

修士学位論文

アカウミガメ (*Caretta caretta*) の性成熟過程に関する研究

平成18年度

東京大学大学院

農学生命科学研究科

生圏システム学専攻

生圏資源環境学／水域保全学研究室

石原 孝

指導教員： 亀崎 直樹

アカウミガメ (*Caretta caretta*) の性成熟過程に関する研究

生圏資源環境学/水域保全学研究室

石原孝

指導教員 亀崎直樹

アカウミガメ (*Caretta caretta* Linnaeus 1758) は世界中の温帯から亜熱帯にかけて分布する大型の海棲爬虫類である。本種の繁殖生態に関する知見は産卵のために上陸してくる雌を中心に集積されてきた。しかし、産卵期以外の雌や雄、さらに未成熟個体と接する機会は限られており、それらに関する生態学的知見も限られ、絶滅の危機に瀕している本種の保全対策を講じる上でも支障をきたしている。そこで、本研究では混獲されたアカウミガメの成熟した個体と成熟前の個体を調べて、雌雄の成熟にいたるサイズや形態の分化、さらに精子や卵の産生能の獲得について明らかにした。また、これまで知見が限られていた交尾期についても、雄の精子の貯蔵状態より検討した。

材料と方法

2003年6月から2006年10月までの間に高知県室戸市にある大型定置網で混獲された56個体、島根県沖の巻網にて混獲された4個体、及び鹿児島県奄美大島に漂着した1個体の合計61個体の死亡個体と、同じく室戸の大型定置網で混獲された生体の68個体を用いた。

これらの標本はすべて標準直甲長 (SCL)、直甲幅 (SCW) を計測し、可能な限り尾長 (TL) と体重 (BWt) も計測した。死亡個体については解剖を行い生殖腺の形態から性を判別した。すなわち、生殖腺の全体の形態がヒダ状に広がり表面には肉眼で卵胞の見られるものを卵巣、表面が滑らかでヒダ状でないものを精巣とした。解剖個体は雌であれば陰核長 (CL)、卵巣重量 (OWt)、最大の卵胞直径 (FD)、輸卵管最大幅 (OdW) を可能な限り計測し、黄体、白体、総排泄腔の輸卵管開口部の膜の有無を観察した。雄であれば陰茎長 (PL)、精巣重量 (TWt)、精巣上体重量 (EWt) を計測し、総排泄腔の輸精管開口部の膜や精巣及び精巣上体、総排泄腔内の精子の有無やその密度を記録した。また、生体68個体のうちSCLとTLから雄と判別できた29個体については、総排泄腔内の粘液中の精子の有無を調べた。

解剖個体は、雌では未成熟と成熟の二段階、雄では未成熟、成熟過程、成熟の三段階に分類

した。すなわち、黄体・白体が見られない未排卵個体を未成熟雌、それらが見られる個体を成熟雌、尾部の伸長が始まらない雄を未成熟雄、尾部伸張は始まっているが精子の量が少ない個体を成熟過程の雄、精子量が十分であるか、尾部伸張の著しい個体を成熟雄とした。

結果と考察

1. 試料のサイズ

死亡個体の内訳は雌が39個体、雄が22個体であった。これらのSCLとBWtは、雌ではそれぞれ $745 \pm 56\text{mm}$ ($n=39$, range:636-919) と $60 \pm 11\text{kg}$ ($n=24$, range:46-89)、雄では $772 \pm 69\text{mm}$ ($n=22$, range:686-944) と $69 \pm 21\text{kg}$ ($n=10$, range:46-107) であった。また、生体68個体のうち雄と判断した29個体のSCLは $811 \pm 58\text{mm}$ ($n=29$, range:718-916)、BWtは $76 \pm 14\text{kg}$ ($n=26$, range:53-110)、TLは $304 \pm 74\text{mm}$ ($n=29$, range:175-435) であった。

2. 形態の性差

本種の相対成長の性差を見るため、SCLとSCW、BWt、TLの関係を調べたところ、SCLに対するSCW、BWtには性差が認められなかったが、TLには性差が認められた。SCLに対するTLの回帰直線をそれぞれ雌雄で求めたところ、その交点はSCL 699mm、TL 110mmとなった。雄はSCLが凡そ700mmになると尾が急速に伸長し、形態の分化が起こることが示された (図1)。

SCLに対するPLやCLの関係でも、TLの

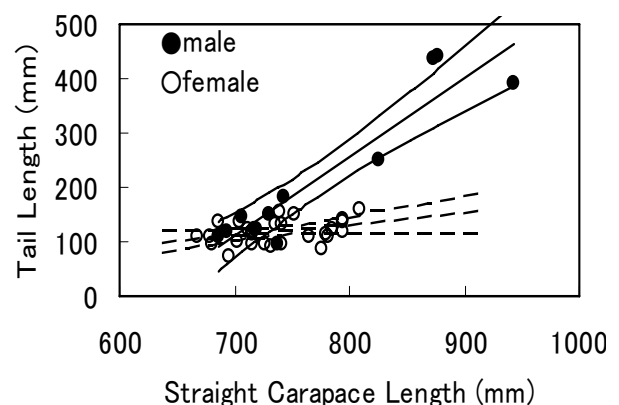


図1. SCLとTLの回帰分析。回帰直線と95%信頼区間。

場合と同様に SCL 700mm を超えると PL は CL よりも相対的に大きくなった。つまり、雄の TL の伸長が始まるのと同時に PL の伸長も始まり、SCL 700mm 程度から雄は成熟過程に入ると示唆された。また、雌の OWt, FD, OdW の値も SCL 700mm を超えると変化が見られた。

3. 生殖腺の観察

35 個体の雌の卵巣を観察した結果、5 個体で黄体と白体を確認し、排卵経験がある、すなわち成熟していると判断できた。また、この 5 個体は輸卵管内に卵殻で覆われた卵があり、近く産卵に至ると考えられた。成熟個体の SCL の範囲は 780-919mm (n=5) であり、排卵経験のない個体の SCL の範囲は 636-810mm (n=33) であった。成熟個体の最小が 780 mm, 排卵経験のない個体の最大が 810 mm であったことから、雌が排卵、産卵を開始する SCL は 800mm 付近であると推察された。しかし、日本の各地で産卵する個体の SCL の最小は、和歌山県千里海岸で 693mm, 宮崎海岸で 700 mm であることを含めると、北太平洋のアカウミガメは SCL 700-800mm で順次成熟し、その範囲では未成熟個体と成熟個体が混在することが明らかになった。

雄では 16 個体中 6 個体の精巣、精巣上体から精子が確認され、その SCL は 828±54mm (n=6, range:743-877), TL は 180, 435, 440 mm (n=3) であった。TL 及び PL の伸長が始まった SCL 約 700mm の時点では精子産生は行われておらず、精子産生は SCL743mm, TL180mm 以上の個体で確認された。しかし、SCL が 743, 761mm の 2 個体の精子産生量はごく僅かで、繁殖をするのに十分とは言えなかった。高密度の精子が見られた 4 個体は精巣重量や精巣上体重量が相対的に重く、十分に成熟した個体であると考えられ、その SCL は 865±10mm (n=4, range:854 -877), TL は 435, 440mm (n=2) であった。これらの成熟雄では総排泄腔内にも精子が見られ、精子が総排泄腔に排出されていると考えられた。そこで、成熟する SCL 及び TL をより詳しく明らかにするために、総排泄腔内の精子の有無を生体の雄 29 個体を加えて検討した。総排泄腔内から精子を確認できた個体の SCL は 843±39mm (n=11, range: 785-902) であり、TL は 359±59mm (n=10, range: 240-440) であった。このことから、精子が十分産生され総排泄腔に出てくるよう

な雄は SCL 約 800mm, TL 約 250mm から出現し始め、SCL や TL は成熟後も大きくなることが示された。

4. 総排泄腔での精管、輸卵管開口部の形態

雌では輸卵管開口部を覆う白い膜がある個体とない個体が見られた。膜のある個体の SCL は 735±36mm (n=21, range:667-795), 膜のない個体の SCL は 834±52mm (n=5, range: 780-919) であり、SCL は膜のない個体の方が有意に大きかった ($p<0.001$, U-test)。また、膜の有無を確認した成熟個体では 4 個体すべてで膜が消失していた。このことから、膜が消失することで精子や卵が輸卵管開口部を通過出来るようになるかと推察された。

一方、雄の精管開口部にも同様の膜がみられたが、雄では成熟、未成熟を問わずすべての個体に見られた。雄の膜が成熟後も消失しないのは、pH や温度の影響を受けやすい精子を総排泄腔内のし尿と隔離するためではないかと推察された。

5. 雄の精子産生と交尾の季節

成熟雄 5 個体の精巣重量は 12 月から 3 月は相対的に重く、5 月に減少し、8 月にはさらに減少しており (図 2), 成熟雄の精子産生は精巣重量が減少し始める 5 月には活発ではなくなると推察された。精巣で産生された精子は一旦、精巣上体に貯蔵されるが、12 月の精巣上体重量は 1 月から 5 月に比べて軽く、12 月には精子がまだ十分に貯蔵されていないものと思われた (図 2)。従って、精子産生は 12 月頃に開始されると推察された。

精子の産生は交尾期に合わせて行われるものであり、5 月の個体では既に精巣は萎縮し始めており、8 月の個体では精巣及び精巣上体中に精子は見られなくなっていた。このことより、交尾は産卵に先立つ時期に行われ、5 月から 8 月の間には終了すると推察された。一方、12 月には既に十分量の精子が精巣上体中に蓄えられており、12 月には既に交尾をしている可能性があった。

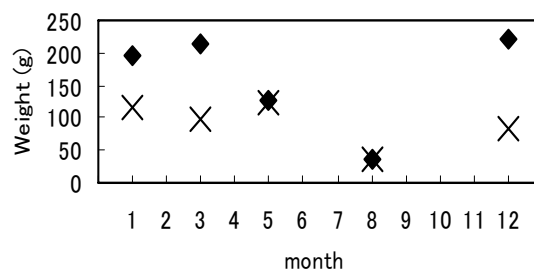


図 2. 成熟雄の TWt, EWt の季節的变化. ◆TWt, ×EWt

アカウミガメ (*Caretta caretta*) の性成熟過程に関する研究

目次

1. 序論	1
2. 材料と方法	5
2-1. 材料	5
2-2. 調査個体の計測方法	5
2-3. 成熟の定義	7
2-4. 精子の観察方法	7
3. 結果	8
3-1. 調査個体のサイズ	8
3-2. 性成熟と形態 (1): 形態の性差	9
3-3. 性成熟と形態 (2): 総排泄腔での精管、輸卵管開口部の膜	9
3-4. 性成熟と形態 (3): 性的二形を示す甲長と尾長及び陰茎・陰核長	11
3-5. 性成熟と形態 (4): 雌の成熟-卵巣重量と卵胞サイズ、輸卵管のサイズ	12
3-6. 性成熟と形態 (5): 雄の成熟-精子を産生する甲長	14
3-7. 精子産生の行われる季節	16
4. 考察	18
4-1. 形態の性差	18
4-1-1. 直甲幅、体重	18
4-1-2. 尾長	18
4-2. 輸卵管、精管開口部に見られる膜	19
4-2-1. 雌: 輸卵管開口部に見られる膜	19
4-2-2. 雄: 精管開口部に見られる膜	20
4-3. 性成熟にいたる過程とサイズ	21
4-3-1. 雌の性成熟過程とサイズ	21
4-3-2. 雄の尾部伸長が始まる甲長	21
4-3-3. 尾長を用いた性判別の技術的応用	22
4-4. 精子産生をする季節	23
4-5. 交尾の季節	24
5. 謝辞	26
6. 引用文献	28
7. 附図	34
8. 附表	54

1. 序論

アカウミガメ (*Caretta caretta* Linnaeus 1758) は爬虫綱(Reptilia), カメ目(Testudines), ウミガメ科(Cheloniidae), アカウミガメ属(*Caretta*) に属する大型の海棲爬虫類であり, 世界中の温帯から亜熱帯の水域に分布し (Dodd, 1988), 大西洋ではアメリカ・ブラジルに, 地中海ではギリシャ・トルコ・キプロス・リビア・エジプト・シリア・イスラエルに, 太平洋では日本・オーストラリア東岸・ニューカレドニアに, インド洋ではオマーン・南アフリカ・モザンビーク・マダガスカル・インド・スリランカ・オーストラリア西部に主な産卵場が見られる (Bolten and Witherington, 2003; Spotila, 2004). 産卵巣数の推移は大西洋 (Ehrhart *et al.*, 2003), 地中海 (Margaritoulis *et al.*, 2003), 太平洋 (Kamezaki *et al.*, 2003; Limpus and Limpus, 2003), インド洋 (Baldwin *et al.*, 2003) でまとめられており, 繁殖の強度や個体群サイズを示す指標と成っている. アカウミガメは過去, 各地で産卵個体数の減少が報告されており (Ross, 1979), CITES で付属書 I, IUCN Red List of Threatened Animals で Endangered (EN) に指定され世界的に絶滅が危惧されている. 本種を絶滅から回避させるには, 本種の生活史を明らかにし, 健全な繁殖生態と生育を維持することが重要である.

アカウミガメ, 特に日本で産卵する北太平洋個体群の生活史はウミガメ類の中では相対的に研究例は多いが, その中でも解明が遅れているのが性成熟年齢である. アカウミガメは繁殖活動に参加し, 子孫を残せるようになるまでには長い時間を必要とする. アカウミ

ガメの成熟年齢は北大西洋西部沿岸で産卵する個体群において推定されており、標識再捕獲法による成長速度より計算した 22 年程度 (Frazer, 1983)、上腕骨の年輪を用いた年齢推定より 20-24 年 (Parham and Zug, 1997) という成熟年齢が導き出されている。世界のアカウミガメ個体群を平均したとき、成熟した雌は主に夏季に砂浜へ上陸し、1 シーズン中に 1 頭の雌が平均 2-4 回 (Miller *et al.*, 2003)、最大で 7 回 (Lenarz *et al.*, 1981) 産卵することが分かっている。また、1 回の産卵数は平均 112.4 (min 23 -max 198) 個 (Van Buskirk and Crowder, 1994) で、同一シーズン中の回帰間隔は大体 12-16 日 (Miller *et al.*, 2003)、産卵を行う年の間隔は 2.59 ± 0.15 年 (Miller, 2003) とされている。

このように、アカウミガメの生活史や生態については、雌の産卵生態についてかなり詳しく明らかにされてきたものの、雄については情報が不足している。また、未成熟個体や産卵期以外の成熟個体に関する知見は、産卵のために上陸する雌に比べて試料やデータを得られる機会が限られるため十分に得られていない。そのため、成熟する過程や産卵期以外の個体に関する生態的、生理学的な知見は限られている。

このような状況の中、未成熟個体の成熟過程や雄の繁殖生態に関し、次のようなことが明らかになっている。まず、成熟過程においては雄の尾部が顕著に伸長し、外部形態の性的二形を示すことが知られている。すなわち、成熟した雄個体は尾部が伸長し、四肢のツメが発達し強く湾曲すると共に、腹部が凹むことによって雌や未成熟個体と区別することができる (Hughes, 1974) ようになるのである。さらに、雌では卵黄形成を開始した後、

多くの場合 2 シーズン目で排卵すると Limpus (1990) は述べている。一方、雄の繁殖生態に関する研究は限られているが、性ステロイドホルモンの滴定濃度の研究から、成熟した雄は毎年繁殖活動に参加する（オーストラリア；Wibbels, 1990）と考えられている。また、雄の繁殖活動である交尾行動は、産卵の 30 日ほど前に行われることが飼育下のアオウミガメ（Licht *et al.*, 1979; Owens and Morris, 1985; Wood and Wood, 1980）や野生のアオウミガメ（オーストラリア；Booth and Peter, 1972; Limpus, 1993, アセンション諸島；Godley *et al.*, 2002）、ヒメウミガメ（東太平洋；Plotkin *et al.*, 1994; 1996）で知られており、アオウミガメやヒメウミガメでは雄の大半が交尾後、雌の産卵期のピークまでに繁殖海域を離れる（Booth and Peter, 1972; Plotkin *et al.*, 1994; 1996）ことが報告されている。交尾期は産卵期に約 1 ヶ月先行する（Godley *et al.*, 2002）と考えられ、アカウミガメの雄の繁殖に関する研究は殆どないが、日本での交尾が 4 月に産卵場の沖合で観察されており（興, 2001）、アカウミガメの交尾期もアオウミガメと同じく産卵期に先行して行われると考えられている。しかし、交尾が観察された時期以外には交尾が行われていないとは限らず、尚一層の情報の集積が必要である。

ここで、未成熟個体やその成熟過程を研究する上で問題になるのは、外部形態から性を判断するのが困難なことである。外部形態の変化は成熟した雄についてのみ見られることから、未成熟個体は外部形態から雌雄を判定することができず、成熟した雌も未成熟の個体と外部形態に差が認められない。性を確実に判別するには生殖腺が精巣と卵巣のどちら

に分化しているかを確認することが必要となり、死亡個体ならば解剖によって生殖腺を観察することができる。生存個体の性を判別する方法は Wibbels *et al.* (2000) に詳しいが、内視鏡を用いて生殖腺を確認する方法 (Wood *et al.*, 1983; Limpus and Reed, 1985; Limpus, 1985; Owens, 1999) や血清中のテストステロン濃度によって推定する方法 (Casale *et al.*, 1998; Gross *et al.*, 1995; Owens *et al.*, 1978; Wibbels *et al.*, 1987) がある。しかし、これらの方法は相応の設備と技術を必要とし、困難を伴う。さらに、成熟するサイズは産卵個体の甲長から雌について知られているのみで、雄については情報がない。

そこで、本研究では主に高知県室戸市の大型定置網で混獲されたアカウミガメの成熟した個体と成熟前の個体を調べ、雌雄の成熟にいたるサイズや形態の分化、さらに精子や卵の産生能の獲得について明らかにすることを目的とした。また、これまで知見が限られていた交尾期について明らかにすることを目的とした。

2. 材料と方法

2-1. 材料

2003年6月から2006年10月までの間に高知県室戸市にある大型定置網で混獲されたアカウミガメ (*Caretta caretta*) 56個体、島根県沖の巻網にて混獲された4個体、及び鹿児島県奄美大島に漂着した1個体の合計61個体の死亡個体と、同じく室戸の大型定置網で混獲された生存個体の68個体を用いた。それぞれの採集場所を図1に示す。死亡個体については解剖を行い生殖腺の形態から性を判別した。生存個体の性は本研究の考察4-3-3に従い標準直甲長 (SCL) と尾長 (TL) から雌雄を判別した。

2-2. 調査個体の計測方法

生存個体と死亡個体で計測または観察を行った形質を表1に示した。すべての個体は標準直甲長 (SCL: Straight Carapace Length) 及び直甲幅 (SCW: Straight Carapace Width) を専用のノギスを用いて mm 単位で計測し、可能な限り尾長 (TL: Tail Length) と体重 (BWt: Body Weight) も計測した。TLはできる限りまっすぐに伸ばした状態で腹甲の最後端から総排泄腔中央までをメジャーを用いて 5cm 単位で計測し (図2)、BWtは水産用棹秤を用いて kg 単位で計測した。

死亡個体は解剖して生殖器官の観察を行った。生殖腺は腹腔の後端付近の背側に左右対称に1対見られ、全体の形態がヒダ状に広がり表面には肉眼で卵胞の見られるものを卵巢 (図3a)、表面が滑らかでヒダ状でないものを精巢 (図3b) とし、雌雄の判別に用いた。雌では排卵経験の有無を調べるため、卵巢中の黄体や白体 (図4) の有無を観察した。ま

た、雄の精管と雌の輸卵管が総排泄腔に開口する泌尿生殖突起上にこれまでに報告のない、白い膜の見られる個体と見られない個体を確認したため、その膜の有無を記録した。

生殖器官の計測は雄ならば陰茎長 (PL: Penis Length), 精巣重量 (TWt: Testis Weight), 精巣上体重量 (EWt: Epididymis Weight) を, 雌ならば陰核長 (CL: Clitoris Length), 卵巣重量 (OWt: Ovary Weight), 輸卵管最大幅 (OdW: Oviduct Width), 最大の卵胞直径 (FD: Follicle Diameter) を可能な限り計測した。

PL 及び CL は総排泄腔内の腹側中央付近に位置しており, 付け根から先端までをノギスを用いて 0.1mm 単位で計測した (図 5)。生殖腺や精巣上体の形態は安定していないため重量を 0.1g 単位で計測した。輸卵管は体内では輸卵管膜により折りたたまれており, その長さを測定することが困難なため, 輸卵管の幅が最大となる総排泄腔へと繋がる場所をノギスを用いて 0.1~1mm 単位で計測した。卵胞は卵巣中に見られる最も大きなものの直径をノギスを用いて 0.1mm 単位で計測した。

また, SCL に対する TL, TL に対する PL・CL の相対成長を調べるため, 独立変数 X に対する従属変数 Y の相対成長式を $Y = b \cdot X^a$ で表した。独立変数 X には SCL または TL, 従属変数 Y には, PL, CL を用いた。X と Y との間の相関関係が認められた時 ($p < 0.05$, ピアソンの積率相関係数の有意性検定), a の値を基に X に対する Y の相対成長のタイプを優成長 ($a > 1.2$), 等成長 ($1.2 > a > 0.8$), 劣成長 ($0.8 > a$) に分類した。

2-3. 成熟の定義

本研究では解剖した個体について、生殖腺の発達段階を基に、雌では未成熟と成熟の二段階、雄では未成熟、成熟過程、成熟の三段階に分類した（図6）。雌では排卵経験の有無を分類の基準とし、卵巣に黄体や白体が見られない未排卵個体を未成熟、黄体や白体が見られる排卵を経験した個体を成熟とした。雄では尾部の伸長が始まらない雄を未成熟、尾部伸長は始まっているが精子がないか或いは少ない個体を成熟過程、精子が十分あるか尾部伸長の著しい個体を成熟雄とした。

2-4. 精子の観察方法

精子の観察は、死亡個体から精巣・精巣上部が新鮮な状態で得られた時、中央部に切り込みを入れ、その断面をスライドグラスに押し付け、光学顕微鏡にて400倍で検鏡した。また、総排泄腔内の粘液中に精子が含まれているかどうかを調べるため、生存個体の総排泄腔にスポイドを挿入する（図7）か、死亡個体を解剖して総排泄腔内の粘液を採取した後、光学顕微鏡にて400倍で検鏡した。精子が確認でき、十分な量の精液または粘液を採取できたとき、血球算定板を用いて精子密度を算出した。精子密度は採取した精液または粘液1ml中に何個の精子が見られるかで表し、高密度（ $>10^6$ 個/ml）、低密度（ $10^4 \sim 10^5$ 個/ml）、稀（ $<10^3$ 個/ml）、なし（0個/ml）の4段階に分類した（図8）。

3. 結果

3-1. 調査個体のサイズ

死亡していた 61 個体は解剖の結果、39 個体は雌、22 個体は雄であった。これらの標準直甲長 (SCL; straight carapace length), 直甲幅 (SCW; straight carapace width), 体重 (BWt; body weight), 尾長 (TL; tail length) は、雄では SCL: 772 ± 69 mm (n=22, range: 686-944), SCW: 618 ± 41 mm (n=22, range: 548-711), BWt: 69 ± 21 kg (n=10, range: 46-107), TL: 213 ± 127 mm (n=12, range: 95-440), 雌では SCL: 745 ± 56 mm (n=39, range: 636-919), SCW: 606 ± 38 mm (n=39, range: 521-726), BWt: 60 ± 11 kg (n=24, range: 46-89), TL: 117 ± 21 mm (n=27, range: 75-160) であった。

また、生存個体 68 個体のうち雌雄の内訳は雄 29 個体、雌 9 個体となり、30 個体の性は判別できなかった。雄と判断した 29 個体の SCL は 811 ± 58 mm (n=29, range: 718-916), SCW: 638 ± 37 mm (n=28, range: 576-710), BWt は 76 ± 14 kg (n=26, range: 53-110), TL は 304 ± 74 mm (n=29, range: 175-435) であった。雌と判断した雌 9 個体の SCL は 795 ± 31 mm (n=9, range: 739-858), SCW: 627 ± 28 mm (n=9, range: 594-680), BWt は 74 ± 7 kg (n=8, range: 65-85), TL は 128 ± 10 mm (n=9, range: 115-150), 性判別ができなかった 30 個体の SCL は 751 ± 54 mm (n=30, range: 670-901), SCW: 614 ± 41 mm (n=30, range: 553-707), BWt は 64 ± 16 kg (n=26, range: 43-115), TL は 158 ± 22 mm (n=25, range: 110-193) であった。

死亡個体及び生存個体の雌雄の個体数を表 2 に、調査個体の SCL, SCW, BWt, TL を

表 3 に示した.

3-2. 性成熟と形態 (1): 形態の性差

解剖して生殖腺を確認した雄 22 個体と雌 39 個体の死亡個体で SCL を比較したところ、SCL の大きさに性差は認められなかった ($p > 0.05$, Mann-Whitney U 検定). 次に、アカウミガメの相対成長に性差があるかどうかを確認するため、SCL を基準として SCW, BWt, TL を雌雄で比較した. SCL に対する SCW, BWt, TL はそれぞれ雄で $SCW = 0.55714 SCL + 187.95665$ ($n=22$, $R^2=0.86648$), $BWt = 0.20394 SCL - 65.21478$ ($n=13$, $R^2=0.09503$), $TL = 1.09990 SCL - 756.89904$ ($n=22$, $R^2=0.28351$), 雌で $SCW = 0.63838 SCL + 130.07866$ ($n=39$, $R^2=0.85820$), $BWt = 0.33576 SCL - 179.38149$ ($n=29$, $R^2=0.34963$), $TL = -0.17581 SCL + 197.86689$ ($n=39$, $R^2=0.02565$) であった. SCL に対する SCW, BWt に性差は認められなかった ($p > 0.05$, ANCOVA) が、SCL に対する雌雄の TL には有意な性差が認められ ($p < 0.05$, Mann-Whitney U 検定), 雄が雌に比べて急激な尾部伸長を示した.

3-3. 性成熟と形態 (2): 総排泄腔での精管, 輸卵管開口部の膜

雌の輸卵管は泌尿生殖突起の根元で総排泄腔へ開口しており、その総排泄腔への開口部を覆う白い膜の見られる個体と、この膜の見られない個体が存在した (図 9). 調査した 26 個体中、膜が見られたのは 21 個体で、その SCL は 735 ± 36 mm ($n=21$, range: 667-795) であった. 一方、膜の見られなかった 5 個体の SCL は 834 ± 52 mm ($n=5$, range: 780-919)

であり、膜の見られた個体よりも有意に大きかった ($p < 0.001$, Mann-Whitney U 検定).

膜の有無で SCL が異なったことは、個体が成長するとともに膜が消失することを示唆している。そこで、成熟個体と未成熟個体で膜の有無に違いが見られるか調べるため、膜の有無を確認した 26 個体中 25 個体で卵巣中の黄体や白体の有無を確認した。その結果、黄体と白体の認められた排卵経験個体、すなわち成熟個体は 4 個体で、そのすべてに膜は見られなかった。これら成熟個体の輸卵管内には卵殻で覆われた卵が認められ、近く産卵に至る個体であると考えられた。膜の見られなかった個体の中にも排卵経験のない未成熟個体が 1 個体存在したが、この個体の SCL は 810mm と膜の見られた 21 個体のどの SCL よりも大きかった。一方、膜の見られた個体には黄体や白体は見られず、すべて未成熟個体であった。そのうち 3 個体では膜が大きく膨張しており (図 9 b), その SCL は 732, 785, 795mm と膜のみられた個体の中では比較的大きな個体であった。すなわち、雌の輸卵管開口部を覆う白い膜は雌が成熟する直前に膨張、消失するものと示唆された。

また、雄 ($n=15$, SCL range: 686-944mm) の精管の開口部は泌尿生殖突起の先端に見られ、精管開口部は成熟、未成熟を問わず全ての個体で白い膜に覆われていた (図 9 d)。成熟個体の精子が充満している精巣上体を圧迫したところ、泌尿生殖突起の先端から精子が総排泄腔に流出することが確認された (図 10)。泌尿生殖突起には尿管が開口しており、尿管の開口部に膜はなかった。成熟した雄のアオウミガメで泌尿生殖突起を調べたところ、泌尿生殖突起内で精管と尿管は繋がっていなかった (図 11)。すなわち、成熟個体では消失している雌の輸卵管開口部を覆う膜とは異なり、雄の精管開口部を覆う膜は成熟しても消

失せず、精子が精管より総排泄腔へ流出する際にはこの膜を通過できることが示された。

3-4. 性成熟と形態 (3) : 性的二形を示す甲長と尾長及び陰茎・陰核長

ウミガメ類では雄の成熟過程でTLが伸長していくことが知られており、SCLに対するTLの値に雌雄で違いが見られたのはそのためであると考えられた。そこで、性を解剖によって特定できた雄 12 個体 (SCL 771 ± 82 mm, range ; 686-944mm), 雌 27 個体 (SCL 726 ± 102 mm, range ; 667-810mm) よりSCLとTLの関係を図 12 に示した。回帰式は雄でTL = $1.4388 \text{ SCL} - 896.38$ ($R^2 = 0.8721$), 雌でTL = $0.1923 \text{ SCL} - 24.61$ ($R^2 = 0.1373$) となり、その交点はSCL 699mm, TL 110mmであった。また、SCLが 700mm程度の個体ではTLに雌雄差はみられず、SCLが 700mm以上になると、SCLが大きくなるほど雄のTLが雌に比べて長く伸長して優成長を示した ($a = 4.90$, $p < 0.001$, $R^2 = 0.870$)。このことから、雌雄の回帰直線の交点は雄の尾部が伸び始めるSCL, TLを示す値として用いることができると考えられた。

一方、実際に現場で SCL と TL から性の判別を行うため、雄の 95%信頼区間の下限值が雌の 95%信頼区間の上限値を上回る SCL 及び TL の値を求めたところ、SCL は 734mm, TL は 124mm であった (図 12)。すなわち、雄の TL は SCL が約 700mm を超えると急速に成長し、雌の TL と形態の分化が起こり、SCL 743mm 以上では SCL と TL から雌雄を判別できるようになるものと考えられた。

同様に、SCLと雄の陰茎長 (PL; penis length) (n=13) 及び、陰茎と相同とされる雌の

陰核長 (CL; clitoris length) (n = 20) との関係を図 13 に示した. TLと同様にSCL 700mm程度ではSCLに対するPLとCLの値に雌雄差はないが, SCLが大きくなるほど雄のPLは雌のCLに比べて長くなっていった. PLとCLの回帰直線は, $PL = 1.3489 SCL - 912.64$ ($R^2 = 0.8426, n = 13$), $CL = 0.054 SCL - 14.324$ ($R^2 = 0.3227, n = 20$) となり, その交点はPLの伸長が始まると考えられ, SCL 694mm, PL・CL 23mmであった. また, TLに対するPL・CLの相対成長を調べたところ, $PL = 0.8365 TL - 54.662$ ($R^2 = 0.9052, n = 9$), $CL = -0.0254 TL + 27.874$ ($R^2 = 0.0158, n = 17$) となり (図 14), PLは優成長を示した ($a = 1.796, p < 0.01$, ピアソンの積率相関係数の有意性検定).

3-5. 性成熟と形態 (4): 雌の成熟 - 卵巣重量と卵胞のサイズ, 輸卵管のサイズ

排卵経験の有無から, その雌が成熟個体であるか未成熟個体であるかどうかを調べた. 卵巣に黄体や白体が見られればその個体は排卵を一度は経験している成熟個体とみなした. 成熟個体の SCL は 834 ± 52 (n=5, range: 780-919) mm であり, 黄体や白体がなく排卵経験のない未成熟個体の SCL は 731 ± 43 (n=34, range: 636-810) mm であった.

次に, SCLと卵巣重量 (OWt: ovary weight) の関係を図 15 に示した. 最もOWtが重かったのはSCL 919mmの個体で, その重量は 2.5×10^3 gを記録した. SCLが 700mm以下ではSCLの成長と共にOWtは増加するが, SCLが 700mmを超える個体では前述の個体を除くとOWtが 50gを超えることはなく (range: 14.9-48.1g) 横ばいに推移した. 前述したOWtの最も重かった個体は左右の輸卵管内に外殻の形成された卵を保持しており, 卵巣におい

ては直径 30mm前後に発達した大径の卵胞が片側だけで 217 個も見られた。従って、近く産卵に至ると考えられ、大径の卵胞は排卵間近の卵胞であると思われた。卵巢重量を計測できた 28 個体のうち、成熟していたのはこの個体だけであり、他の 27 個体 (SCL rang: 658-810mm) は輸卵管内に卵を持たず、卵巢に黄体や白体が見られなかったことから排卵経験はなく、未成熟個体であった。

次に SCL と卵巢に存在する卵胞の最大の直径 (FD: follicle diameter) との関係を図 16 に示した。卵巢に黄体や白体が見られる成熟個体の FD は $26.2 \pm 4.7\text{mm}$ (n=5, range: 17.9-32.0mm) に達しており、未成熟個体の $3.5 \pm 1.3\text{mm}$ (n=30, range: 0.8-6.2mm) と比較して大きく発達していた ($p < 0.00001$, Mann-Whitney U 検定)。未成熟個体の FD のみを見たとき (図 16), SCL 700mm を境として FD の大きさに違いが見られ、SCL が 700mm 以下の個体の FD は $1.7 \pm 0.9\text{mm}$ (n=8, range: 0.8-3.2) で、SCL が 700mm を超える個体の FD は $4.2 \pm 0.7\text{mm}$ (n=22, range: 3.1-6.2) であり、大きさは有意に異なった ($p < 0.00001$, Mann-Whitney U 検定)。

輸卵管の最大幅 (OdW: oviduct width) は成熟個体で $30.6 \pm 7.2\text{mm}$ (n=5, range: 16.9-36.5mm)、未成熟個体で $6.7 \pm 4.0\text{mm}$ (n=26, range: 2.3-15.4mm) と有意な違いが認められた ($p < 0.00001$, Mann-Whitney U 検定)。未成熟個体においては OWt や FD と同様に SCL 700mm を超えたところから増大する個体が見られた (図 17)。しかし、SCL 794mm の個体でも OdW が 3.3mm と SCL 700mm 以下の未成熟個体と同様の水準の個体も見られ、OWt, FD とは異なる傾向も示した。

3-6. 性成熟と形態 (5): 雄の成熟 -精子を産生する甲長-

精子は雄個体が成熟していくと精巣で作られ、精巣上体に貯蔵された後、総排泄腔内に送り出される。3-4では尾部の伸長が始まる SCL は約 700mm であることを明らかにした。この項では雄が精子産生を開始する SCL を明らかにするため、雄 46 個体の精巣、精巣上体、総排泄腔内の粘液を調べた。46 個体のうち 4 個体は精巣・精巣上体を、30 個体は総排泄腔内の粘液を、12 個体はその両方の精子の有無を確認した。その結果、精巣・精巣上体の精子の有無を確認した 16 個体中 6 個体及び、総排泄腔内の粘液を調べた 42 個体中 11 個体で精子が確認され、雄 46 個体中 14 個体ではいずれかの部位から精子を見ることができた。表 4 に総排泄腔内及び精巣内から精子の存在を確認できた 14 個体の精子密度及び精子の見られた部位を示した。精子の見られた個体の SCL は $831 \pm 47\text{mm}$ (n=14, range: 743-902), TL は $343 \pm 76\text{mm}$ (n=11, range: 180-440) であり、精子の見られなかった個体の SCL (n=32, $785 \pm 68\text{mm}$, range: 686-944mm), TL (n=27, $266 \pm 96\text{mm}$, range: 95-435mm) より有意に大きかった ($p < 0.05$, Mann-Whitney U 検定)。

アカウミガメの TL 及び PL の伸長が始まるのは SCL 約 700mm, TL 約 110mm の時点であることは 3-4 で記したが、その時点では精子産生は行われておらず、精子産生は SCL 743mm, TL 180mm 以上の個体の精巣で確認された。しかし、精子産生が見られ始めた甲長である、SCL が 743mm と 761mm の 2 個体の精子産生量は $10^3 \sim 10^4$ 個/ml とごく僅かであり、繁殖をするのに十分とは言えなかった。一方、SCL 854-877mm (n=4), TL 435,

440mm (n=2) の4個体からは $10^6 \sim 10^7$ 個/mlもの高密度の精子が見られ、十分に成熟した個体であると考えられた。また、精巣・精巣上部と総排泄腔内の粘液の両方を調べた12個体中4個体で精子が見られ、総排泄腔内の粘液に精子が見られた3個体ではいずれも精巣・精巣上部から高密度な精子が見られた。すなわち、精巣で精子が十分に産生されると精子は総排泄腔に流れ出すと考えられた。その結果、総排泄腔内に精子の見られる個体では成熟した個体であり、精巣で精子を産生しているが、その量が十分ではない個体は成熟過程の個体であると推察された。

総排泄腔内の粘液から精子の見られた個体は SCL 785mm, TL 240mm より見られ、精巣・精巣上部から精子の見られた個体は SCL 743mm, TL 180mm より見られた。このことから、精子が十分に産生され総排泄腔に出てくるような成熟雄は SCL 約 800mm, TL 約 250mm から出現し始め、未成熟個体は SCL 約 750mm, TL 約 200mm から成熟過程に移行すると推察された。

しかし、精子の見られなかった個体の中には SCL 944mm, TL 435mm の個体や SCL 826mm, TL 250mm の成熟或いは成熟過程と考えられる個体も含まれている。季節繁殖動物であるアカウミガメの精子産生には季節的な産生量の変化があることが予想される。そのため、精子が見られないからといって未成熟個体であるとは限らず、今後のデータの収集が望まれる。

3-7. 精子産生の行われる季節

アカウミガメの雄が精子産生を行う季節を明らかにするため、前項3-6で総排泄腔内の精子の有無を調べた雄42個体の精子の季節(月)別の出現を見た(図18)。9~11月には雄個体は捕獲されておらず、その他の月では捕獲されていた。その中で、2月に捕獲された2個体から精子は観察されなかったが、2月を除く12月から8月には総排泄腔内に精子の見られる個体が観察された。しかし、総排泄腔内に精子が存在する12月~8月が交尾可能な時期と考えるのは早計である。

そこで、成熟個体の精巣・精巣上体の大きさが季節的にどのように変化していくのかを調べた。精巣や精巣上体の大きさを表す計量形質としては重量、長さ、幅、高さが考えられるが、柔らかく形態が安定しないため、その大きさを表す値として重量を用いた。精巣重量(TWt: testis weight)または精巣上体重量(EWt: epididymis weight)を計測した16個体のうち、総排泄腔内に精子の存在した3個体、総排泄腔内の精子の有無を調べることができなかったが精巣上体に高密度な精子の見られた1個体、及びSCL 944mm, TL 390mmと十分に成熟していると考えられる1個体を成熟個体として抽出した。これら5個体のTWt, EWtを表5に示し、捕獲された月とTWt, EWtとの関係を図19に示した。

これら5個体は1, 3, 5, 8, 12月にそれぞれ1個体ずつ見られた。TWtは12, 1, 3月にはそれぞれ221.2g, 197.3g, 214.5gあり、相対的に5, 8月の個体よりも重かった。5月には127.8gと減少し、8月では36.5gとさらに減少していた。精巣は精子を産生する器官であることから、成熟雄の精子産生はTWtが減少始める5月には活発でなくなるもの

と推察された.

精巣で産生された精子は一旦精巣上体に貯蔵されることから, EWt は貯蔵された精子の数と正の相関を持つと思われる. EWt は TWt の減少に伴い 8 月には 35.5g まで減少し, 精巣上体中に精子は見られなくなった. また, 12 月の EWt は 82.8g であり, 1 月から 5 月に比べて軽く, 12 月には精子が精巣上体に貯蔵され切っていないと考えられた (図 19). 従って, サンプル数は少ないものの, 精子産生は 12 月頃に開始されるものと推察された.

4. 考察

4-1. 形態の性差

4-1-1. 直甲幅, 体重

アカウミガメの形態における性差は甲長の大きさを比較されている。すなわち、大西洋では雄の甲長は雌より長い (Pritchard and Trebbaru, 1984) という報告がある一方で、北太平洋 (Kamezaki, 2003) やグレートバリアリーフ南部 (Limpus, 1985) では甲長に性差はないとの報告もある。本研究の結果からは調査個体の標準直甲長 (SCL) に性差は認められず、Kamezaki (2003) や Limpus (1985) を支持した。

また、本研究では SCL に対する直甲幅 (SCW)、体重 (BWt) にも性差は認められなかった。岩本 (2006) は本研究の主な調査地である高知県室戸岬町の大型定置網で混獲されたアカウミガメの BWt は有意に雌が雄に比べて重いと述べている。ただし、岩本 (2006) は尾部の長さから恣意的に性を判別し、有意な差があるとしており、その正当性には疑問が残る。確実に生殖腺から性を判別した本研究結果では有意な違いは検出されなかった。従って、性による体重差に関しては顕著な違いはないものと考えられた。

4-1-2. 尾長

結果 3-4 で示したように、SCL に対する尾長 (TL) の回帰直線は雌雄に明瞭な違いが認められ、雌に比べて雄の TL は急激な伸長を示し、その性差は成長するほど明らかになった。この尾部の性的二形についてはよく知られており、本研究結果はそれを確認した。

4-2. 輸卵管，精管開口部に見られる膜

4-2-1. 雌：輸卵管開口部に見られる膜

本研究の結果において未成熟個体では輸卵管の総排泄腔への開口部に白い膜があることが確認された。この膜は排卵経験のない未成熟雌 22 個体中 21 個体に見られ、特に SCL が 732, 785, 795mm の比較的大きな 3 個体では膨張していた。一方、SCL 810mm の雌や白体や卵胞が見られた成熟雌では消失しており見られなかった (図 9)。ただし、この SCL 810mm の個体に限れば、黄体や白体は見つからず、排卵経験があるとは言えない。このことは繁殖を経験するとこの膜は消失するという仮説に矛盾するものであった。

しかし、概ね未成熟個体では膜が見られ、排卵を経験した成熟個体では膜が見られなかったことより、未成熟個体の輸卵管開口部の膜は初めての排卵が近づくと膨張し、その後消失するものと予想された。

雌の膜が消失する要因の一つとして、交尾時の雄のペニスによる物理的影響が考えられる。膨張した雌の膜は薄く、総排泄腔の内側に向かって張り出しており、交尾によって膨張した膜が消失する可能性は十分に考えられた。従って、膜の有無は性成熟の指標ではなく、被交尾経験の有無の指標となる可能性も示唆された。

この膜についての先行研究は極めて少なく、Burne (1950) が曲甲長 135cm の雌のオサガメで、Dunlap (1955) が未成熟と思われる 2 個体の雌のオサガメで輸卵管開口部を覆う膜の存在を確認しているに過ぎない。

本研究によって、この膜が成熟前に存在し、それが消失した後に排卵がおこるという過程は、本種の雌の成熟過程に何らかの関連性があるものと思われ、興味深い。

4-2-2. 雄：精管開口部に見られる膜

一方，雄の精管開口部の膜についての記載はこれまでにない．本研究では精管開口部に雌の膜と外見の似た白い膜が成熟雄，未成熟雄を問わず見られた．この膜で精管開口部が覆われている成熟個体でも総排泄腔内に精子が確認できたことは，精子が膜を透過できることを示している．また，膜がある雄個体において精巢上体を圧迫すると，総排泄腔に精管開口部から膜を通してゆっくりと染み出してきたことも確認した．

膜が存在する適応的な意義について次のように考察した．ウミガメの交尾は飼育下のアカウミガメで3時間以上（浅井，1999），同じく飼育されていたアオウミガメでは，その後産卵に至った個体の総交尾時間は平均 25.5 時間，最高 195.3 時間で，交尾時間が長い程に産卵率，孵化率が良い（Wood and Wood, 1980）．このような長い交尾時間は，今回確認された精管開口部の膜の存在と関係がある可能性がある．すなわち，精子がゆっくりと総排泄腔にでてくるために，交尾時間が長いほど多くの精子が流れ出し，受精率や孵化率と正の相関が見られたと推察された．

また，雄の膜が雌とは異なり成熟後も消失しないのは，卵殻に覆われた卵に比べて pH や温度の影響を受けやすい精子を総排泄腔内の尿や雑菌から隔離するためではないかと推察された．また，膜があることで不必要に精子が総排泄腔へ流れ出るのを防ぐ効果も期待された．

4-3. 性成熟にいたる過程とサイズ

4-3-1. 雌の性成熟過程とサイズ

本研究において排卵経験のある成熟雌の SCL は 834 ± 52 ($n=5$, range; 780-919) mm であり, 未成熟個体の SCL は 731 ± 43 ($n=34$, range; 636-810) mm であった. 成熟個体の最小が 780 mm, 未成熟個体の最大が 810 mm であったことから, 雌が排卵, 産卵を開始する SCL は 800mm 付近であると推察された.

日本国内のアカウミガメ産卵地における産卵個体の SCL は, 鹿児島県屋久島で 856 ± 46.8 (range; 735-101.5) mm, 宮崎県で 845 ± 56.4 (range; 700-970) mm, 和歌山県みなべ町で 832 ± 52.5 (range; 692-103.1) mm (Kamezaki, 2003) であり, これら日本国内における産卵個体の SCL の平均値は本研究の成熟個体のそれと大きく異ならなかった. しかし, 成熟する SCL には大きな個体差がある (Miller, 2003) ことが知られており, 本研究では SCL が 800mm 程度で初めての排卵を行うと示唆されたのに対し, 国内の産卵地では, みなべ町で SCL 693mm, 宮崎県で SCL 700mm の産卵個体も確認されている. すなわち, 北太平洋のアカウミガメは SCL 700-800mm で順次成熟し, その範囲では未成熟個体と成熟個体が混在することが明らかとなった.

4-3-2. 雄の尾部伸長が始まる甲長

ウミガメ類の甲長と尾長伸長の関係はこれまでに地中海のアカウミガメ (Casale, 2005), 日本のアカウミガメとアオウミガメ (平手, 2000) で調べられている. しかし, いずれも外部形態から尾長の長い個体を抽出して尾長伸長の始まる甲長を推定しており, 正確に性

を分けてから，その関係を求めた訳ではない．すなわち，尾長が短く雌と判断された個体の中にも，雄が含まれている可能性は十分予想される．また，南アフリカで幼体から飼育したアカウミガメが，SCL 60.0- 67.0cm の間で雄の尾部伸長が始まった (Hughes, 1974) という記録はあるが，雌雄 1 個体ずつの一例的な記録に過ぎない．

それに対して，本研究では生殖腺から性を正確に判別した個体のみを用いて，雄の尾長伸長の始まる SCL と TL を求めた (図 12)．すなわち，雌雄それぞれの回帰直線の 95% 信頼区間に基づいて，SCL734mm 以上の個体ならば TL から性を区別できると考えられた．平手 (2000) は沖縄で混獲されたアカウミガメを基に，明確に雄と区分できる SCL を約 720mm としており，本研究の結果とほぼ一致した．

4-3-3. 尾長を用いた性判別の技術的応用

本研究結果より，SCL と TL による性判別は SCL734mm 以上の個体において， $TL > -0.0014985 (SCL)^2 + 3.7531 SCL - 1823.4$ (雄の 95% 信頼区間の下限値の近似式) で雄， $TL < 0.00096739 (SCL)^2 - 1.2412 SCL + 516.12$ (雌の 95% 信頼区間の上限値の近似式) で雌であると判断できる．また，雌の TL は 160mm 以下であり，標識再捕獲記録から産卵のために上陸したことが分かっている SCL 854mm の雌においても TL は 177mm であったことから，雌の TL の SCL に対する相対成長速度は雄に比べて非常に鈍い．従って TL 200mm を超えていれば，SCL を問わず雄と判断してよいと考えられる．

一方，SCL が 734mm を超える個体であっても，TL が雌雄の 95% 信頼区間の中間の値をとる個体も存在し (図 20)，このような個体では尾長から性を判別することは難しく，生

殖腺を内視鏡を用いて確認することが望まれる。

4-4. 精子産生をする季節

本研究では、42個体の成熟雄を観察し、1月、3-8月、12月の11個体で精子を雄の総排泄腔内から観察することが出来た。2月に調査した雄はすべて未成熟個体であり、9-11月には試料を得られなかったことから、成熟した雄は12月から8月にかけて精子をもっていることが示された。

一方、精子の産生に指標となる成熟個体の精巣重量 (TWt) の年変動をみると、12月から3月に年間の中で相対的に重くなり、5月には減少し、さらに8月にはさらに減少した。このことは、12月から3月までの間、精巣が活発に精子を産生しており、5月以降になると精子の産生が休止されていくことを示唆している。従って、成熟した雄のアカウミガメは TWt の減少し始める5月頃に精子産生を終了すると推察された。

精巣で産生された精子は精巣上体中に貯蔵されるが、12月に捕獲された1個体の精巣上体重量 (EWt) は1月から5月に比べて軽く、12月にはまだ精巣で産生された精子が十分に貯蔵されていないものと思われた。このことから、例数は少ないものの、精子産生は12月頃から始まり5月頃まで続いているものと推察された。繁殖期が終わる8月は TWt と共に EWt も最も小さくなり、精巣や精巣上体中に精子は認められなかったことから、精子産生の休止期であると考えられた。

精子の産生時期は精巣のバイオプシーサンプルから、ヒメウミガメでは交尾期前の4、5ヶ月間に (Rostal, 2005)、アカウミガメでは冬から春にかけて9ヶ月間 (Wibbels et al.,

1990) 行われることが報告されている。本研究の結果では精子産生の時期は 12 月から 5 月の 6 ヶ月間であり、これらの報告と一致した。

また、成熟した雄のアカウミガメでは毎年繁殖に参加する (Wibbels et al., 1990) とされているが、本研究では SCL, TL の大きさから十分に成熟していると思われる個体においても精子の見られなかった個体が 3 月から 8 月の間で断続的に存在した (図 18)。このことは、成熟した雄も繁殖すなわち交尾に参加しない年があることが示唆された。ただし、これらの個体は総排泄腔内の精子の有無を調べただけであり、それによって繁殖の有無を議論するのは無理があるかもしれない。今後、より多くの試料を集めるとともに、総排泄腔内からの精子の採取方法を検証する必要があるであろう。

4-5. 交尾の季節

本研究結果から 5 月の個体では既に精巣は萎縮し始めており、8 月の個体では精巣及び精巣上体中に精子は見られなくなっていた。季節繁殖動物の生殖腺の活動は繁殖季節が終わると低下し、非繁殖季節の雄では精巣が萎縮して精子産生は休止または低下する (佐藤, 2003)。アカウミガメも夏季に産卵を行う季節繁殖動物であり、精子産生は交尾の前に行われる (Wibbels, 1990) とされ、交尾を行った後に精巣及び精巣上体が萎縮すると考えられる。このことより、交尾は 5 月から 8 月の間には終了すると推察された。日本におけるアカウミガメの産卵は 5 月から 8 月にその中心があり、本研究結果は交尾が産卵に先駆けて行われることを示唆している。

ウミガメ類の交尾は産卵期の直前に見られ (Booth and Peters, 1972; Godley et al., 2002;

Hamann et al., 2003; 梶原・内田, 1974; Limpus, 1993; Owens, 1980; Wood and Wood, 1980), 初回の産卵の約 30 日前であると一般にいわれ (Plotkin et al., 1996), 本研究結果の交尾終了時期はこれに一致する.

交尾が開始される要因として, Godley et al (2002) は南大西洋アセンション諸島のアオウミガメにおいて雌が産卵場近くに来遊する数に平行して交尾が増加することを示し, 季節的な雄の出現や交尾は産卵を控えた雌の存在に影響されるのだらうと述べている. 交尾が産卵場近くの海域以外で観察された記録は少なく, 交尾が観察されるのは主に産卵場の近くであるが, これは雌雄が集合しやすいためであると考えられる. 交尾が雌の存在に影響されるのであれば, 産卵場から離れた場所でも雌雄が出会えば交尾を行うことも考えられる. 本研究において, 精巢上体には 12 月から精子が貯蔵されており, 1 月には既に十分な量が蓄えられていた. 従って, 雌雄が出会えば 1 月には既に交尾をしている可能性があった.

5. 謝辞

ご多忙の中、本研究を遂行し論文にまとめるにあたり常々懇切なご指導と拙い文の御校閲を賜った東京大学大学院農学生命科学研究科の亀崎直樹客員助教授に心より厚く感謝申し上げます。

東京大学大学院農学生命科学研究科水域保全学研究室の日野明德教授、岡本研助教授、青木茂先生には遠方で研究を行うにあたり様々な便宜を図っていただくとともに、有益なご指導を賜わった。心より深く感謝の意を表します。

本研究に用いたアカウミガメの標本は日本ウミガメ協議会の仲村貴生氏、山崎千亜希さん、水野康次郎氏、大鹿達弥氏、岩本太志氏、高岡大敷組合の山下傑氏、前田敏和氏、山下昌司氏、小笠原利之氏並びに乗組員の皆様、椎名大敷組合の前組合長の安岡幸男氏、橋本健氏、小松昭士氏、植田晶氏並びに乗組員の皆様、三津漁業協同組合の戎井邦彦氏をはじめとした皆様、室戸岬町椎名地区の町田鮮魚店様、寺本鮮魚店様、三津大敷組合の乗組員の皆様、室戸岬東漁協高岡支所の皆様、室戸岬東漁協椎名支所の皆様、島根県立しまね海洋館の村上昌吾氏、守谷浩氏をはじめとした皆様、鳥取県立博物館の一澤圭氏、川上靖氏をはじめとした皆様、鳥取県栽培漁業センターの皆様、鳥取県立水産試験場の皆様の多大なるご支援とご協力によって収集することができた。神戸大学農学部応用動物学科の楠比呂志先生や南知多ビーチランドの黒柳賢治氏にはウミガメの生殖に関わる様々な事柄をご教授いただいた。また、主な調査地となった高知県室戸市ではホテルニュー室戸の皆様、仲村木工所の皆様、元小学校の皆様、高岡・椎名・三津の各地区の方々に大変お世話になった。この方たちの支えがなければ研究を遂行することはできなかった。日本ウミガメ協

議会の松沢慶将博士，島達也氏，宮形佳孝氏には研究に対するご助言を頂き，朽見健一郎氏，若月元樹氏，亀田和成氏，谷本理沙さん，谷口真理さん，圓東祐介氏，江口栄作氏，村井薫さん，日下部要氏，中本真理子さん，井嶋千絵さんには日々様々な面で助けていただいた。また、南知多ビーチランド、日和佐うみがめ博物館カレッタ、姫路市立水族館、姫路市立動物園の皆様には解剖や実験にご指導ご協力いただいた。三重大学ウミガメ・イルカ調査・保全サークル「かめっぷり」の皆様には調査、解剖を手伝っていただいた。最後になるが、東京大学大学院農学生命科学研究科水域保全学研究室の学生諸氏には度々ご迷惑お手数をおかけしたにも関わらず、いつも暖かいご支援をいただいた。ここに記すとともに、皆様方に心より感謝し、お礼申し上げます。

6. 引用文献

- 浅井康行. 1999. アカウミガメの雄は出会いのシチュエーションを大切にする?. ウミガメニュースレター. 41: 12-13.
- Baldwin R, Hughes GR, Prince RI. 2003. Loggerhead turtles in the Indian ocean. In: Bolten AB, Witherington BE, editors. Loggerhead sea turtles. Washington: Smithsonian Books. p 218-232.
- Bolten AB, Witherington BE. 2003. Loggerhead sea turtles. Washington: Smithsonian Books. 319 p.
- Booth J, Peters JA. 1972. Behavioural studies of the green turtle *Chelonia mydas* in the sea. Anim Behav 20:808-812.
- Burne RH. 1905. Notes on the muscular and visceral anatomy of the leathery turtle (*Dermochelys coriacea*). Proceedings of the General Meetings for Scientific Business of the Zoological Society of London 1:291-324.
- Casale P, Freggi D, Basso R, Argano R. 2005. Size at maturity, sexing methods and adult sex ratio in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from Italian waters investigated through tail measurements. Herpetological Journal 15:145-148.
- Casale P, Gerosa G, Argano R, Barbaro S, Fontana G. 1998. Testosterone titers of immature loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) incidentally caught in the central mediterranean: a preliminary sex ration study. Chelonian Conservation and Biology 3(1):90-93.
- Dodd CKJ. 1988. Synopsis of the biological data on the loggerhead sea turtle *Caretta caretta* (Linnaeus1758): Fish and Wildlife Service. U.S. Department of the Interior. 110 p.
- Dunlap CE. 1955. Notes on the visceral anatomy of the giant leatherback turtle (*Dermochelys coriacea* Linnaeus). THE BULLETIN OF THE TULANE MEDICAL FACULTY 14:55-69.
- Ehrhart LM, Bagley DA, Redfoot WE. 2003. Loggerhead turtles in the Atlantic ocean. In: Bolten AB, Witherington BE, editors. Loggerhead sea turtles. Washington:

- Smithsonian Books. p 157-174.
- Ewing HE. 1943. Continued fertility in female box turtles following mating. *Copeia* 1943(2):112-114.
- FitzSimmons NN. 1998. Single paternity of clutches and sperm storage in the promiscuous green turtle (*Chelonia mydas*). *Molecular Ecology* 7:575-584.
- Frazer NB. 1983. Demography and life history evolution of the Atlantic loggerhead, *Caretta caretta*. PhD dissertation, University of Georgia, Athens:[not seen: data from Dodd, 1988].
- Godley BJ, Broderick AC, Frauenstein R, Glen F, Hays G. 2002. Reproductive seasonality and sexual dimorphism in green turtles. *Marine Ecology progress series* 226:117-124.
- Gross TS, Crain DA, Bjorndal KA, Bolten AB, Carthy RR. 1995. Identification of sex in hatchling loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) by analysis of steroid concentrations in Chorioallantoic/Amniotic fluid. *General and Comparative Endocrinology* 99(2):204-210.
- Hamann M, Limpus CJ, Owens DW. 2003. Reproductive cycles of males and females. In: Lutz P, Musick JA, Wyneken J, editors. *The biology of sea turtles*: CRC PRESS. p 135-161.
- 平手康市. 2000. 沖縄島近海に出現するウミガメ類集団の種, 性, サイズ組成とその季節変動に関する研究. 琉球大学大学院理工学研究科修士論文.
- Hughes GR. 1974. The sea turtles of south-east africa 1. Status, morphology and distributions. Durban, South Africa: Oceanographic research institute. 144 p.
- 岩本太志. 2006. 高知県室戸岬沿岸におけるアカウミガメ (*Caretta caretta*) の個体群構造とその出現特性. 東京大学大学院農学生命科学研究科修士論文.
- 梶原武・内田至. 1974. 海亀の生態と保護. *海洋科学*. 6(5): 55-61.

- Kamezaki N. 2003. What is a loggerhead turtle? the morphological perspective. In: Bolten AB, Witherington BE, editors. Loggerhead sea turtles. Washington: Smithsonian Books. p 28-43.
- Kamezaki N, Matsuzawa Y, Abe O, Asakawa H, Fujii T, Goto K, Hagino S, Hayami M, Ishii M, Iwamoto T, Kamata T, Kato H, Kodama J, Kondo Y, Miyawaki I, Mizobuchi K, Nakamura Y, Nakashima Y, Naruse H, Omuta K, Samejima M, Suganuma H, Takeshima H, Tanama T, Toji T, Uematsu M, Yamamoto A, Yamato T, Wakabayashi I. 2003. Loggerhead turtles nesting in Japan. In: Bolten AB, Witherington BE, editors. Loggerhead sea turtles. Washington: Smithsonian Books. p 210-217.
- Lenarz MS, Franzer NB, Rolston MS, Mast RB. 1981. Seven nests recorded for loggerhead turtle (*Caretta caretta*) in one season. Herpetological Review 12:9.
- Licht P, Wood J, Owens DW, Wood F. 1979. Serum gonadotropins and steroids associated with breeding activities in the green sea turtle, *Chelonia mydas*. Gen Comp Endocrinol 39:274-289.
- Limpus CJ. 1985. A study of the loggerhead sea turtle, *Caretta caretta*, in Eastern Australia. PhD dissertation, University of Queensland, Brisbane, Australia.
- Limpus CJ. 1990. Puberty and first breeding in *Caretta caretta*. NOAA Technical Memorandum MFS-SEFSC 278:81-83.
- Limpus CJ. 1993. The green turtle, *Chelonia mydas*, in Queensland: reeding males in the southern great barrier reef. Wildl Res 20:513-525.
- Limpus CJ, Limpus DJ. 2003. Loggerhead turtles in the Equatorial and Southern Pacific ocean. In: Bolten AB, Witherington BE, editors. Loggerhead sea turtles. Washington: Smithsonian Books. p 199-209.
- Limpus CJ, Reed PC. 1985. The green turtle, *Chelonia mydas*, in Queensland: a preliminary description of the population structure in a coral reef feeding ground. In: Grigg G, Shine R, Ehmann H, editors. Biology of Australasian Frogs and Reptiles. Sydney: Surrey Beatty and Sons. p 47-52.

- Magnusson WE. 1979. Production of an embryo by an *Agrochordus javanicus* isolated for seven years. *Copeia* 1979(4):744-745.
- Margaritolis D, Argano R, Baran I, Bentivegna F, Bradai MN, Caminas JA, Casale P, De Metrio G, Demertopoulos A, Gerosa G, Godley BJ, Haddoud DA, Houghton J, Laurent L, Lazar B. 2003. Loggerhead turtles in the Mediterranean sea. In: Bolten AB, Witherington BE, editors. *Loggerhead sea turtles*. Washington: Smithsonian Books. p 175-198.
- Miller JD. 2003. Reproduction in sea turtles. In: Lutz P, Musick JA, Wyneken J, editors. *The biology of sea turtles*: CRC Press. p 51-81.
- Miller JD, Limpus CJ. 2003. Ontogeny of marine turtle gonads. In: Lutz P, Musick JA, Wyneken J, editors. *The biology of sea turtles*: CRC Press. p 199-224.
- Miller JD, Limpus CJ, Godfrey MH. 2003. Nest site selection, oviposition, eggs, development, hatching, and emergence of loggerhead turtles. In: Bolten AB, Witherington BE, editors. *Loggerhead sea turtles*. Washington: Smithsonian Institution Press. p 125-143.
- 興克樹. 2001. アカウミガメの交尾観察例. うみがめニュースレター. 50: 20-21.
- Owens DW. 1980. The comparative reproductive physiology of Sea Turtles. *Amer Zool* 20:549-563.
- Owens DW. 1999. Reproductive cycles and endocrinology. In: Eckert KL, Bjorndal KA, Abreu-Grobois FA, Donnelly M, editors. *Research and management techniques for the conservation of sea turtles*: IUCN/SSC Marine Turtle Specialist Group, Publ. p 119-123.
- Owens DW, Hendrickson R, Lance V, Callard IP. 1978. A technique for determining sex of immature *Chelonia mydas* using a radioimmunoassay. *Herpetologica* 34(3):270-273.
- Owens DW, Morris YA. 1985. The comparative endocrinology of sea turtles. *Copeia* 1985(3):723-735.

- Parham JF, Zug GR. 1997. Age and growth of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) of coastal Georgia: an assessment of skeletochronological age-estimates. *Bulletin of Marine Science* 61(2):287-394.
- Plotkln PT, Byles RA, Owens DW. 1994. Migratory and reproductive behavior of *Lepidochelys olivacea* in the eastern pacific ocean. NOAA Technical Memorandum MFS-SEFSC 341:138.
- Plotkln PT, Owens DW, Byles RA, Patterson R. 1996. Departure of male olive ridly turtles (*Lepidochelys olivacea*) from a nearshore breeding ground. *Herpetologica* 52(1):1-7.
- Pritchard PCH, Trebbau P. 1984. The turtles of Venezuela. Society for the Study of Amphibians and Reptiles, Contributions to Herpetology no.2.
- Ross JP. 1979. Historical decline of loggerhead, ridley, and leatherback sea turtles. In: Bjorndal KA, editor. *Biology and conservation of sea turtles*. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press. p 189-195.
- Rostal DC. 2005. Seasonal reproductive biology of the Kemp's ridley sea turtle (*Lepidochelys kempii*): comparison of captive and wild populations. *Chelonian Conservation and Biology* 4(4):788-800.
- Sakamoto W. 1997. Migration paths of the adult female and male loggerhead turtles *Caretta caretta* determined through satellite telemetry. *Fisheries Science* 63(4):55-61.
- 佐藤英明. 2003. 高等動物の生殖. 動物繁殖学. 朝倉書店. 東京. 1-10.
- Solomon S, Baird T. 1979. Studies on the egg shell (oviducal and oviposited) of *Chelonia mydas L.* *J Morphol* 22:145-160.
- Spotila JR. 2004. SEA TURTLES a complete guide to their biology, behavior and conservation. Baltimore and London: The Johns Hopkins University Press. 227 p.
- Van Buskirk J, Crowder LB. 1994. Lifehistory variation in marine turtles. *Copeia* 1994:66-81.

- Wibbels T, Owens DW, Limpus CJ. 2000. Sexing juvenile sea turtles: Is there an accurate and practical method? *Chelonian Conservation and Biology* 3(4):756-761.
- Wibbels T, Owens DW, Limpus CJ, Reed PC, Amoss jr MS. 1990. Seasonal changes in serum gonadal steroids associated with migration, mating, and nesting in the loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*). *Gen Comp Endocrinol* 79:154-164.
- Wibbels T, Owens DW, Morris YA, Amoss MS. 1987. Sexing techniques and sex ratio for immature loggerhead sea turtles captured along the Atlantic coast of the united states. NOAA Technical Report 53:65-74.
- Wood JR, Wood FE. 1980. Reproductive biology of captive green turtles *Chelonia mydas*. *American Zoologist* 20:499-505.
- Wood JR, Wood FE, Critchley KH, Wildt DE, Bush M. 1983. Laparoscopy of the green turtle, *Chelonia mydas*. *Brit J Herp* 6:323-327.

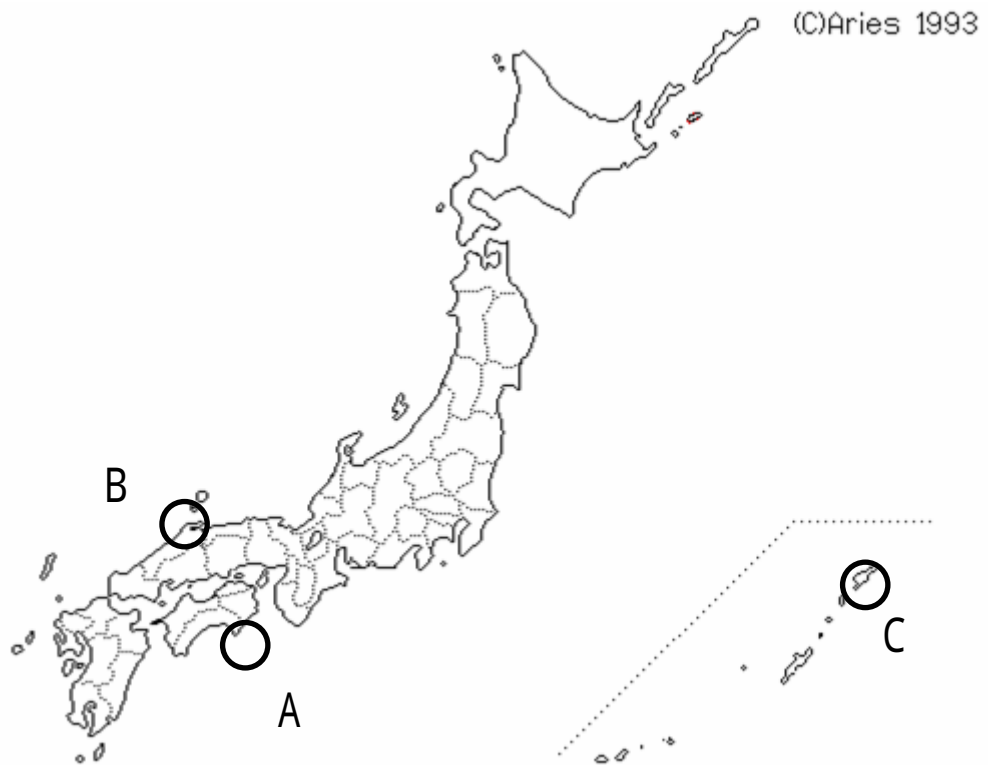


図1. アカウミガメ試料の採取地概要.
A: 高知県室戸市(大型定置網による混獲).
B: 島根県沖(巻網による混獲).
C: 鹿児島県奄美大島(死亡漂着).



図2. 尾長の計測.
腹甲後端より総排泄口中心までを5mmオーダーで計測した.

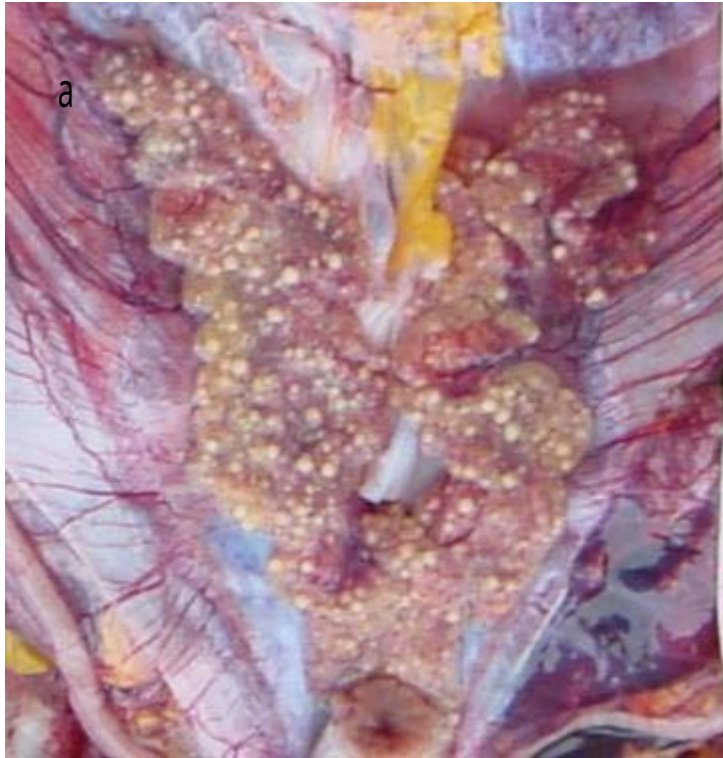


図3 . アカウミガメの生殖腺 .
a 雌の卵巣 , b 雄の精巣

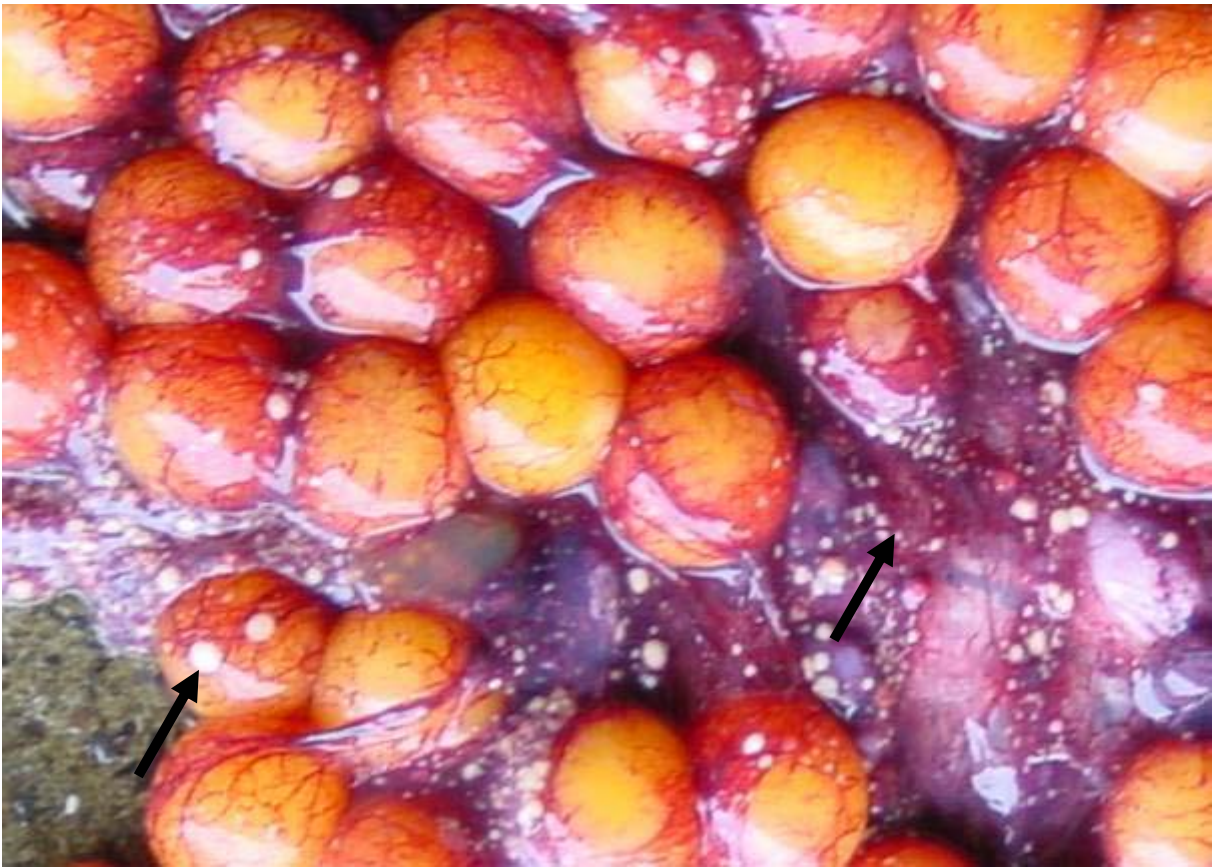


図4 . 卵巣に見られる黄体と白体 .
薄く伸びた赤紫色の卵巣表面に白く楕円や扁平に変形した黄体や白体が見られる .
大きく発達した黄色の球体は排卵間近の卵胞 .



図5. 陰茎・陰核.
形態に雌雄の差はない.

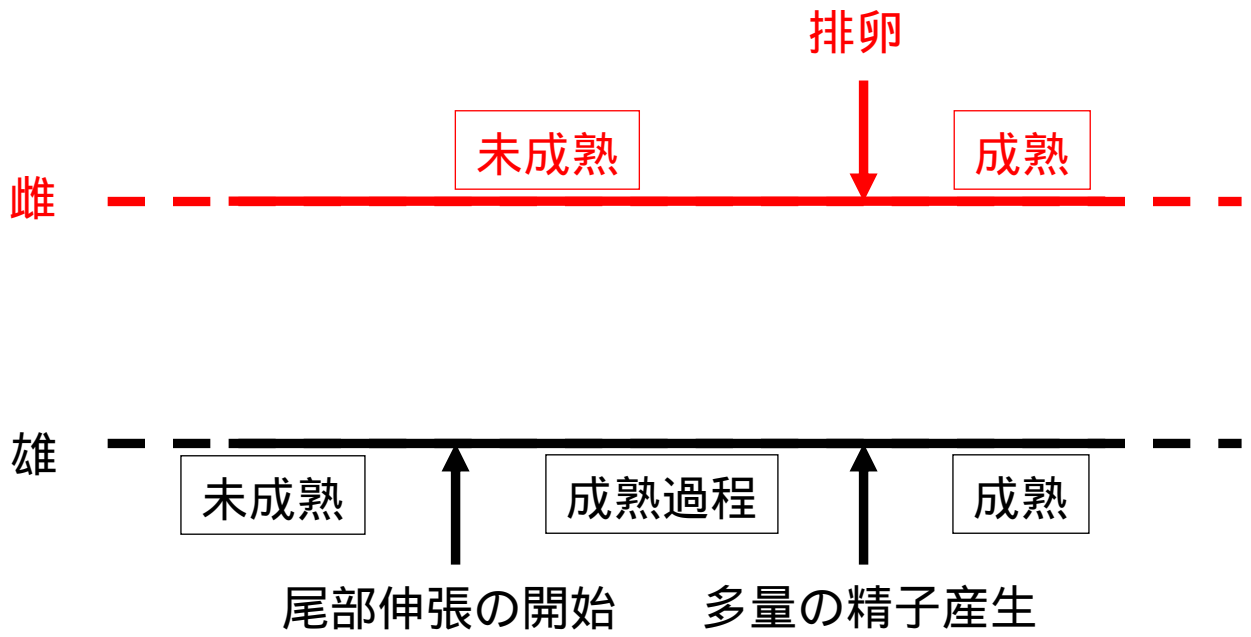


図6. 本研究における成熟の定義



図7. 総排泄腔内の粘液の採取.
用手法により総排泄腔内をマッサージした後, 150mm以上のスポイトを挿入し,
粘液を採取した.

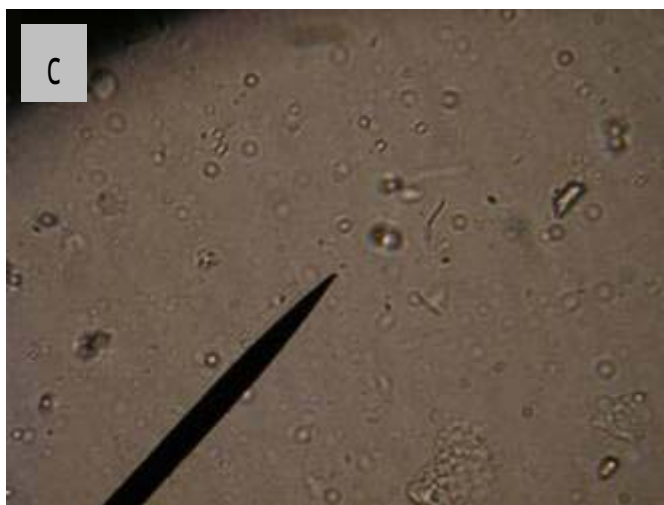
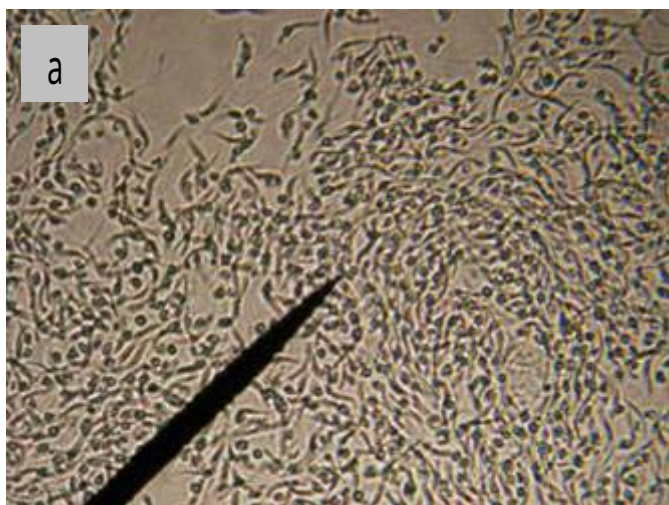


図8. 精子の密度.

a: 高密度 ($> 10^6$ 個/ml).

b: 低密度 ($10^4 - 10^5$ 個/ml).

c: 稀 ($< 10^3$ 個/ml).

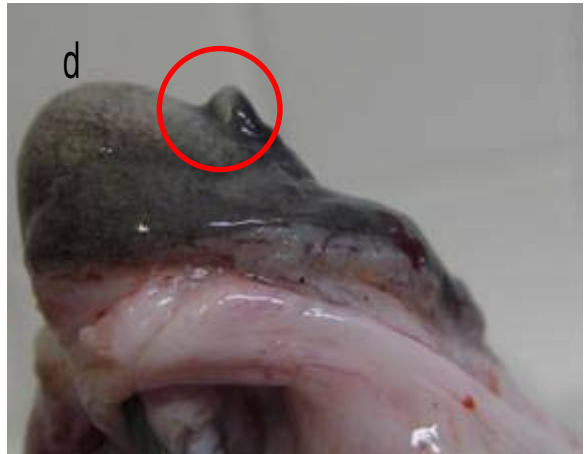
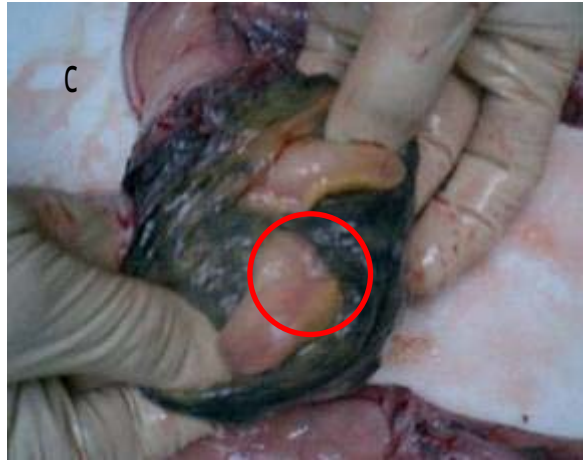
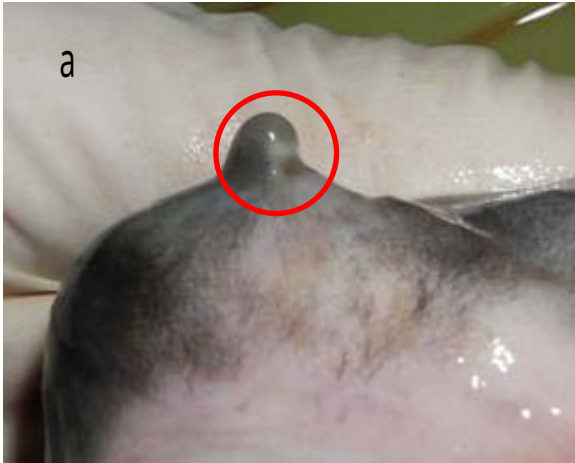


図9. 雌雄の泌尿生殖突起とそこに見られる白い膜。
泌尿生殖突起は膀胱と総排泄腔が繋がる位置にあり、左右一対ある。
a: 未成熟雌. 泌尿生殖突起根元の輸卵管開口部には見られる膜。
b: 膨張した未成熟雌の膜。
c: 成熟雌. 白膜は消失し完全に開口している。
d: 雄. 成熟・未成熟を問わず、泌尿生殖突起先端にある精管開口部には白膜あり。



図10. 雄の泌尿生殖突起から染み出してきた精液.
写真中央にあるピンク色の部分が乳頭突起先端. 精管を圧迫すると, ここから精子がゆっくりと染み出してくる. 突起の周辺に見られる白い部分は出てきた精子.
泌尿生殖突起の幅は約3mm.

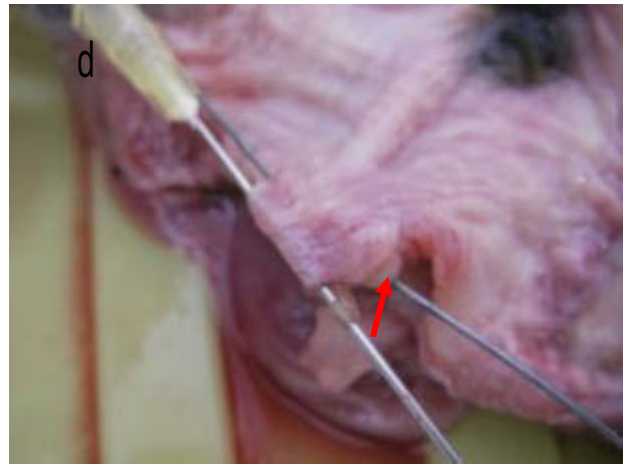
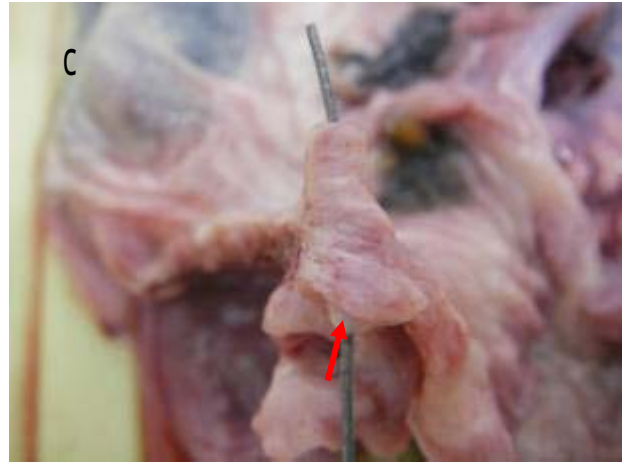
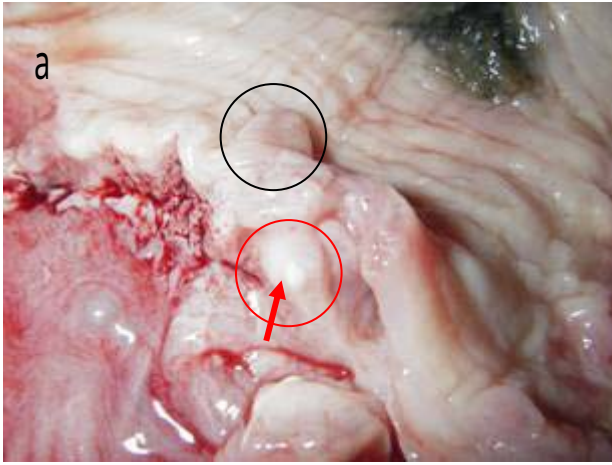


図11. アオウミガメ成熟雄の精管と尿管.

○: 泌尿生殖突起. ○: 精管の同じ場所を指示.

a: 精管(○)の中心に精子が白く見えている.

b: 精管から針金を入れましたが, 行き止まりになっていた.

c: 行き止まりにある膜を破って針金を貫通させている.

d: 注射針が通っているのは尿管. 精管と尿管は連絡していない.

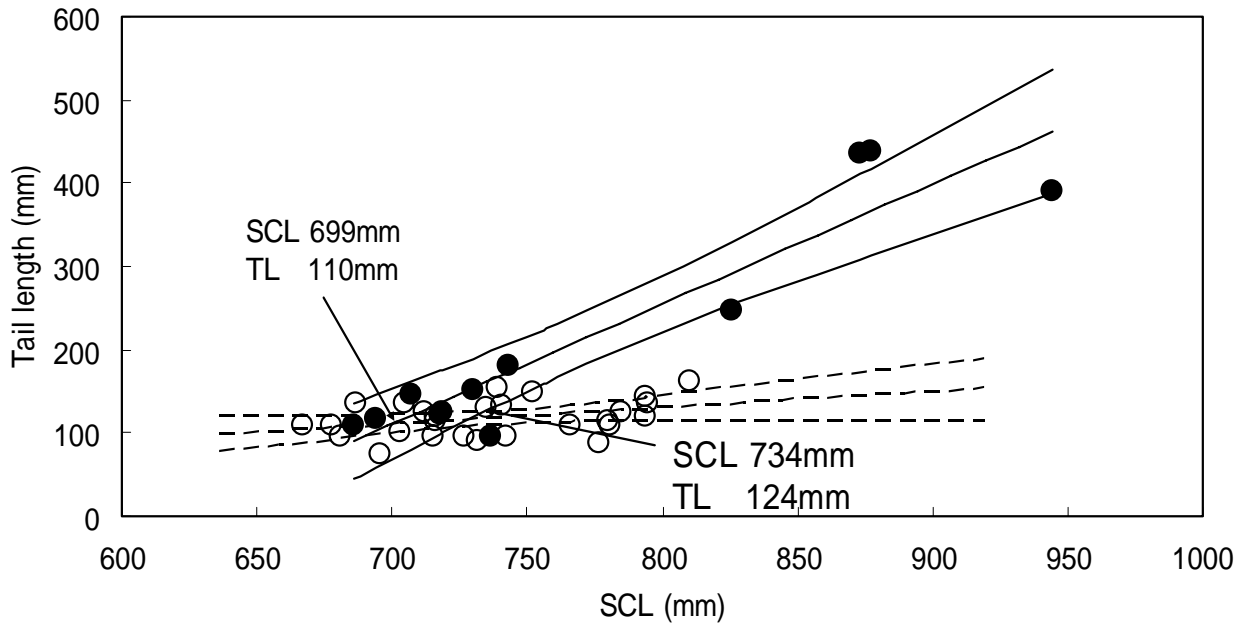


図12. 標準直甲長(SCL)と尾長(TL)の回帰分析.

雄(●)の回帰直線は $TL = 1.4388 SCL - 896.38$ ($n=12, R^2 = 0.8721$).

雌(○)の回帰直線は $TL = 0.1923 SCL - 24.61$ ($n=27, R^2 = 0.1373$).

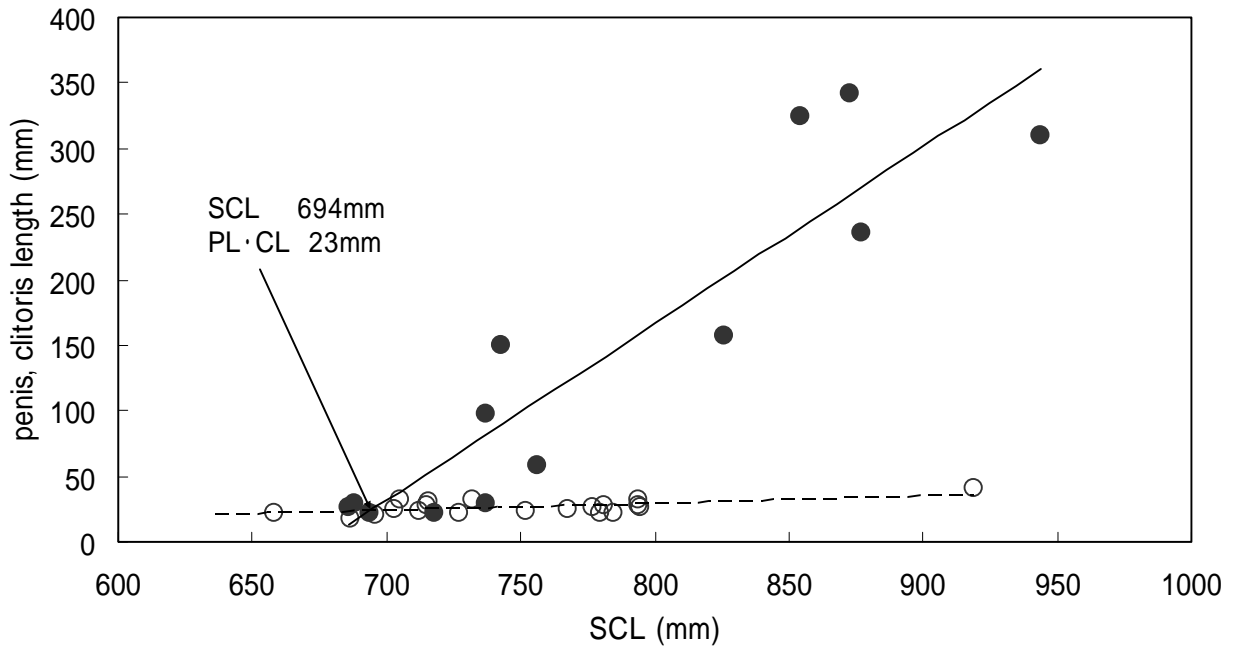


図13. 標準直甲長(SCL)と陰茎長(PL)・陰核長(CL)の回帰分析.

雄(●)の回帰直線は $PL = 1.3489 \text{ SCL} - 912.64$ ($n=13, R^2 = 0.8426$).

雌(○)の回帰直線は $TL = 0.054 \text{ SCL} - 14.32$ ($n=20, R^2 = 0.3227$).

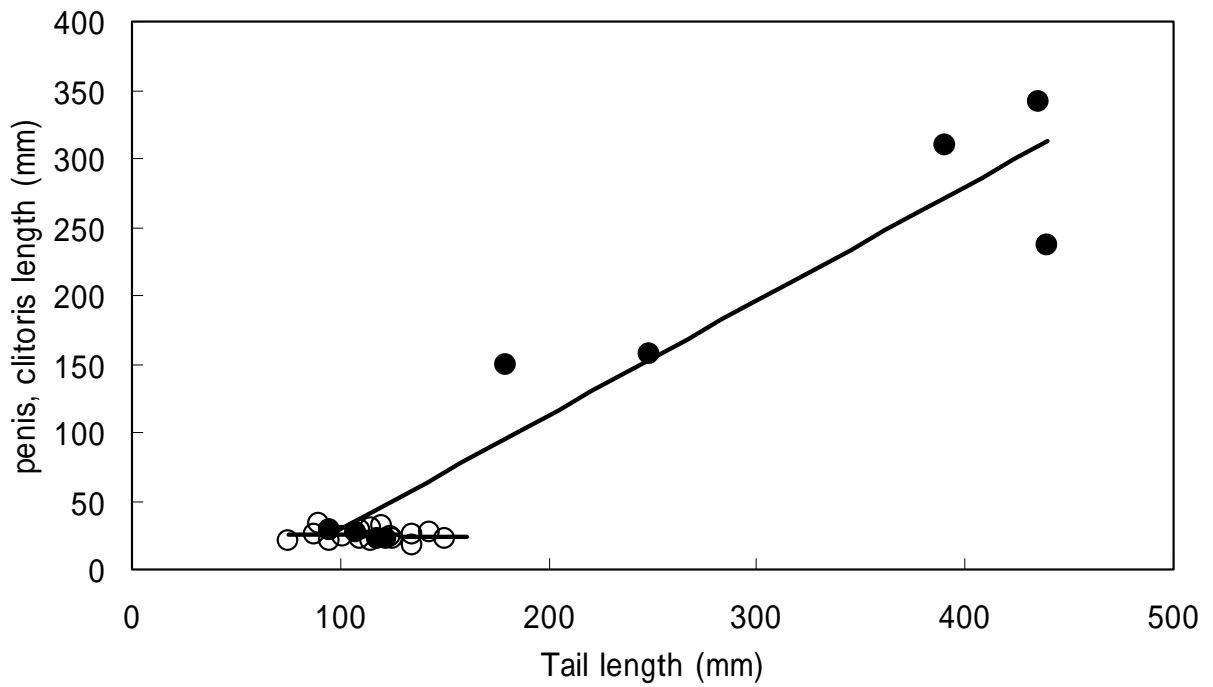


図14. 尾長(TL)と陰茎長(PL)・陰核長(CL)の回帰分析.

雄()の回帰直線は $PL = 0.8365 TL - 54.66$ ($n=9, R^2 = 0.9052$).

雌()の回帰直線は $CL = -0.0254 TL - 27.87$ ($n=17, R^2 = 0.0158$).

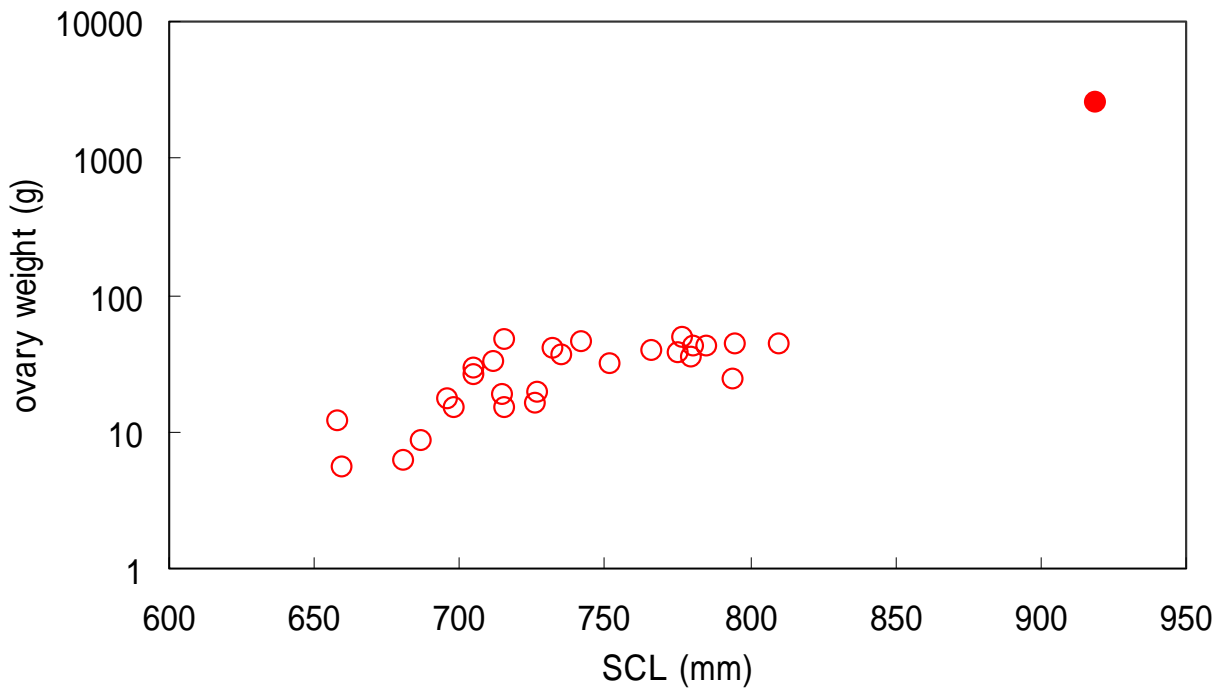


図15. 標準直甲長 (SCL) と卵巢重量 (OWt) .
 成熟雌 . 未成熟雌 .

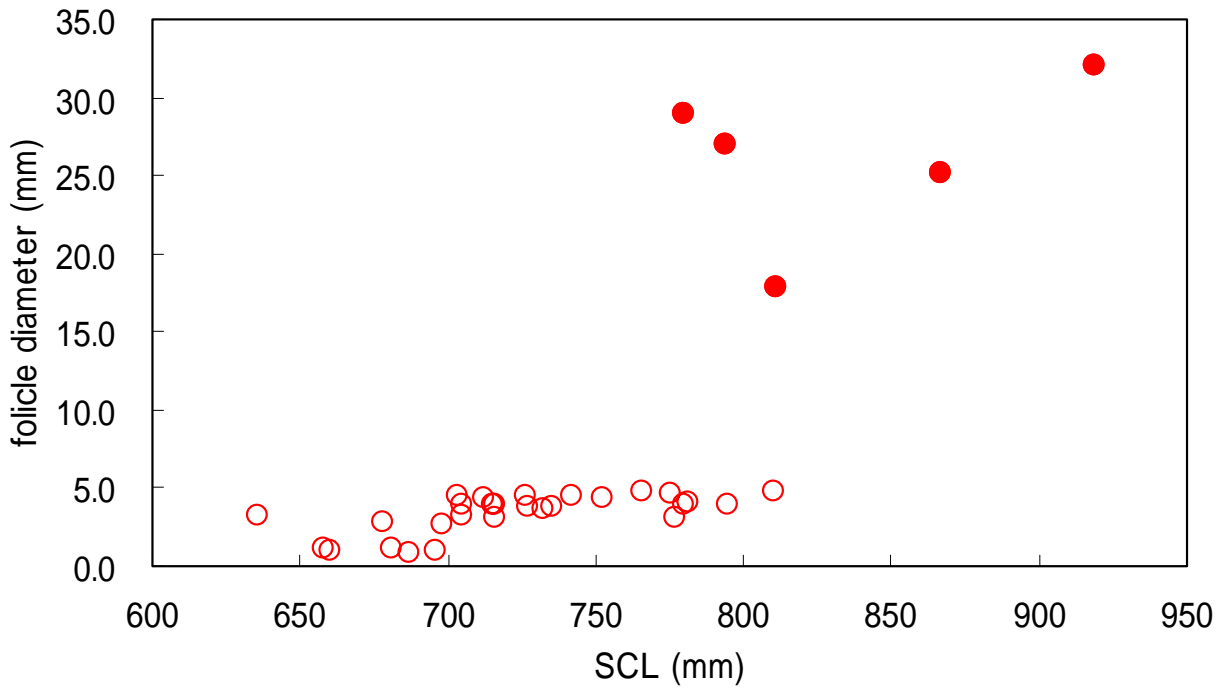


図16. 標準直甲長(SCL)と卵胞の最大の直径(FD).
 成熟個体. 未成熟個体.

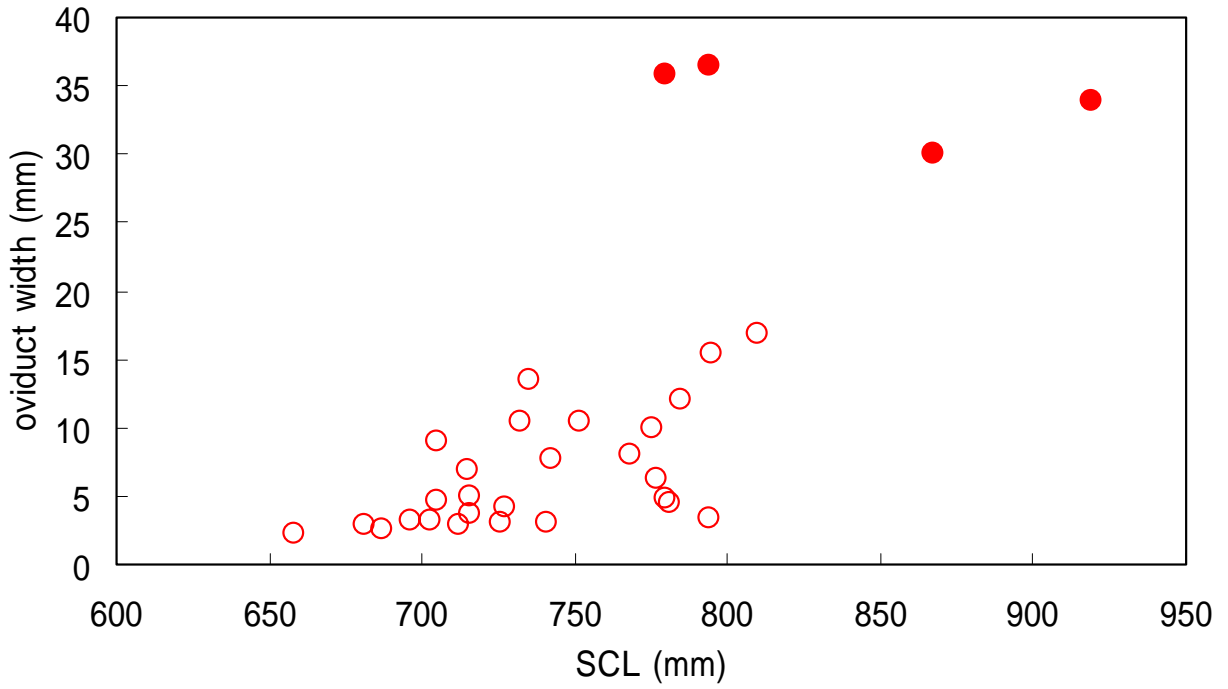


図17. 標準直甲長(SCL)と輸卵管の最大幅(OdW).
成熟個体. 未成熟個体.

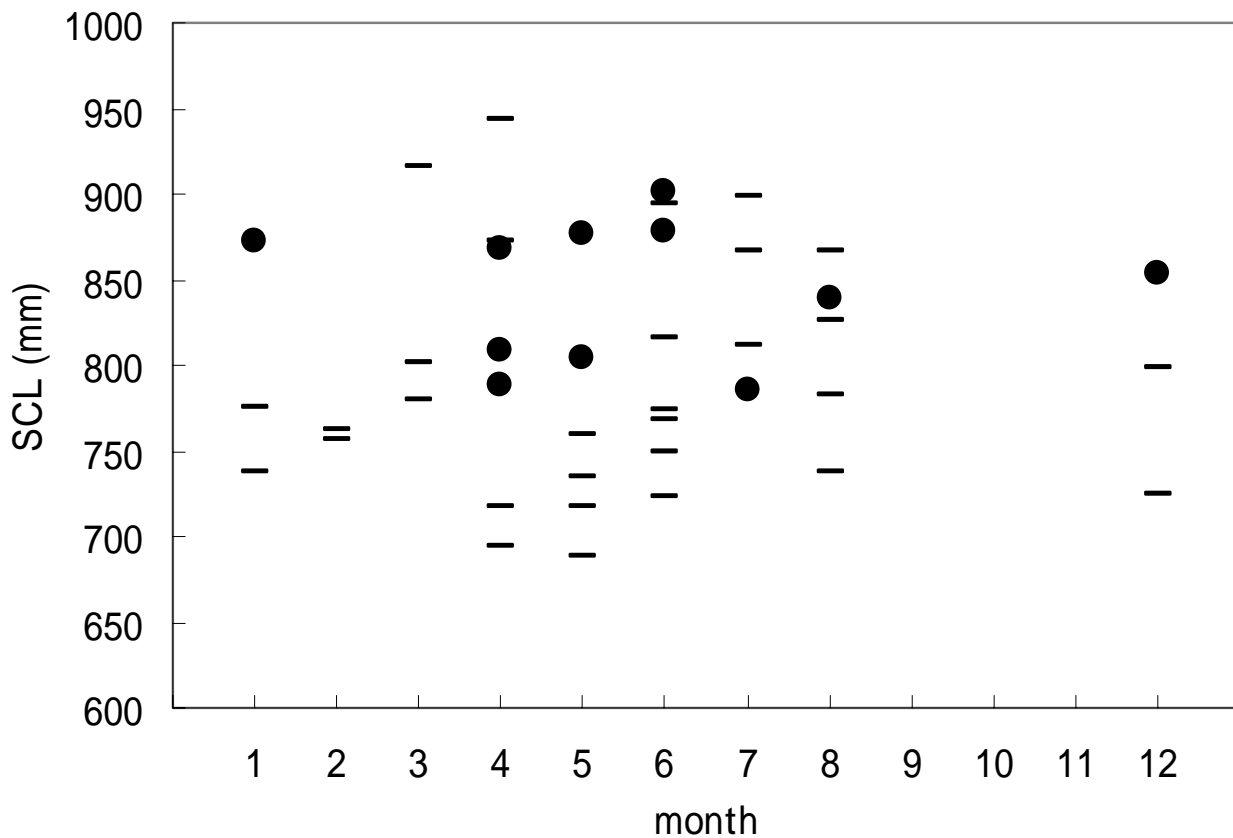


図18. 雄の標準直甲長(SCL)と月ごとの精子の出現傾向.
 ● 総排泄腔内から精子を確認できた個体.
 - 総排泄腔内から精子を確認することのできなかつた個体.

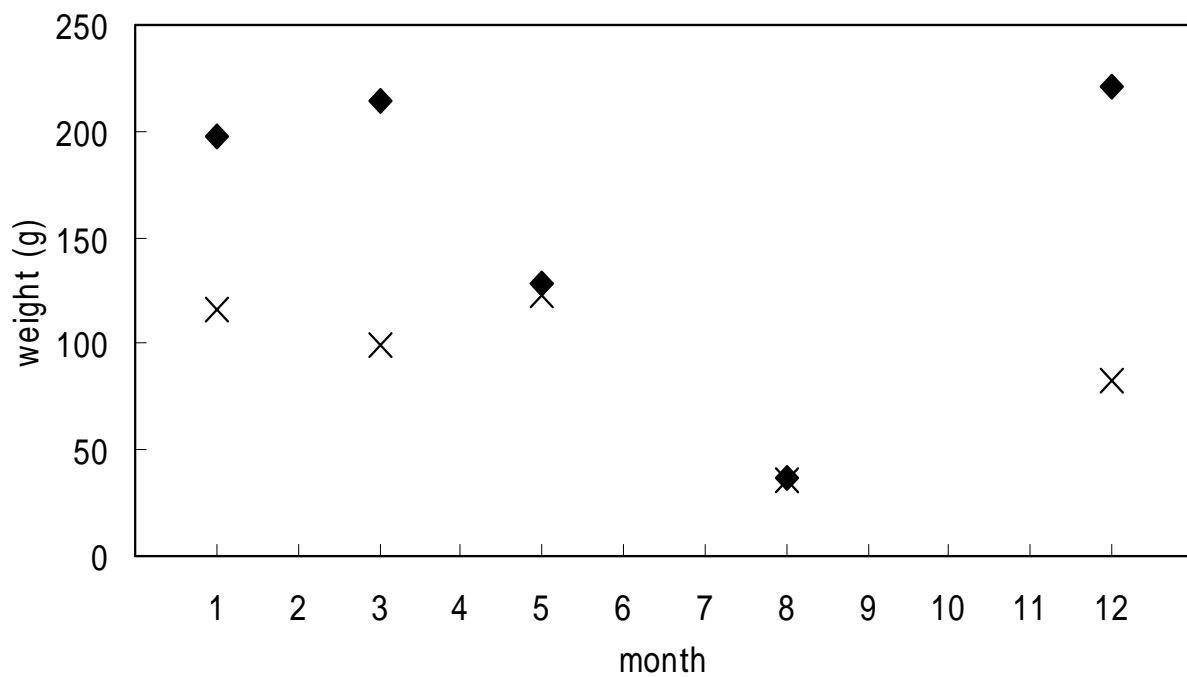


図19. 成熟雄の精巣重量(TWt)・精巣上体重量(EWt)の時期的な変化.
 精巣重量. × 精巣上体重量. 同じ月のTWtとEWtは同一個体のもの.

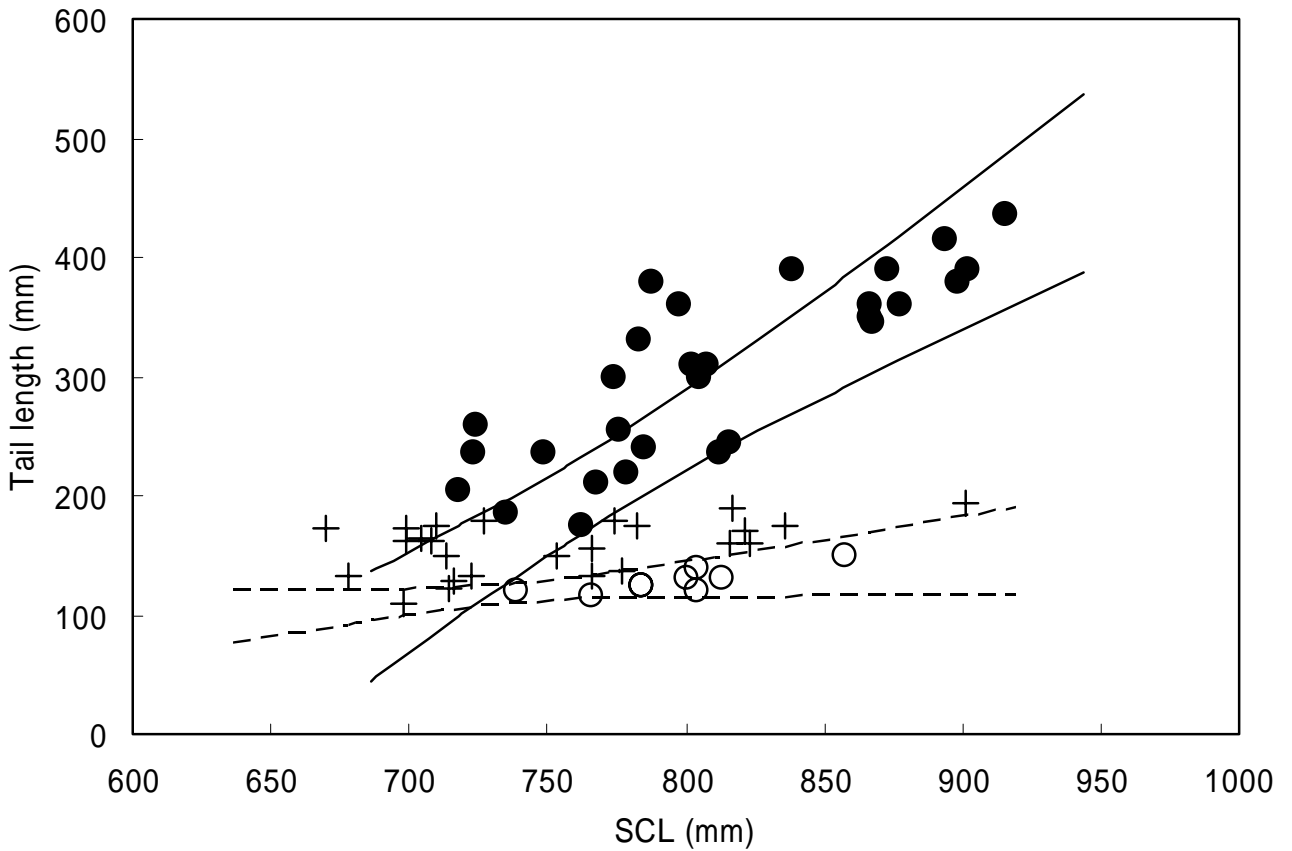


図20. 生存個体68個体の標準直甲長 (SCL) と尾長 (TL) .

● : 雄, ○ : 雌, + : 性別不明. 雄の95%信頼区間 (実線) と破線は雌の95%信頼区間 (破線) を基に生存個体の性を判別した. また, $TL > 200\text{mm}$ の個体は雄とした.

表1. 死亡個体及び生存個体で計測または観察を行った形質.

	死亡個体	生存個体
処置	解剖	放流
標準直甲長 (SCL)		
直甲幅 (SCW)		
体重 (BWt)		
尾長 (TL)		
雄		
陰茎長 (PL)		×
精巣重量 (TWt)		×
精巣上体重量 (EWt)		×
精子 (精巣・精巣上体)		×
精子 (総排泄腔内)		
精管開口部の膜		×
雌		
陰核長 (CL)		×
卵巣重量 (OWt)		×
卵胞の最大の直径 (FD)		×
輸卵管最大幅 (OdW)		×
卵巣の黄体・白体		×
輸卵管開口部の膜		×

表2 . 死亡個体及び生存個体の個体数 .

	雄	雌	性別不明	計
死亡個体	22	39	0	61
生存個体	29	9	30	68
合計	51	48	30	129

表3. 調査個体のサイズ.

SCL: 標準直甲長, SCW: 直甲幅, BWt: 体重, TL: 尾長.

			mean	SD	min	max	n
SCL (mm)	死亡個体	male	772	69	686	944	22
		female	745	56	636	919	39
	生存個体	male	811	58	718	916	29
		female	795	31	739	858	9
		unknown	751	54	670	901	30
SCW (mm)	死亡個体	male	618	41	548	711	22
		female	606	38	521	726	39
	生存個体	male	638	37	576	710	28
		female	627	28	594	680	9
		unknown	614	41	553	707	30
BWt (kg)	死亡個体	male	772	69	686	944	22
		female	60	11	46	89	24
	生存個体	male	76	14	53	110	26
		female	74	7	65	85	8
		unknown	64	16	4	115	26
TL (mm)	死亡個体	male	213	127	95	440	12
		female	117	21	75	160	27
	生存個体	male	304	74	175	435	29
		female	128	10	115	150	9
		unknown	158	22	110	193	25

表4. 雄の精子が確認された部位と精子密度.

高密度: $>10^6$ 個/ml, 低密度: 10^4 - 10^5 個/ml, 稀: $<10^3$ 個/ml, なし: 精子なし, - : 未確認

月	SCL (mm)	TL (mm)	BWt (kg)	精子密度			
				総排泄腔	精巢	精巢上体	
1	873	435	98	低密度	高密度	高密度	成熟
3	857			-	-	高密度	成熟
3	761			-	低密度	なし	成熟過程
4	868	345	81	高密度	-	-	成熟
4	808	307	72	高密度	-	-	成熟
4	788	380	63	高密度	-	-	成熟
5	877	439	87	稀	低密度	高密度	成熟
5	805	300	72	低密度	-	-	成熟
6	902	388	99	稀	-	-	成熟
6	878	357	98	稀	-	-	成熟
7	785	237	70	稀	-	-	成熟
8	839	390	80	稀	-	-	成熟
12	743	180	60	なし	稀	稀	成熟過程
12	854		80	高密度	高密度	高密度	成熟

表5. 成熟雄5個体の精巣重量と精巣上体重量.
 SCL: 標準直甲長, BWt: 体重, TL: 尾長, PL: 陰核長,
 TWt: 精巣重量, EWt: 精巣上体重量.

month	SCL (mm)	BWt (kg)	TL (mm)	PL (mm)	TWt (g)	EWt (g)
1	873	98	435	342	197.3	115.6
3	857	-	-	-	214.5	98.9
5	877	86.95	440	236	127.8	122.3
8	944	106.7	390	310	36.5	35.5
12	854	80	-	325	221.2	82.8

