1）周辺で2004年から2012年の毎年春～秋，同市と山口県漁業協同組合小野田支店との共同で本種に対する駆除作業で捕獲されたものから得た。表1Aに年ごとの採集時期と採集個体数を示した。いずれの年も冬場となる11月～4月頃は，海水温低下のためか試料は得られなかった。駆除作業は各年とも4～10月の各月に1～4回，毎回午前6時頃から約2時間，漁業協同組合所属の漁船4～10隻でマナガツオ漁の流し刺網（目合い約10cm）を各船とも長さ約2反（300m）を使用して行われた。本種は卵胎生魚で自然出生時にすでに体盤幅 disc width (DW) が約30cm程度あり，網の目を通り抜けることはできない。また表1Bで示したように2005年7～8月の間の5回の調査では捕獲時の衝撃で雌親魚から産みだされた胎内仔魚も採集した。

標本として得られた最小サイズの個体はDW約3cmの胎内仔魚であったが，この大きさでも雄には交接器の存在が確認された。このことから本研究において得られた全ての標本個体は交接器の有無により雌雄を判別した。標本個体の外部形態は石原（1994）を参考に，体盤幅，体盤長 disc length (DL: cm)，全長 total length (TL: cm)，体重 body weight (BW: 100g 単

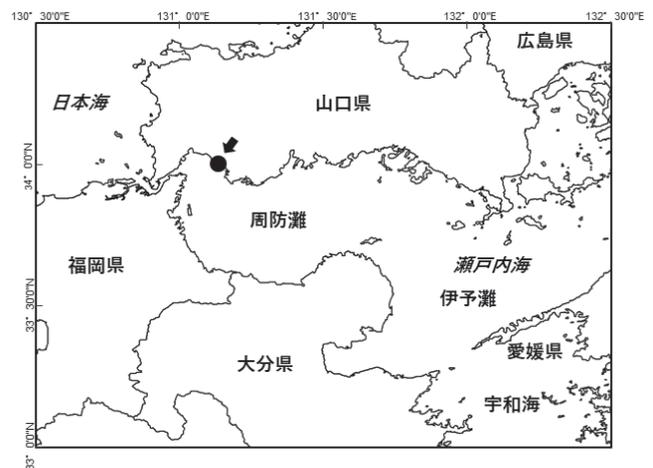


図1 瀬戸内海西部域

黒矢印で示す黒丸印はナルトビエイが捕獲，水揚げされた小野田港。

表1 本研究で用いたナルトビエイ試料の採集記録
A：体盤幅 30cm 以上の未成年と成魚

| 採集年 | 採集時期 | 採集個体数 | |
|------|-------|-------|-----|
| | | 雌 | 雄 |
| 2004 | 6-7月 | 108 | 13 |
| 2005 | 6-8月 | 135 | 31 |
| 2006 | 5-10月 | 240 | 70 |
| 2007 | 5-10月 | 121 | 14 |
| 2008 | 5-11月 | 383 | 72 |
| 2009 | 5-10月 | 125 | 17 |
| 2010 | 5-9月 | 242 | 47 |
| 2011 | 5-9月 | 411 | 85 |
| 2012 | 5-9月 | 613 | 277 |
| 計 | | 2378 | 626 |

B：雌親魚から産出された胎内仔魚

| 採集年 | 採集時期 | 採集個体数 | |
|------|------|-------|-----|
| | | 雌 | 雄 |
| 2005 | 7-8月 | 143 | 139 |

上表にはすくい取った遊泳個体、雌雄各1を含む

位)を測定した。なお尾部を欠損した個体については全長を測定できなかった。体重の測定は測定者が標本個体を持ち上げた状態で体重計に乗って計量し、測定者の体重を差し引くという方法で行った。その際、尾部欠損個体と統一するため、尾部のある個体についても尾部を切除して体重を計量・記録した。

年齢・成長を調べた標本個体数は、第1期(2005～2007年)が雌131尾、雄61尾、第2期(2011～2012年)が雌126尾、雄71尾であった。第20～25番目の椎体を含む脊椎骨と、雌の子宮とを生鮮状態での解剖により取出し、冷凍保存後に分析に供した。脊椎骨を用いた年齢調査にあたっては、トラフグの年齢と成長を研究した尾申(1987)を参考に、以下のように行った。試料は解凍後3～4%水酸化カリウム水溶液に浸して脱灰し、脊髄や椎体のまわりの肉片や血管などの汚れを取り除いた。または調理鍋やピーカーで数分間煮沸して肉質部を除去した。原則として第23番目の椎体を取り出して体軸方向の長さを測定後、99%エタノールで約1週間固定した。その後再び脊椎骨の長さを測定した。これはエタノール浸漬による椎体収縮を点検するため、大きさが変わっていた場合は元の大きさになるよう補正を行った。エタノール

浸漬後、鉄製の糸鋸切で体軸に沿って二分に切断した後、砥石で研磨し、アリザリンレッド染色液(アリザリンレッド1gを3%水酸化カリウム溶液500mlに溶解させ染色原液を作成し、この染色原液20mlを99%エタノール980mlに加えて調整)に24時間浸し、脊椎骨を染色した。

染色作業後、椎体を乾燥・研磨し椎体の中心を基点とし、実体顕微鏡下、マイクロメーターを用いて椎体輪半径R及び、同心円的に出現した輪紋の椎体の中心Focus(焦点)から各輪紋までの距離($r_1, r_2, r_3 \dots r_n$)を測定した(図2)。この輪紋はYamaguchi et al.(2005)によって、年に一輪、産仔期(誕生時期)である夏(8月)に形成される暗色帯, dark (opaque) ringに該当する部分で年輪と考えられることが報告されている。また年齢査定の際の脊椎骨椎体の焦点に最も近い輪紋は産出後すぐに形成されるもの(Birth mark; 図2)と考えられており(Yamaguchi et al., 2005)、本研究でも基本的にこれに従い年輪として扱わないこととした。

山陽小野田の海域におけるナルトビエイの産仔期を確認するため、雌親魚の産仔期に至る性成熟状態の経時的变化を次のように調べた。魚類の性成熟状態の調査は卵生魚の場合、卵巣重量の体重に対する割合(生殖腺重量指数GSI: gonadosomatic index)によることが多いが、ナルトビエイの場合は卵胎生魚であり、体内受精した卵は子宮で発育・成長する。この胎内発育のためにアカエイ類やトビエイ類を含むトビエイ目魚類では、子宮内に栄養子宮絨毛糸(trophonemata)が発達するとされている(Nelson J.S., 2006; 佐藤, 2014; 田中, 2018)。これによって子宮の重量も変化

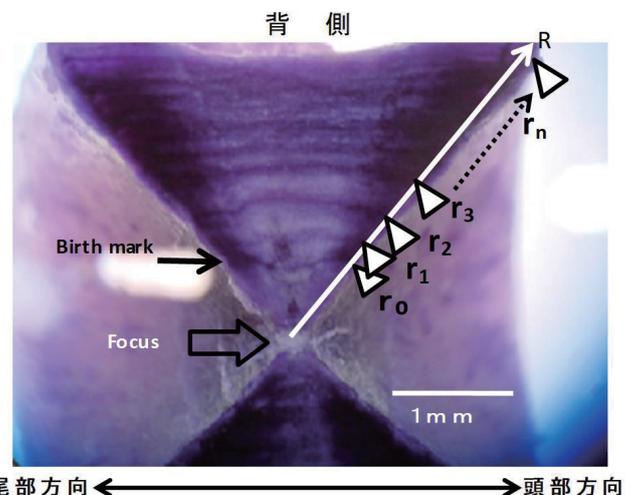


図2 ナルトビエイの脊椎骨椎体の縦断面にみられる輪紋RはFocus(焦点)から縁辺までの距離、椎体輪半径、 $r_1, r_2, r_3 \dots r_n$ はそれぞれFocusから各年輪までの距離。 r_0 は出生時の輪紋(Birth mark)までの距離。

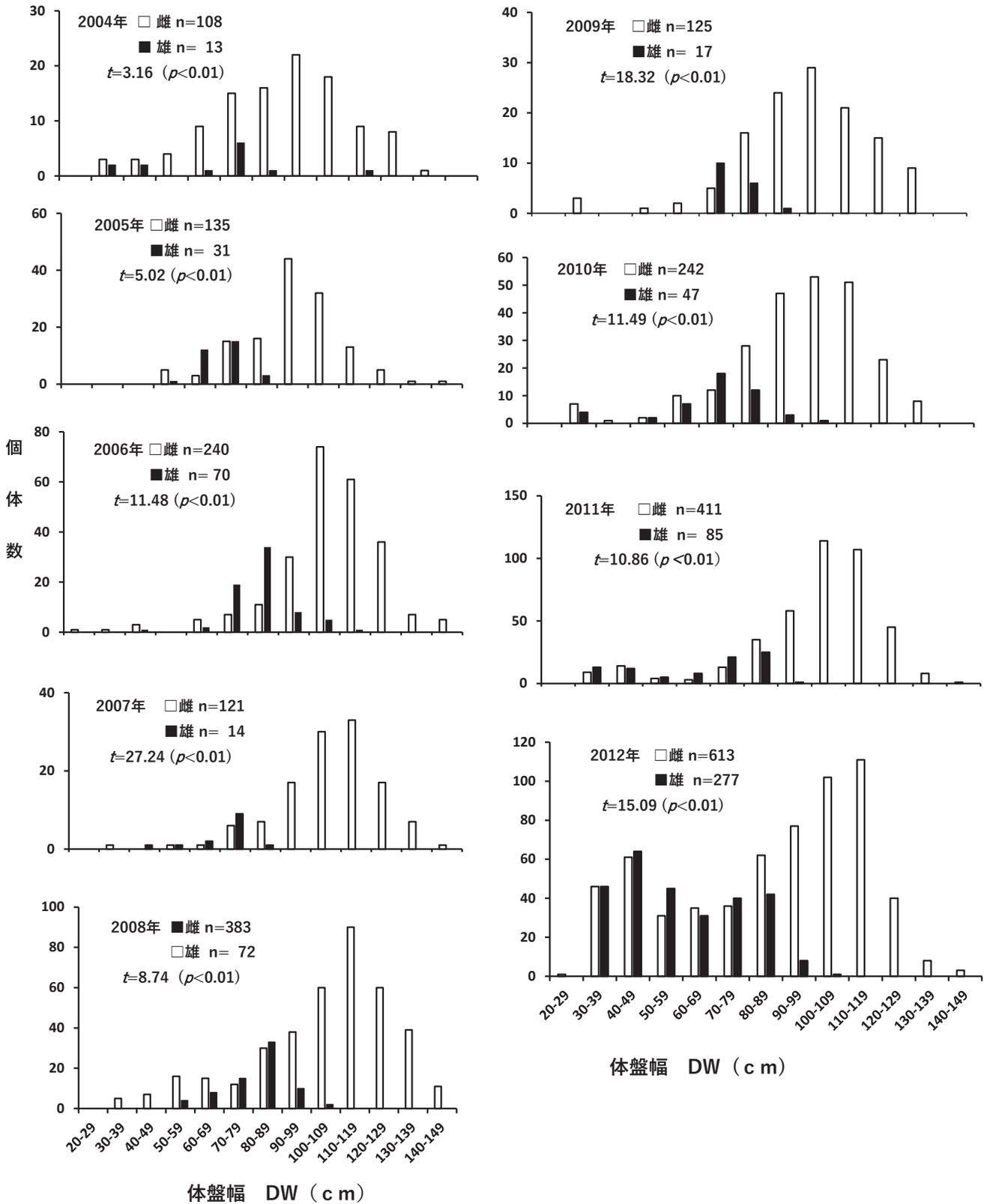


図3 ナルトピエイの年別体盤幅 DW 組成 (2004-2012)
t の値は、雌雄の体盤幅の差の検定 (2 標本 *t* 検定) の値

すると考えられ、子宮重量 uterine weight (UWg) を計量し GSI に変わるものとして便宜的に、子宮重量指数 UWI (uterine weight index) を求め性成熟状態を把握した。即ち、

$$UWI (\%) = 100 \times \text{子宮重量 (g)} / \text{体重 (g)}$$

子宮の計量にあたっては 2006、2007 年の調査時に採取・解剖し冷凍保存していた子宮を水洗、水気をふき取って g 単位で計量した。

また同じく産仔期を確認するために 2005 年 7～8 月に採取した胎内仔魚の体盤幅の時間的推移を調べた。

以上の確認作業から本種の山陽小野田市周辺海域での産仔期は、毎年 7 月末から 8 月であると推定されたため (結果参照)、8 月 15 日を産出された日と仮定した。

以上をもって山陽小野田での本種の年齢別の体盤幅 DW を求め、五利江 (2001) に従い Excel のソルバーを用いて DW の von Bertalanffy の成長式を求めた。

Ⅲ. 結果と考察

1. 体盤幅組成と小型化について

9 年間の調査期間におけるナルトビエイの体盤幅の経年変化を見ると、顕著な雌雄差がみとめられた (図 3)。図には 2 標本 *t* 検定の結果を示した。*t* の値は 3.16～27.24 の大きな値をとりすべて有意な値 ($p < 0.01$) となった。雌の体盤幅の最頻値は 2004 年と 2005 年では 90cm 台であり、2006 年～2008 年以降では 100cm、110cm 台となって大型化傾向となった。しかし 2004 年からの 2012 年の間の 120cm 以上

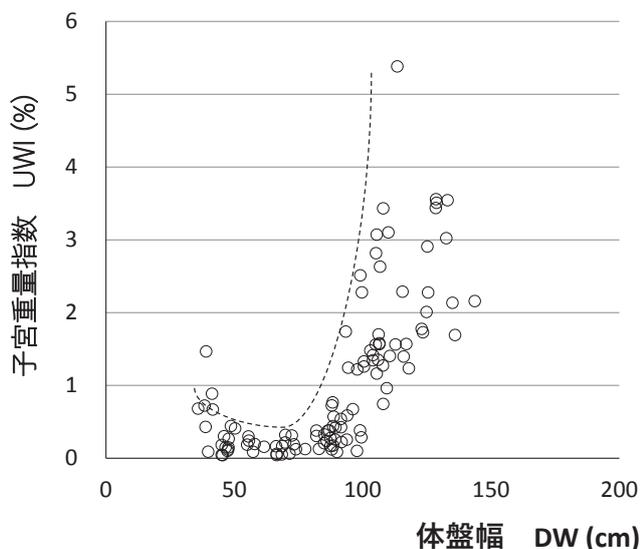


図 4 ナルトビエイの体盤幅 DW と子宮重量指数 UWI (uterine weight index) との関係 (試料は 2006、2007 年採集)
 $UWI (\%) = 100 \times \text{子宮重量 (g)} / \text{体重 (g)}$ 破線は任意に引いた傾向線

の大型個体の出現割合をまとめると順次、8.3、3.8、20.0、6.8、29.0、19.2、12.8、13.4、8.5% となった。すなわち 2008 年 29.0% をピークとして 120cm 以上の出現割合が減少した。これは駆除によって大型個体が減少していることを反映しているのかもしれない。

2. 産仔期の推定

図 4 に雌の体盤幅 DW と子宮重量指数 UWI との関係を示した。体盤幅およそ 90cm 頃から UWI が増加し始め、同 100cm から急増した。そこで体盤幅 90cm 以上の個体は成熟しているものと考え、2006、2007 両年について体盤幅 90cm 以上の大きさの個体の 5 月から 10 月の UWI の経時変化を調べたところ、両年ともばらつきが大きいものの 7 月から 9 月にかけて UWI が高い値を示した。図 5 に 2006 年の結果を示した。また 2005 年の結果であるが、胎内仔魚の体盤幅組成の経時変化をみると、7 月 6 日から 8 月 31 日にかけて雌胎内で成長する仔魚の存在が確認された (図 6)。仔魚の体盤幅の雌雄差を調べると (2 標本 *t* 検定)、図に示すような結果になった。この結果から本種は胎内では雌雄の大きさは一概ではないものの統計的には差がなく、全体として雌雄共に一団として伸長し、約 30cm で産出されるものと考えられた。

以上の結果から、有明海のナルトビエイでは脊椎骨断面の輪紋は年に一輪、産仔期である夏に形成されることが明らかにされているが (Yamaguchi et al. 2005)、瀬戸内海西部のナルトビエイの産仔期も同様に夏期であることが明らかである。

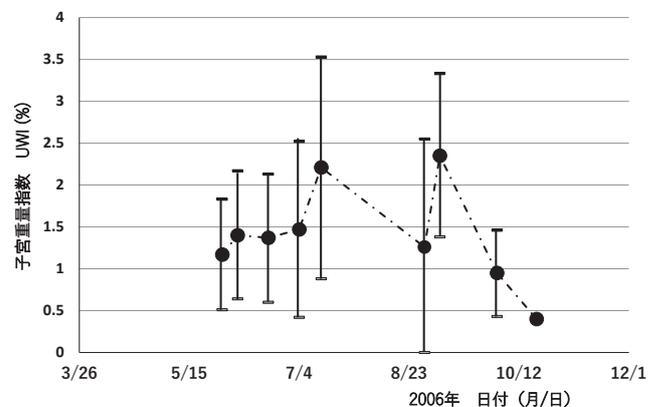


図 5 ナルトビエイの雌の子宮重量指数 UWI の経時変化 (試料は 2006 年に採集)
 黒丸は平均値で、縦棒は平均値 ± 標準偏差を示す。

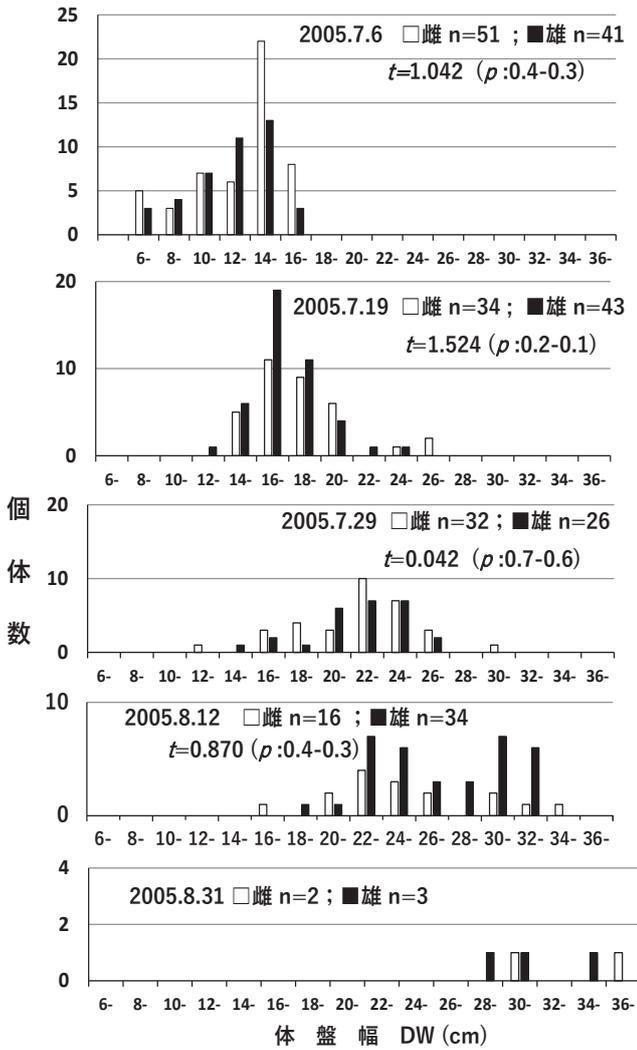


図6 2005年に採集したナルトビエイ胎内仔魚の体盤幅組成の経時変化
*t*の値は、雌雄の体盤幅の差の検定(2標本*t*検定)の値。8月31日は産出され遊泳していたもので、試料数が少ないので体盤幅の雌雄差の検定は行っていない。

3. 成長

脊椎骨椎体輪半径 *R* (mm) とその個体の体サイズとなる体盤幅 *DW* (cm) の関係を求めた。第1期では2005～2007年の標本で *R* と *DW* は直線関係で強い正の相関が認められた。

雄 (n=24)

$$DW (cm) = 24.07R (mm) + 19.35 (r = 0.84) \quad \text{式①}$$

雌 (n=25)

$$DW (cm) = 25.39R (mm) + 25.95 (r = 0.96) \quad \text{式②}$$

また第2期に当たる2012年の標本の結果でも、同様な強い正相関の関係が認められた。この結果は図7に示した。

雄 (n=52)

$$DW (cm) = 20.75R (mm) + 12.99 (r = 0.99) \quad \text{式③}$$

雌 (n=60)

$$DW (cm) = 21.06R (mm) + 14.24 (r = 0.96) \quad \text{式④}$$

これらから山陽小野田の海域のナルトビエイについても脊椎骨椎体半径は成長の指標となることが確認された。

前節の結果から山陽小野田での産仔期は8月で、この時期に脊椎骨椎体に輪紋が形成され Yamaguchi et al. (2005) によってそれは年輪と考えられることから、年齢別の体盤幅 *DW* を求めた。これには上の①から④の式を用い、第1期、第2期ごとの雌雄別の椎体骨の年輪の測定値 (*r*₁, *r*₂, *r*₃・・・*r*_n) から年齢群ごとの相加平均を求め、年齢別の *DW* を逆算した。これによって五利江 (2001) に従い、Excelのソルバーを用いて体盤幅 *DW* の理論値と測定値の残差平方和が最小となるよう *DW* の von Bertalanffy の成長式を求めた。得られた体盤幅の von Bertalanffy 成長

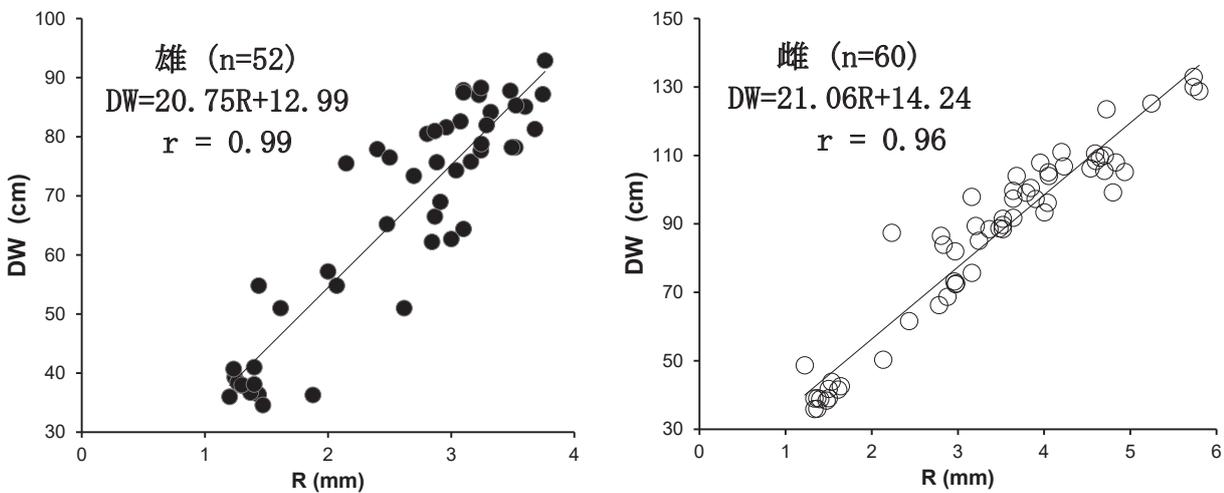


図7 脊椎骨椎体の輪半径 (*R* mm) と体盤幅 (*DW* cm) との関係
 (試料は2012年採集)

式は以下のようになった。

第1期 (2005 ~ 2007年) :

雄 (n=61) : $DW_t = 103.3 (1 - e^{-0.256(t+1.37)})$

雌 (n=131) : $DW_t = 149.2 (1 - e^{-0.117(t+2.78)})$

第2期 (2011 ~ 2012年) :

雄 (n=65) : $DW_t = 122.6 (1 - e^{-0.143(t+1.51)})$

雌 (n=113) : $DW_t = 152.9 (1 - e^{-0.110(t+1.53)})$

以上の成長式で, t は年齢, DW_t は年齢 t の時の体盤幅 (単位は cm) を示す。結果を表2にまとめ, 図8と図9にそれぞれ雄, 雌の成長曲線を描いた。図8,

9と表2には Yamaguchi et al. (2005) による有明海の成長曲線も示した。表2の DW_∞ , k と t_0 は成長式のパラメタであり, それぞれ漸近体盤幅 (極限体盤幅), 体盤幅増長の減少率, 理論的に体盤幅が0となる年齢を示しており, 種や系統群によって一定の値をとるものである。また表3に本研究, 山陽小野田海域と Yamaguchi et al. (2005) による有明海の, 最大個体の体盤幅と, 最高齢魚の記録をまとめた。

図8, 9と表2, 3からは Yamaguchi et al. (2005) でも明らかにされていた雌雄による成長の大きな違

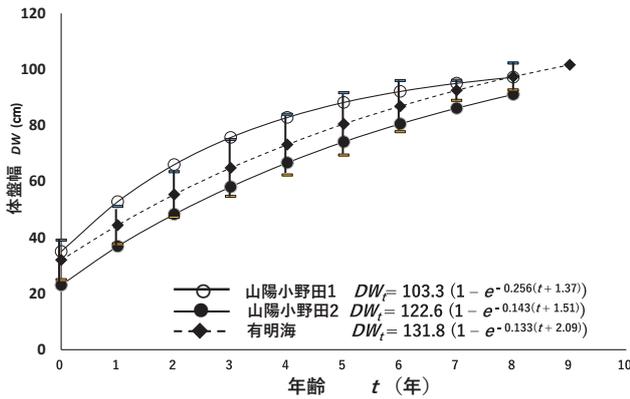


図8 雄のナルトビエイの体盤幅(DW)の von Bertalanffy の成長曲線

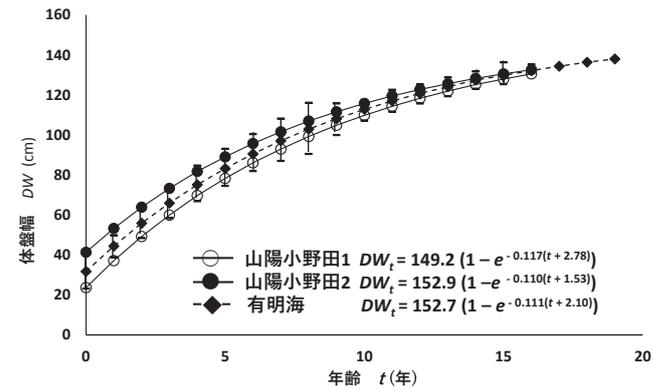


図9 雌のナルトビエイの体盤幅(DW)の von Bertalanffy の成長曲線

山陽小野田1, 2はそれぞれ本研究の時期, 第1期, 第2期を示す。有明海 (◆印) は Yamaguchi et al. (2005) による有明海の結果で縦棒は, 計算した年齢別体盤長の標準偏差の幅を示した。

表2 ナルトビエイの von Bertalanffy の成長式の比較

DW_∞ , k , t_0 はそれぞれ漸近体盤幅 (極限体盤幅), 体盤幅増長の減少率, そして理論的に体盤幅が0となる年齢を示す。

| 海 域 | 雄 | | | 雌 | | | |
|------------------------------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|
| | DW_∞ | k | t_0 | DW_∞ | k | t_0 | |
| Yamaguchi et. al. (2005) 有明海 | 131.8 | 0.13 | -2.09 | 152.7 | 0.11 | -2.10 | |
| 本 研 究 山陽小野田 | 第1期 | 103.3 | 0.26 | -1.37 | 149.2 | 0.12 | -2.78 |
| | 第2期 | 122.6 | 0.14 | -1.51 | 152.9 | 0.11 | -1.53 |

表3 出現した最大個体のナルトビエイの体盤幅と最高齢個体の年齢比較
体盤幅が最大の個体が, 必ずしも最高齢の個体ではない。

| 海 域 | 雄 | | 雌 | | |
|------------------------------|---------|-------|---------|-------|----|
| | 最大個体体盤幅 | 最高齢年齢 | 最大個体体盤幅 | 最高齢年齢 | |
| Yamaguchi et. al. (2005) 有明海 | 100cm | 9 | 150cm | 19 | |
| 本 研 究 山陽小野田 | 第1期 | 110cm | 8 | 145cm | 18 |
| | 第2期 | 104cm | 8 | 142cm | 16 |

い、即ち雌の方が3歳を過ぎると雄より大きく成長すること、漸近体盤幅でも雌雄で約20～46cmの差があり、最高齢魚も雌雄で年齢に2倍以上の差があることが、有明海同様山陽小野田のナルトビエイでも確認された。この点は胎仔期(図6)から生後数年は体盤長に雌雄差がない(図8, 9)ものの、成長につれて大きさや寿命に性による差、性的二型があることを示している。雌が雄より成長がよく長命である雌雄差について、海産硬骨魚類についてはあるが川崎(1982)は、その種が獲得したエネルギーの多くを雌に配分し、生涯の総産卵数を増やす、生殖期以外は同じ生活様式(行動, 成長, 成熟など)をとる必要がないと説いている。このことは卵胎生魚であるが本種についても同様に考えられる。この考えからすると本種などの場合は産仔数を増やすと言うことになろう。ナルトビエイの性的二型は生活資源の配分では雄への配分を犠牲にして雌の方に偏らせて多くし、次世代を生み出す雌の成長に重点を置いているように思われる。

Yamaguchi et al. (2005) は有明海のナルトビエイの行動は雌雄や成熟状態によって違いがあることを示唆した。山陽小野田においても来遊当初の5, 6月は産仔する雌の来遊が多く、以降の7～9月は雌雄とも小型個体が多い現象が見られた(準備中)。来遊生態を含めた性的二型は、ナルトビエイが持つ生活史戦略の具体的表れかもしれない。

図8, 図9から成長の全体的な傾向は雌雄とも、大きさの点で(第1期の山陽小野田)>(有明海)>(第2期の山陽小野田)、と海域や時期において成長が異なっている結果となったものの、有明海の各年齢の標準偏差の幅を介してみると、雌雄それぞれの3つの成長式には有意な差はないと判断される。

von Bertalanffyの成長式に関連するナルトビエイに近縁な種の研究報告では、ナルトビエイと同属(トビエイ科マダラトビエイ属)のマダラトビエイ *Aetobatus narinari* (Euphrasén, 1790) について Kim et al. (2014) がメキシコ湾東部での標識放流-再捕の調査で報告している。von Bertalanffyの成長式では k と L_{∞} (ここでは DW_{∞}) の値が問題とされるが、この報告では雄 $k=0.268$; $DW_{\infty}=190.361\text{cm}$, 雌 $k=0.761$; $DW_{\infty}=181.472\text{cm}$, そして雌雄込みで $k=0.327$; $DW_{\infty}=188.552\text{cm}$ である。マダラトビエイについては他にオーストラリアと台湾で採集されたもので、 k が 0.033 (おそらく雌雄込み)、体盤長で 3m に達するとの記載がある (Schluessel, 2008)¹⁾。いずれにしてもマダラトビエイには顕著な雌雄差が無いようである。同じ科のウシバナトビエイ属のウシバナトビ

エイ *Rhinoptera bonasus* では脊椎骨による年齢分析で最高齢は雌 18 歳, 雄 16 歳で雌雄込みにした von Bertalanffy 式で $k=0.075$; $DW_{\infty}=123.83\text{cm}$ の報告がある (Neer and Thompson, 2005)。一方同じトビエイ科トビエイ属でも bat ray (*Myliobatis californica*) では雄 $k=0.229$; $DW_{\infty}=100.4\text{cm}$, 雌 $k=0.0995$; $DW_{\infty}=158.7\text{cm}$ の報告がある (Matin and Cailliet, 1988)。雌雄差が顕著である。近縁種でも雌雄性については一定の進化生態的傾向はなく、それぞれの種の特異性があると考えられる。

Jones (1976) は Beverton and Holt (1959) が、von Bertalanffy の成長式の k と L_{∞} には負の相関があり、反比例となることを指摘したことを紹介したが、これを参考にして表2のパラメータを図示すると図10のように反比例であることが窺われる。決定係数は 0.8901 (相関係数は -0.944) となった。この図からナルトビエイの成長式は雌については海域や時期の違いはなく近似した DW_{∞} と k の値に収斂しており、種として固有の成長様式を表しているものと考えられた。ただ、実際に得られた最大個体は有明海も2つの時期の山陽小野田海域も DW_{∞} を約 2～11cm 下回っている。一方雄の DW_{∞} と k の値は有明海と2つの時期の山陽小野田海域とは相互に大きく隔たっており、出現した最大個体は DW_{∞} の理論値より山陽小野田の第1期では約 7cm 大きく、有明海と山陽小野田の第2期ではそれぞれ約 32cm, 山陽小野田の第2期では約 19cm 小さく、雌に比べて大きな差となっている。魚類の成長は一般的に遺伝的要因を基礎として、栄養や成熟状態などの内的要因、生息水温、餌条件、種間種内を含めた生息密度などの外的要因が影響すると考えられるが、雌雄ともに漸近体盤幅と差のある結果、だいたい

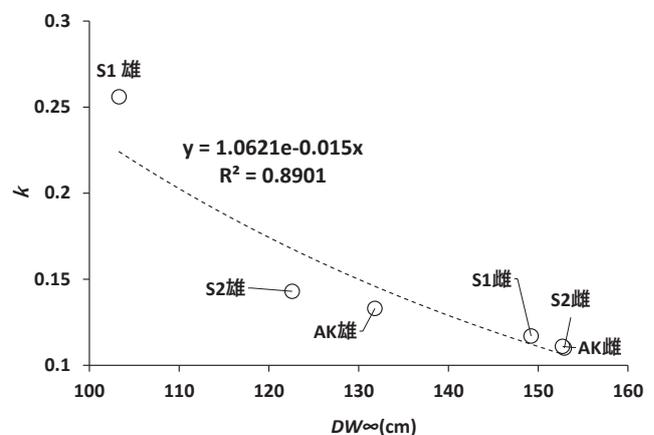


図10 ナルトビエイの von Bertalanffy の成長のパラメータ DW_{∞} と k の関係

S1, S2 はそれぞれ本研究の時期, 第1期, 第2期を示す。AK は Yamaguchi et al. (2005) による有明海のものである。

には下回る結果となった。この一因は人為的な駆除作業, 水産資源学的には漁獲の圧力が強く働いているためと考えられる。有明海でも瀬戸内海西部域でも長年にわたる駆除活動によって成長様式は影響を受け, 駆除がない場合, つまり自然状態とは成長が異なるかもしれない。

今回の有明海と山陽小野田海域の比較検討結果から, 日本産ナルトビエイは総体的には類似した種特有な成長様式を有していると言える。系統群 (個体群, single population) は生殖的には相互に独立した, 相互に交配しない集団と定義される (川崎, 1982)。また, それは固有の個体数変動様式をもって固有の分布水域, すなわち固有の環境を持っていることが要件として挙げられている (橋本, 1991)。それらの点では有明海と山陽小野田海域のナルトビエイ集団は, 来遊・生息域, また産仔場所が相互に異なっていることから, 個々に別の系統群に独立する過程にあるかもしれない。ただ有明海, 山陽小野田の両集団とも秋冬季の分布・移動域, いわば越冬域が不明で, ともに南下回遊して集団としては同一化しているかもしれない。今後分布移動の知見が必要と思われる。

【謝辞】

広島大学水圏資源生物学研究室のナルトビエイ研究は2002年ごろから始まり, 一応の終結の2013年まで10余年を費やした。その間の初めの大半は本研究室の教授を務められた名誉教授 故 具島健二博士が研究に取組む我々に, 在職中から, 退職された後も温かな理解で見守り励まして下さったおかげによるところが多い。ここに哀悼の意を込めて御礼申し上げる次第である。また本研究は本学学長名による「地域貢献研究」助成金より2度にわたり助成を受けた。研究は費用の支えがなくては成り立たないもので, その点で大いに恩恵を賜った。記して御礼申し上げます。調査研究の実際にあたっては標本の採集から処理に至るまで, 長年にわたり山口県漁業協同組合小野田支所, 並びに同県山陽小野田市役所の職員や漁業者の方々に大変お世話になった。御礼を申し上げます。本研究室に所属した歴代の学生, 院生諸氏には標本の採集, 解剖などの困難な作業を含めて諸作業に従事してもらった。その延べ参加者や人数は掲げるに枚挙のいとまもないほどの人士と数である。御礼申し上げます。本論文は卒業論文や修士論文として直接取りまとめた諸氏の研究成果によるところがほとんどである。本論文の筆者以外で本稿の作成に協力し校閲を頂いた諸氏の氏名を記して御礼としたい。越智雄一郎博士, 新野洋平博士,

土岡伸三修士, 酒井大和氏, 吉田大輔氏, 神鳥浩典氏。

また本論文の投稿の機会を与えられ, やはり調査研究の当初から本稿の作成に至るまでお世話になった本学博物館職員の清水則雄博士と, 本研究の取りまとめの当初からご助言を頂き, 研究文献の探索など多々お世話になった現在水圏資源生物学研究室の准教授の富山毅博士とには記して御礼といたします。本稿の図の作成にあたっては本学環境安全センター助教の柴田淳也博士に白地図素材を提供していただきました。御礼申し上げます。

【注】

1) <https://ja.wikipedia.org/wiki>

【文献】

- 青沼佳方・吉野哲夫 (2000) : 中坊徹次編『日本産魚類検索 全種の同定第二版』東海大学出版会, 184-186, 1449.
- 石原 元 (1994) : アカエイ. 落合明編『魚類解剖大図鑑 (解説編)』緑書房, 50-51.
- 伊藤龍星 (2006) : ナルトビエイによる二枚貝の食害. おおいたアクア・ニュース, 22, 7-8.
- 伊藤龍星・平川千修 (2009) : 胃と腸の内容物から見た周防灘南部沿岸におけるナルトビエイの食性. 水産技術, 1(2), 39-44.
- 伊藤龍星・福田祐一 (2010) : 飼育下におけるナルトビエイの摂餌行動と摂餌痕跡形成. 水産技術, 2(2), 73-77.
- 尾申好隆 (1987) : 黄海・東シナ海産トラフグの年齢と成長. 山口県外海水試報, 22, 30-36.
- 亀井良則・萱野泰久 (2009) : 岡山県沿岸域におけるナルトビエイの出現状況. 岡山水試報, 24, 28-31.
- 亀井良則・浜口昌巳・萱野泰久 (2009) : 岡山県沿岸域で採捕されたナルトビエイの消化管内容物. 岡山水試報, 24, 32-34.
- 川崎 健 (1982) : 『浮魚資源』恒星社厚生閣.
- 川原逸朗・伊藤史郎・山口敦子 (2004) : 有明海のタイラギ資源に及ぼすナルトビエイの影響. 佐賀有水研報, 22, 29-33.
- 五利江重昭 (2001) : MS Excel を用いた成長式のパラメータ推定. SUISANZOSHOKU, 49, 519-527.
- 佐藤圭一 (2014) : サメ・エイ類にみられる繁殖様式の多様性. 内分泌研究, 40(152), 79-82.
- 崎山直夫・瀬能宏・御宿明彦・神応義夫・伊藤寿茂 (2011) : 相模湾初記録のナルトビエイ・ヒメイトマキエイ (エイ目トビエイ科), および稀種ユメタチモドキ (スズキ目タチウオ科) の同湾からの確実な記録について. 神奈川自然誌資料, 32, 101-108.

- 島本 文 (2005) : 瀬戸内海に出現したナルトビエイ *Aetobatus flagellum* の生態について. 広島大学卒業論文. 1-28.
- 田中 彰 (2018) : 軟骨魚類の繁殖と発生. 日本魚類学会編 : 『魚類学の百科事典』. 丸善出版. 416-417.
- 橋本博明 (1991) : 日本産イカナゴの資源生態学的研究. *J. Fac. Appl. Sci., Hiroshima Univ.*, 30, 135-192.
- 橋本博明・坂井陽一・具島健二・泥谷明子・酒井大和・島本文・光永晴美・河口隆裕・浜口昌巳 (2006) : 山口山陽小野田海域へ来遊し捕獲されたナルトビエイの生態について. 平成 20 年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 75.
- 浜口昌巳・佐々木美穂・薄 浩則・吉田大輔・橋本博明 (2007) : 山口県山陽小野田海域で採捕されたナルトビエイの消化管内容物の遺伝子解析による同定. 平成 19 年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 175.
- 泥谷明子・酒井大和・島本 文・橋本博明・坂井陽一・具島健二・光永晴美・河口隆裕 (2006) : ナルトビエイの胎内仔魚の発育について. 平成 20 年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 75.
- 福田祐一・銭谷 弘 (2009) : 豊前海中津地先におけるナルトビエイの駆除とその効果. 大分県水試調研報, 2, 5-9.
- 山口敦子 (2002) : 有明海における板鰐類について. 板鰐類研究会報, 38, 29-33.
- 山口敦子 (2003) : 有明海のエイ類について - 二枚貝の食害に関して -. 月刊海洋, 35, 241-245.
- 山口敦子 (2004) : 有明海におけるナルトビエイの繁殖生態. 平成 16 年度日本水産学会大会要旨集, 54.
- 山口敦子 (2005) : 有明海におけるエイ類の漁獲量変動について. 板鰐類研究会報, 41, 8-12.
- 山口敦子 (2006) : 日本の沿岸域へのナルトビエイについて - 二枚貝の食害に関連して -. 月刊海洋, 35, 241-245.
- 山口敦子 (2009) : 有明海が育むサメ・エイ類. 田北徹・山口敦子・日本魚類学会自然保護委員会編 : 『干潟の海に生きる魚たち』東海大学出版会, 33-64.
- 山口敦子 (2011) : ナルトビエイによる二枚貝の食害とそれに対する取り組みについて. 日本水産学会誌, 77, 127.
- 山崎大海 (2013) : 周防灘におけるナルトビエイの資源生物学的研究. 広島大学大学院修士論文, 1-61.
- 山田梅芳・三谷卓美 (1989) : ナルトビエイ. 西海区水産研究所ニュース, 61, 1.
- 吉田幹英・金澤孝弘 (2009) : 有明海福岡県海域におけるナルトビエイの駆除状況. 福岡水海技セ研報, 19, 163-169.
- 和西昭仁・小柳隆文 (2009) : 周防灘沿岸域に出現するナルトビエイの生態に関する知見 I - 山陽小野田沖における出現傾向. *Bull. Yamaguchi Pref. Fish. Res. Ctr.*, 7, 69-76.
- Beverton, R. J. H. and Holt, S. J. (1959) : A review of the lifespans and Mortality rates of fish in nature, and their relation to growth and other physiological characteristics. Wolstenholme, G. E. W. and O'Connor M. J. eds. *Chiba Foundation Colloquia on Ageing 5. The lifespan of animals*, A Churchill Ltd, London, 142-180.
- Jones, R. (1976) : Growth of fishes. Cushing, D. H. and Walsh, J. J. eds. : *The ecology of the sea*. Blackwell Scientific Publications, London and Australia, 251-279.
- Neer, J. A. and Bruce A. Thompson (2005) : Life history of the cownose ray, *Rhinoptera bonasus*, in the northern Gulf of Mexico, with comments on geographic variability in the history trait. *Environmental Biology of Fishes*, 73, 321-331.
- Nelson J.S. (2006) : *Fishes of the World 4th ed.* John Wiley and Sons Inc., Hoboken, New Jersey. 81.
- Kim B., Krystan A. W, Peter. H., Dean A. D., Kristen L. O., Lisa E. A., hon J. M. and Robert E. H. (2014) : Life history and seasonal occurrence of the spotted eagle ray, *Aetobatus narinari*, in the eastern Gulf of Mexico. *Environmental Biology of Fishes*, 97, 1039-1056.
- Matin LK. and Cailliet GM. (1988) : Aspects of the reproduction of the bat Ray, *Myliobatis californica*, in the central California. *Copeia*, 3, 754-762.
- Schluessel, V. (2008) : Life history, population genetics and sensory biology of the white spotted eagle ray, *Aetobatus narinari* (Eupharsen, 1790) with emphasis on the relative importance of olfaction. Dissertation, University of Queensland, Brisbane. (直接参照していない).
- White, W. T., Furumitsu, K. and Yamaguchi, A. (2013) : A New Species of Eagle Ray *Aetobatus narutobiei* from the Northwest Pacific: An Example of the Critical Role Taxonomy Plays in Fisheries and Ecological Sciences, *Plos One*.
- Yamaguchi A, Kawahara I., Ito S., (2005) : Occurrence, growth and food of longheaded eagle ray, *Aetobatus flagellum*, in Ariake Sound, Kyushu, Japan. *Environmental Biology of Fishes*, 74, 229-238.

(2019年8月31日受付)

(2019年12月5日受理)