

## 論文の内容の要旨

水圏生物科学専攻

平成 24 年度博士課程進学

氏 名 伯耆匠二

指導教員名 河村知彦

### 論文題目 アサリの摂餌生態と消化機構に関する研究

#### 第 1 章 緒言

日本におけるアサリ *Ruditapes philippinarum* の資源量は 1980 年代以降激減し、近年では極めて低い水準にある。その回復を目的として種苗の放流や移植が長年行われてきたが、現在まで明瞭な効果は認められない。資源の回復のためには、アサリが自然に増えることのできる環境の保全や造成が必要と考えられ、そのためには本種の成育に適した環境特性の理解が不可欠である。また、アサリ資源の減耗要因の一つとして餌料不足が挙げられており、成育場における餌料環境の把握が課題となっているが、本種の食性や摂餌生態に関する基礎的な知見は少なく、科学的な根拠に基づく餌料環境の正確な評価は難しい状況にある。そこで本研究では、室内実験と野外調査を組み合わせた手法により、成長段階ごとに消化管内における餌料の分解・消化機構を解明することにより、アサリの食性とその成長に伴う変化を具体的に明らかにした（第 2 章）。また、本種の摂餌行動と消化活性における日周変化を調べ、24 時間周期の体内リズム（概日リズム）が存在することを明らかにした（第 3 章）。さらに、これらの実験、観察によって得られた知見を踏まえ、東京湾海の公園におけるアサリ稚貝の生残と成長に及ぼす餌料環境の影響について検討した（第 4 章）。第 5 章の総合考察では、本研究で明らかになったアサリの成長に伴う消化能力の変化および摂餌周期から、アサリの餌料としての底生珪藻の重要性について論議した。

## 第2章 餌料の分解・消化機構に基づく成長に伴う食性の変化

アサリの主要餌料は海水中に浮遊する珪藻を主体とする微細藻類と考えられているが、具体的にどのような微細藻種を栄養源として利用しているかは明らかにされていない。本研究では、アサリが消化管内で堅い被殻を持つ珪藻類をどの程度分解・消化できるのか、また、それは成長に伴って変化するのかを調べるため、給餌実験および消化管の組織学的観察を行った。殻長3-10 mmのアサリに、生活型、堅さ、大きさの異なる5種の珪藻 (*Chaetoceros salsugineum*、*Ch. affinis*、*Cylindrotheca closterium*、*Navicula ramosissima*、*Navicula* sp.) を単一種給餌し、排泄された糞中に含まれる珪藻被殻を透過型電子顕微鏡により観察した。その結果、全ての珪藻種の被殻が破壊されて細片化しており、殻長3 mm以上のアサリは堅い被殻を持つ底生珪藻 (*N. ramosissima*、*Navicula* sp.) も分解・消化して細胞質を栄養源として利用可能なことが明らかとなった。殻長10 mmのアサリが摂食した珪藻細胞に対する破壊された珪藻細胞の割合は、被殻の脆い種 (*Ch. salsugineum*、*Cy. closterium*) では99%以上、被殻の堅い種でも90%程度と高かった。殻長300-500  $\mu$ mの着底初期稚貝に対しても同様に、生活型、堅さ、大きさの異なる5種の珪藻 (*Ch. gracilis*、*Ch. affinis*、*Cy. closterium*、*N. ramosissima*、*Navicula* sp.) を31日間にわたり単一種給餌したところ、被殻の脆い小型の珪藻 *Ch. gracilis* を給餌した区で他の給餌区よりも成長速度が有意に高かった。各珪藻種を給餌中の着底初期稚貝を固定して薄切切片を作成し、胃断面を走査型電子顕微鏡で観察したところ、着底初期稚貝は大型の珪藻種 (*Ch. affinis*、*Cy. closterium*、*N. ramosissima*) を消化管内にほとんど取り込めないことがわかった。一方、小型で被殻の堅い *Navicula* sp.については、消化管内に取り込めるものの被殻を破壊できないことが明らかとなった。

アサリが摂食した珪藻細胞を消化管内のどこで、どのように破壊するかを調べるため、殻長3-10 mmのアサリを用いた給餌実験を行い、消化管の組織学的観察を行った。被殻の脆い *Ch. gracilis* と被殻の堅い *Navicula* sp. を摂食中のアサリをそれぞれ固定して薄切切片を作成し、消化管の縦断面を走査型電子顕微鏡で観察した。*Ch. gracilis* を給餌した場合には、食道内に破壊された珪藻の被殻や刺毛が認められた。組織学的観察の結果、食道部を取り巻く発達した筋繊維が認められ、この筋肉の働きによって餌料が嚥下される際、刺毛などの脆い構造は破壊されると推察された。一方、*Navicula* sp. は食道内では破壊されていなかった。*Ch. gracilis*、*Navicula* sp. いずれを給餌した場合にも、胃内部には粘液に覆われた珪藻被殻が広範囲かつ高密度に認められ、その多くは破壊されて小片化していた。腸内部には、胃から輸送されたと考えられる被殻の断片が高密度に認められた。このことから、取り込まれた珪藻は、主に胃の内部で高密度な状態で攪拌されることにより、珪藻細胞同士の摩擦によって破壊されると考えられた。排泄される糞中の珪藻細胞の変化を給餌開始から経時的に調べたところ、給餌開始から2時間後までは未分解の細胞が

多く排泄されたことから、胃内が餌料で満たされていない状態では、珪藻の被殻は効率的に破碎されないと考えられる。

### 第3章 摂餌行動および消化活性の周期的変化

アサリの生息する潮間帯および潮下帯において、底生珪藻類や有機物粒子などの海底に堆積する餌料源は、潮汐流や波浪により巻き上げられて水塊中に供給される。それゆえ、アサリが濾過する水塊中の餌料密度は潮汐周期に伴って大きく周期的に変動し、それに対応してアサリも摂餌行動や消化の活性を周期的に変化させている可能性が考えられた。そこで、アサリの摂餌行動が1日のうちいつ活発になるのかを検討するため、室内の水槽内および野外の潮間帯と潮下帯において飼育実験を行った。水槽内における止水条件下で水管伸出行動を経時的に目視観察したところ、本種は夜間に活発に摂餌を行うことがわかり、さらに光周期を調整した実験区での結果から、その行動は24時間周期の体内リズム（概日リズム）に支配されていることが明らかとなった。また、消化管内の桿晶体の状態が摂餌行動と密接に関連して変化しており、摂餌中には桿晶体は硬い状態を保つが、貝殻を閉じている時には軟化あるいは消失することが明らかになった。

このような桿晶体の状態変化と摂餌行動の同調性を利用し、潮汐周期の存在する野外の潮間帯および潮下帯におけるアサリの摂餌周期を推定した。潮間帯および潮下帯に該当する水深帯に垂下したアサリを経時的に取り上げ、摘出した桿晶体を観察した結果、潮下帯では硬い桿晶体をもつ個体の割合が夜間に増加した。一方、潮間帯では桿晶体は干出時には軟化・消失し、干出前および冠水後には昼夜に関わりなく硬化した。これらの結果から、潮下帯に生息する個体は本来アサリがもつ夜行性の摂餌周期を示すのに対し、潮間帯に生息する個体は、餌料が巻き上げられやすい干潮前後に集中的に摂餌することで、効率的に餌料を取り込んでいると考えられた。

### 第4章 東京湾海の公園における生残・成長に及ぼす餌料環境の影響

東京湾海の公園において2013年8月から2014年9月にかけて、着底稚貝期以降のアサリを定量的に採集し、海底直上水および海底堆積物中のChl. *a*濃度を測定した。アサリ幼生の着底には、2013年11 - 12月（冬季着底群）および2014年7 - 8月（夏季着底群）の2回のピークが認められた。冬季着底群（殻長200 - 400  $\mu\text{m}$ ）の密度は、潮間帯および潮下帯でそれぞれ約3,000 ind./ $\text{m}^2$ 、約50,000 ind./ $\text{m}^2$ と地点間で大きく異なった。潮間帯では1月以降に着底初期稚貝は認められず、干出時の低温暴露によって死滅したと考えられた。潮下帯では、殻長1 - 1.4 mmに達する2014年1月には94%が、殻長3 mmに達する4月には99%以上が減耗していた。夏季着底群の密度は、潮間帯および潮下帯で7月にそれぞれ約40,000 ind./ $\text{m}^2$ 、約70,000 ind./ $\text{m}^2$ と高かったが、殻長1.5

- 5 mm に達する 9 月には、潮間帯では 90%、潮下帯では 98% が減耗したと考えられた。海底直上水および海底表面の Chl. *a* 濃度は 1 年を通して変動していたが、潮間帯と潮下帯とでその傾向に大きな差異は認められず、潮間帯と潮下帯とのアサリの生残・成長の差を説明できなかった。

アサリの餌料源を推定するため、2012 年 7 月から 2014 年 1 月にかけて 2 - 3 ヶ月に 1 度の頻度で、潮間帯および潮下帯で採集したアサリおよび推定される餌料源（懸濁有機物、堆積有機物、底生珪藻）の炭素・窒素安定同位体比を分析した。2012 年 7 月において、殻長 1 - 4 mm の稚貝の餌料推定値は懸濁有機物および堆積有機物の値に近かったが、それらが成長して 5 mm、10 mm、20 mm と大型になるにつれて徐々に底生珪藻の値に近くなった。この結果から、着底初期から殻長数 mm までの稚貝は、底生珪藻以外の餌料源を主餌料にしており、大型のアサリほど餌料源を底生珪藻に依存するようになると考えられる。

アサリにとっての餌料環境の日周変化を明らかにするため、2014 年 5 月 15 - 16 日（大潮）に潮間帯および潮下帯の定点の海底直上水を 2 時間毎に採取し、Chl. *a* 濃度を測定した。Chl. *a* 濃度は、潮間帯では干出時直前に 76.6  $\mu\text{g/L}$ 、潮下帯では最干潮時に 62.4  $\mu\text{g/L}$ 、と最も高くなったことから、干潮時には潮汐流によって潮間帯の堆積物や底生珪藻が巻き上げられ、潮間帯だけではなく潮下帯にも餌料源が供給されると考えられた。

## 第 5 章 総合考察

底生珪藻は干潟における一次生産の大部分を担うと考えられており、周年に渡って安定的に存在する。本研究では、飼育実験および野外調査により、潮間帯から潮下帯上部に生息するアサリが、この底生珪藻を餌料として効率的に利用していることを明らかにした。アサリは殻長 3 mm 程度から徐々に堅い被殻を持つ底生珪藻を消化管内で破壊することができるようになり、天然海域においてもこれらの底生珪藻が重要な餌料となっていると考えられた。本来アサリは夜行性の摂餌周期を持つが、潮間帯に生息するアサリは潮汐周期にあわせて干出前後に摂餌行動や消化を活性化させることで、潮汐流によって高密度に懸濁した底生珪藻や堆積有機物を集中的かつ効率的に摂食すると考えられた。一方、着底初期の稚貝は消化管内で被殻の堅い底生珪藻を破壊できず、小型で被殻の脆い浮遊珪藻などを主餌料にすると推察される。天然海域においては、特に着底初期における餌料の多寡が稚貝の生残に大きく影響し、アサリ資源の加入量を決定するものと考えられる。