

学位論文題名

Ecological and physiological studies of euphausiids
in the Oyashio region, western subarctic Pacific

(西部北太平洋親潮域におけるオキアミ類の生理・生態学的研究)

学位論文内容の要旨

オキアミ類は甲殻綱オキアミ目に属し、広く世界の海洋に分布し、2科 11属 86種が報告されている。オキアミ類は動物プランクトン群集の主要構成群の一つとして、特に、高緯度海域では魚類、鯨類、海鳥類などの餌生物となっており、基礎生産とこれら高次捕食者の生産を繋ぐ二次生産者として重要な役割を担っている。また、オキアミ類はしばしば集群を形成することから、世界各地で漁獲の対象にもなっており、日本でも東北地方でツノナシオキアミ(*Euphausia pacifica*) 漁業が古くから行われている。

このように、オキアミ類は生物海洋学のみならず、水産学上も重要な種を含むことから、これまで多くの研究が行われている。しかし、様々な浮魚類が索餌回遊し、底生魚も豊富な親潮域におけるオキアミ類の生理・生態学については未だ未解明の部分が多い。特に、*Euphausia pacifica* に次ぐ優占種 *Thysanoessa* 属に関する研究は殆どないのが現状である。本研究は西部北太平洋亜寒帯域の親潮域におけるオキアミ類の生態学的役割を評価することを目的として、オキアミ類 3種 (*E. pacifica*, *T. inspinata* および *T. longipes*) のバイオマス、個体群構造と生活史、代謝活性(呼吸・排泄)、体化学成分(炭素・窒素)を明らかにした。さらに、春季植物プランクトンブルーム期における優占 2種 (*E. pacifica* と *T. inspinata*) の個体群動態を明らかにし、その代謝活性より摂餌量と再生栄養塩量を見積もり、オキアミ類が春季植物プランクトンブルームに与える影響について評価した。得られた結果は以下のように要約される。

1. 親潮域における生活史

親潮域にて3種のオキアミの個体群構造の推移を2002年8月から2004年8月まで2年間にわたって追跡し、その成長と生活史を解析した。3種のオキアミは周年出現し、バイオマスでは *E. pacifica* が最優占し (832 mg C m^{-2})、次いで *T. inspinata* (144 mg C m^{-2})、*T. longipes* (75 mg C m^{-2}) の順に多かった。

採集されたオキアミ類最小個体の発育段階がフルシリア前期であったことから、産卵からの経過時間は1ヶ月程度と見なし、体長頻度分布から推定されたコホートの成長と寿命を見積もった。主要産卵期は *E. pacifica* は年2回、4-5月と8月頃にあり、*T. inspinata* は3-5月にピークがあるものの年中産卵を行っており、*T. longipes* は3-5月にあった。雌雄の最大体長は *E. pacifica* は24 mm (♀) と21 mm (♂)、*T. inspinata* は23 mm (♀) と18 mm (♂)、*T. longipes* は31 mm (♀) と27 mm (♂) であった。いずれの種においてもその体長組成には2-3個のコホートがみられ、その時間的推移をトレースすることにより、その寿命は *E. pacifica* は17-26ヶ月、*T. inspinata* は17-19ヶ月および *T. longipes* は29-31ヶ月と推定された。

2. 春季植物プランクトンブルーム期における個体群動態

2007年3月8日~4月30日に親潮域にて2-5日間隔で採集された試料を解析して個体群構造の短期変動を明らかにし、植物プランクトンブルームがオキアミ類の個体群動態に与える影響を評価した。調査期間中 Chl. *a* は4月7-8日にピークを持ち (36 mg m^{-3})、春季ブルームが起こっていた。オキアミ類は *E. pacifica* と *T. inspinata* の2種が全出現個体数の90%以上を占めていた。*E. pacifica* と *T. inspinata* の出現個体数にはいずれも水温と負の相関があり、*E. pacifica* にはさらに Chl. *a* との間に正の相関があった。

E. pacifica の体長モードは3月では13.8-14.0 mm にあったが、4月では16.2-17.6 mm にあり、その成長速度は調査期間平均で 0.082 mm d^{-1} であった。一方、*T. inspinata* の体長モードは3月では16.5-16.7 mm、4月では16.8-18.1 mm にあり、その成長はゆるやかで、成長速度は 0.022 mm d^{-1} であった。両種の発育段階組成についてみると、貯精嚢を付着した成熟雌(受精した雌)の割合が両種で異なり、*E. pacifica* では全個体群の5%程度であったが、*T. inspinata* では常に

全個体群の 40% 以上を占めていた。成長速度の結果と併せて考えると、両種は同化エネルギーの配分が異なっており、*E. pacifica* は体成長に使っているのに対して、*T. inspinata* は主に再生産に使っているものと考えられた。

3. 代謝活性 (呼吸・排泄) と植物プランクトンブルームへのインパクト

2007 年 3 月、4 月および 12 月において採集された優占 2 種の呼吸(酸素消費)速度 (R : $\mu\text{l O}_2 \text{ ind.}^{-1} \text{ h}^{-1}$) とアンモニア態窒素排泄速度 (E : $\mu\text{g NH}_4\text{-N ind.}^{-1} \text{ h}^{-1}$) を現場水温下 ($3.8\text{-}10.6^\circ\text{C}$) で測定した。その結果、 R 、 E いずれも個体の乾重量 (DM : mg) と強く相関しており、*E. pacifica* では $R = 1.440DM^{0.788}$ 、 $E = 0.006DM^{1.273}$ 、*T. inspinata* では $R = 1.852DM^{0.729}$ 、 $E = 0.046DM^{0.829}$ の関係式が得られた ($p < 0.01$)。同一乾重量 (1 mg DM)、同一水温 (10°C) に標準化した R 、 E について雌雄、採集季節による差異を検定したところ、いずれの種も雌雄による差異はなかったが、季節では R は 12 月 < 3 月 < 4 月の順で、 E は逆に 4 月 < 3 月 < 12 月の順に高かった (one way-ANOVA, post hoc test at $p = 0.05$)。代謝基質の指標となる $O : N$ 比 (= $R : E$ 比) には両種ともに明らかな季節性が見られ、12 月には主としてタンパク質、3、4 月には脂質・タンパク質の混合物が代謝基質となっていると判断された。

E. pacifica の体化学成分は炭素 32.8-36.3% DM 、窒素 9.2-9.5% DM 、炭素と窒素の重量比 ($C : N$ 比) 3.6-3.9 であり、*T. inspinata* は炭素 35.2-37.1% DM 、窒素 9.5-10.0% DM 、 $C : N$ 比 3.6-3.7 であった。優占 2 種の体化学成分には種、性比、季節による差は見られなかった。本研究で得られた炭素量と $C : N$ 比は、高緯度海域のオキアミ類の報告値の中でも比較的 low、体内に脂質をあまり蓄積していないことが示された。

親潮域の春季植物プランクトンブルーム時期におけるオキアミ類の日間摂餌量を、本研究で得られた資料(オキアミのバイオマス、体長組成、体長-乾重量関係、成長速度、呼吸速度)を総合して推定したところ、*E. pacifica* と *T. inspinata* を合わせて $18\text{-}156 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ となり、これは同時期に実測された一次生産量の 5.8% に相当した。また、同様な方法で推定されたこれらオキアミ類 2 種のアンモニア排泄による日間窒素再生量は $0.70\text{-}3.50 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ であり、これは一次生産量に必要とされる窒素の 0.84% に相当した。春期植物プランクトンブルー

ム期には硝酸態窒素を利用する新生産が大部分を占めると考えられ、オキアミ類の排泄活動による栄養塩再生はブルーム終焉後の栄養塩枯渇期に重要性を増すと推察された。

学位論文審査の要旨

主査	教授	五嶋	聖治
副査	教授	仲谷	一宏
副査	教授	飯田	浩二
副査	准教授	山口	篤

学位論文題名

Ecological and physiological studies of euphausiids in the Oyashio region, western subarctic Pacific

(西部北太平洋親潮域におけるオキアミ類の生理・生態学的研究)

オキアミ類は世界の海洋に広く分布し、動物プランクトン群集の主要構成群の一つとして、高緯度海域では高次捕食者の餌生物となっており、基礎生産と高次生産を繋ぐ役割を担っている。また、集群を形成することから、世界各地で漁獲の対象にもなっている。水産・海洋学上でも重要なオキアミ類については様々な研究が行われている。しかし、親潮域におけるオキアミ類の生理・生態学については未だ未解明の部分が多い。特に、*Thysanoessa* 属に関する研究は殆どないのが現状である。本研究は親潮域における優占オキアミ類 3種 (*E. pacifica*, *T. inspinata* および *T. longipes*) の個体群構造と生活史を明らかにしたものである。さらに、春季植物プランクトンブルーム期における *E. pacifica* と *T. inspinata* の個体群動態を明らかにし、代謝活性 (呼吸・排泄)・体化学成分 (炭素・窒素) を解析した。また、オキアミ類の摂餌量と再生栄養塩量を見積もり、春季植物プランクトンブルームに与える影響について評価した。得られた結果は以下のようにまとめられる。

1. 3種のオキアミの個体群構造を2002年8月～2004年8月まで2年間にわたって追跡し、その生活史を明らかにした。3種のオキアミは周年出現し、バイオマスでは *E. pacifica*、*T. inspinata*、*T. longipes* の順に多かった。幼生と貯精嚢を付着した雌の出現から主要産卵期は *E. pacifica* は4-5月と8月頃、*T. inspinata* は3-5月にピークがあるものの年中産卵、*T. longipes* は3-5月にあった。いずれの種も体長組成には2-3個のコホートがみられ、その寿命は *E. pacifica*

は 17-26 ヲ月、*T. inspinata* は 17-19 ヲ月および *T. longipes* は 29-31 ヲ月と推定された。

2. 2007 年 3 月 8 日～4 月 30 日に採集された試料から、植物プランクトンブルームがオキアミ類の個体群動態に与える影響を評価した。調査期間中、オキアミ類は *E. pacifica* と *T. inspinata* の 2 種が全出現個体数の 90% 以上を占めていた。出現個体数にはいずれの種も水温と負の相関があり、*E. pacifica* にはさらに *Chl. a* と正の相関があった。*E. pacifica* の平均成長速度は 0.082 mm d^{-1} であり、*T. inspinata* は 0.022 mm d^{-1} であった。貯精囊を付着した(受精した)雌の割合も両種で異なり、*E. pacifica* で全個体群の 5% 程度、*T. inspinata* で常に全個体群の 40% 以上を占めた。成長速度の結果と併せて考えると、両種は同化エネルギーの配分を *E. pacifica* が体成長、*T. inspinata* が主に再生産に使っていると考えられた。

3. 2007 年 3 月、4 月、12 月に採集された優占 2 種の代謝活性を現場水温下 ($3.8-10.6^{\circ}\text{C}$) で測定した。呼吸 (*R*)・排泄 (*E*) 速度、いずれも体重の増加と同時に代謝率も増加していた。同一乾重量 (1 mg DM)・水温 (10°C) に標準化した *R*・*E* は、いずれの種も *R* は 4 月 > 3 月 > 12 月の順で、*E* は逆に 12 月 > 3 月 > 4 月の順であった。代謝基質の指標となる O : N 比には両種とも明らかな季節性が見られ、12 月はタンパク質、4 月は脂質が代謝基質と判断された。優占 2 種の体化学成分は炭素 32.8-37.1%DM、窒素 9.2-10.0%DM、C:N 比 3.6-3.9 であり、種・性比・季節による差は見られず、全調査期間を通して安定していた。

4. 親潮域の春季植物プランクトンブルーム期におけるオキアミ類の摂餌量は *E. pacifica* と *T. inspinata* を合わせて平均 $43 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ で、一次生産の 5.8%に相当した。また、アンモニア態窒素排泄量は平均 $1.5 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ であり、一次生産の必要窒素の 0.84%に相当した。春季植物プランクトンブルーム期には硝酸態窒素を利用する新生産が大部分を占めると考えられ、オキアミ類の排泄による栄養塩再生はブルーム終焉後の栄養塩枯渇期に重要であると推察された。

上記の内容は、親潮域の低次生産過程に係わる生態系鍵種の生産と生態の詳細を野外調査資料と飼育実験から解析し、その成果は当該海域の低次生産過程の理解に大きく貢献するものとして高く評価できる。よって審査員一同は申請者が博士(水産科学)の学位を授与される資格のあるものと判定した。