

鹿児島湾におけるオイトナ科カイアシ類豊度の季節的変動

小針統,^{1*} 清水佳子,¹ 西川聖子,¹ 幅野明正²

Seasonal Variation in Abundance of Oithonidae Copepods in the Kagoshima Bay

Toru Kobari,^{1*} Keiko Shimizu,¹ Seiko Nishikawa¹ and Akimasa Habano²

Key words : zooplankton, Oithonidae copepods, seasonal variations, abundance, biomass

Abstract

Seasonal variations in abundance of Oithonidae copepods were investigated from zooplankton samples collected weekly to biweekly at the two different stations in the Kagoshima Bay, southern Japan. Oithonidae copepods showed the similar pattern between the two stations, which they occurred abundantly from April to September and decreased below 10 inds./m³ during October to January. Abundance of each developmental stage was simultaneously fluctuated, indicating that it was a short development time. Nauplii, young copepodites and adult females were found over the study period, whereas adult males disappeared in some sampling periods between October and March. During this season, adult females and nauplii were at predominant stages. Females comprised more than 70% of adults, showing a longer life span than males. These results suggest that the decline of their abundance is caused by low rates of egg production, copepodite recruitment from nauplii and/or survival of young copepodites during the cold season although they reproduce throughout the year.

オイトナ科カイアシ類は、サイクロプス目に属する海産浮遊性小型カイアシ類である。本カイアシ類は汽水域、沿岸域、外洋域など世界中の様々な海域に分布し、豊度においてしばしば卓越する動物プランクトンである。¹⁾特に、基礎生産の高い沿岸域では他の動物プランクトンを凌駕し、小型の体サイズを持ちながらもバイオマスに貢献することが知られている。^{2,3)} これまで、本カイアシ類の豊度や個体群構造の季節変化については、世界中の海域から多く研究報告がなされており、かなり多様な豊度や個体群構造の季節変化を起こすことが知られている。⁴⁻⁸⁾

鹿児島湾は九州最南端に位置し、東京湾、大阪湾、有

明海に匹敵する表面積を有する内湾である。⁹⁾ 鹿児島湾は水深 100 m を超えるカルデラ地形に特徴づけられ、大隈半島と薩摩半島に挟まれた水深の浅い湾狭部により、湾中央部と湾奥部が形成されている。このため、湾外から表層に黒潮水の流入があるものの、¹⁰⁾ 水塊の循環が制限されており、湾奥部ではこれが著しい。⁹⁾ これまでの報告によれば、当湾では 1 年を通して栄養塩濃度が高く、¹¹⁾ 大型植物プランクトンが卓越する。¹²⁾ また、室内実験により、火山灰の降灰によって海水中の栄養塩濃度が増加するだけでなく、浮遊粒子の凝集核となり粒状有機物の沈降速度を加速していることも指摘されている。¹³⁾ これらの知見は、火山活動が鹿児島湾の基礎生産や下層への

¹ 鹿児島大学水産学部資源育成科学講座 (Department of Aquatic Resource Science, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 4-50-20 Shimoarata, Kagoshima 890-0056, Japan)

² 鹿児島大学水産学部南星丸 (Nansei-Marui, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 4-50-20 Shimoarata, Kagoshima 890-0056, Japan)

* Corresponding author, Email: kobari@fish.kagoshima-u.ac.jp

有機物輸送に影響を与えていることを示唆するものである。

オイトナ科カイアシ類は、植物プランクトンだけでなく糞粒など多様な粒子を餌料として利用できるため、¹⁴⁾ 摂餌活動を通してこれら粒状有機物を消費している可能性がある。また、プランクトン食性魚類の餌料源でもあることから、^{15,16)} 鹿児島湾の水産資源の量的変動に影響を与えうる動物プランクトンであると思われる。しかしながら、定性的な季節消長以外、^{17,18)} 鹿児島湾におけるオイトナ科カイアシ類の動態を定量的に評価した研究例はほとんどない。

そこで本研究では、鹿児島湾の海洋生態系においてエネルギーフローに影響を与えると思われるオイトナ科カイアシ類の豊度、バイオマスおよび発育段階組成を明らかにし、これらカイアシ類の動態を把握することを目的とする。

実験方法

調査期間および採集地点

海洋観測および試料採集は、2001年5月～2002年5

月までの1年間、鹿児島大学附属練習船南星丸により行った。季節変動の激しい動物・植物プランクトンの動態をできるだけ詳細に把握するため、1～2週に1回程度の頻度で行った。調査地点は、湾中央部に設定した Station A (水深 225 m) および湾奥部に設定した Station B (水深 135 m) である (Fig. 1)。

動物プランクトン試料および試水の採集方法

水温は海表面 (0 m) では棒状温度計、それ以外の8層 (10, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 200 m) ではナンゼン採水器に装着した転倒式温度計により測定した。クロロフィル測定用海水は、海表面からはプラスチックバケツにより、それ以外の8層 (10, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 200 m) からはナンゼン採水器により採取した。

動物プランクトン試料は、改良型 Fast Sinking Net (口径 70 cm, 目合 100 μ m) を用い、海底直上 5 m から毎秒 1 m で鉛直曳きして採取した。濾水量を測定するため、ネットリングには離合社製濾水計を装着した。採取した動物プランクトン試料は、最終濃度 5～10% になるように船上で直ちに中性ホルマリンで固定した。固定した動物プランクトン標本は、元田式分割器を用い

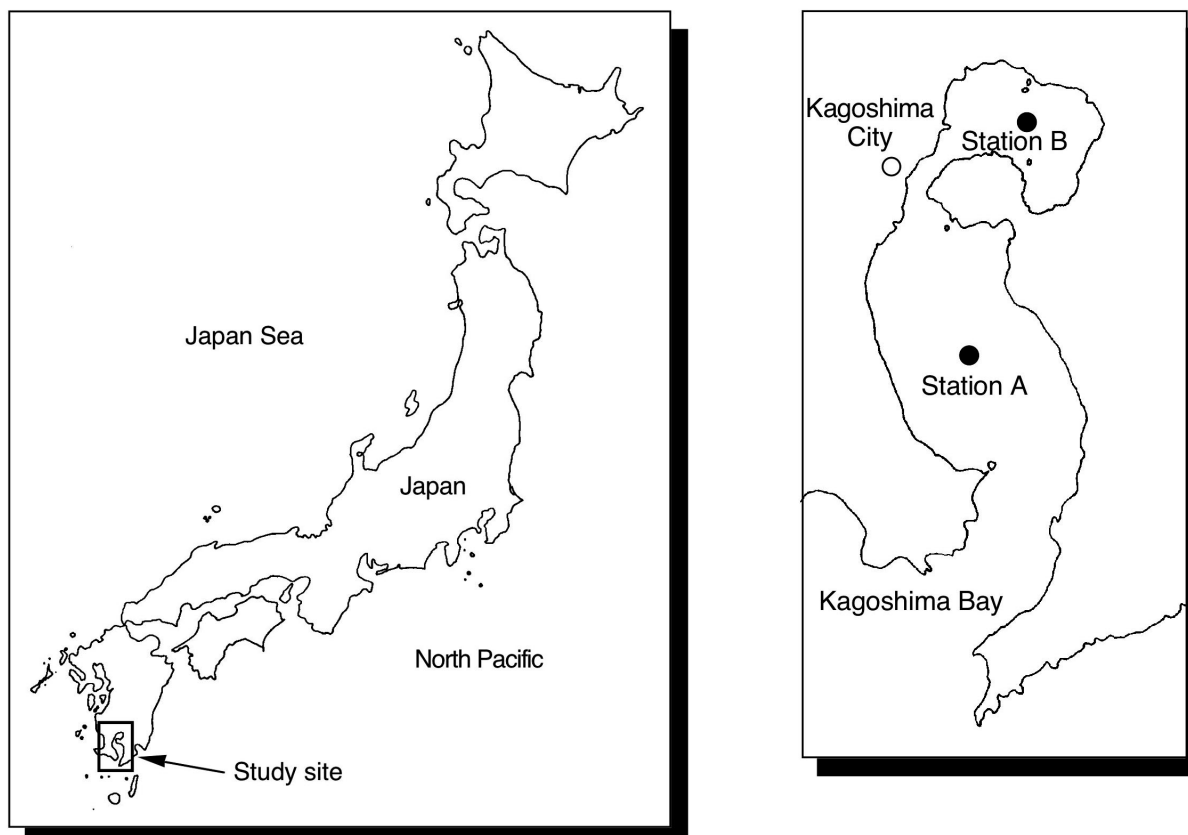


Fig. 1. Sampling stations (Station A and B) in Kagoshima Bay, Japan.

て検鏡用標本（A標本）とバイオマス測定用標本（B標本）に2分割した。

クロロフィル *a* 濃度測定方法

細胞サイズ別にクロロフィル *a* 濃度を測定するために、ナイロン製プランクトンネット地（目合：20 μm ）、ワットマン社製 GF/F フィルター（孔径：0.7 μm ）を用い、採取した海水適量（200～1000 mL）を弱光下において、弱圧（150mmHg 以下）で濾過した。濾過したフィルター類は暗条件、-5.5℃で *N,N*-ジメチルホルムアミド中に12時間以上浸してクロロフィル色素を抽出した。¹⁹⁾ クロロフィル *a* 濃度はターナーデザイン社製蛍光光度計（TD-700）を用いて蛍光法²⁰⁾によって測定した。クロロフィル *a* 濃度は、<20 μm （ピコ・ナノサイズ）を小型植物プランクトン、>20 μm （マイクロサイズ）を大型植物プランクトンとした。

検鏡方法および動物プランクトンバイオマス測定方法

オイトナ科カイアシ類は、適宜分割したA標本を生物顕微鏡下で、セジウィック・ラフターセルを用いて各発育段階別に計数した。発育段階は、ノープリウス幼生、コペポダイト1期～6期に識別した。コペポダイト6期は生殖腺が成熟した成体であるため、雌雄に識別して計数した。

B標本は、52℃で24時間乾燥させた後、メトラ社製電子天秤を用いて乾燥重量を測定した。測定精度は、0.01 gである。この乾燥重量を、動物プランクトンバイオマスとした。

頭胸部長測定およびバイオマス変換方法

オイトナ科カイアシ類が多く出現した夏季（2001年9月27日）と春季（2002年4月17日）の標本について、発育段階別に30個体を無作為に抽出し、ノープリウス期については甲殻長を、コペポダイト期については頭胸部長を生物顕微鏡下で接眼マイクロメータを用いて測定した。測定精度は10 μm である。また、バイオマスへの変換については、鹿児島湾において出現個体数の多かった春季および夏季出現群の頭胸部長の平均を周年出現する個体の平均値と仮定し、本邦内湾域に多く出現する *Oithona davisae* で明らかにされている下記の式⁸⁾に、各発育段階組成の頭胸部長を代入して個体あたりの炭素量を求めた。

$$C_i = 1.83 \times 10^{-9} \times PL_i^{2.05} \quad (1)$$

C_i : 発育段階 *i* における個体あたりの炭素量 (mgC)

PL_i : 発育段階 *i* における頭胸部長 (μm)

(1) 式より、オイトナ科カイアシ類全体のバイオマスは、次式から求められる。

$$B = \sum N_i \times C_i \quad (2)$$

B: バイオマス (mgC m^{-3})

C_i : 発育段階 *i* における個体あたりの炭素量 (mgC)

N_i : 発育段階 *i* における出現個体数 (個体 m^{-3})

結果

海洋環境の季節変動

湾中央部および湾奥部とも、水温は類似した季節変動を示した。水温は、4月から徐々に昇温し始め、6月～9月には25 m付近に水温躍層がみられた (Fig. 2)。

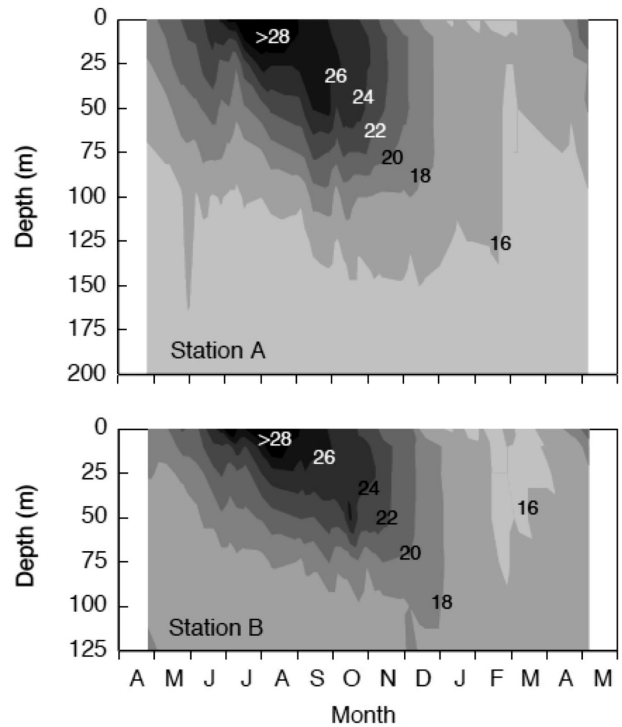


Fig. 2. Seasonal variations in vertical structures of temperature ($^{\circ}\text{C}$) at the central (Station A: upper) and inner stations (Station B: lower). Note that the depth scale is not the same between the two panels.

7月～8月には水深25 m以浅の水温が30℃以上となった。11月～12月にかけて、表層水温の降下と共に水温躍層が徐々に崩れ始め、1月～3月には消失して水柱全体が16℃前後となった。この時期の表層水温は、湾中央部よりも湾奥部で低くなった。100 m以深の水温は、1年を通して変化が小さく、16℃前後で一定であった。

水柱積算平均クロロフィル *a* 濃度は、1年を通して概ね湾中央部よりも湾奥部で高い値を示した (Fig. 3)。いずれの調査点でも、7月～10月にはクロロフィル *a* 濃度は低かったが、水温躍層が崩れ始める11月以降増加

する傾向を示した。1月下旬～2月上旬に大型植物プランクトンのクロロフィル a 濃度が一時的に低くなるが、2月～3月には最も高い値を示した。1年を通して小型植物プランクトンの変動は小さく、水柱積算平均クロロフィル a 濃度全体の季節変動を支配しているのは大型植物プランクトンによるところが大きかった。

動物プランクトンバイオマスは、湾中央部、湾奥部ともに6月～7月上旬に 100 mg m^{-3} 以上に達し、1年で最も高い値を示した (Fig. 3)。湾中央部では、7月～1月には常に 30 mg m^{-3} 以下で大きな変動が認められなかったが、2月下旬および4月に 100 mg m^{-3} 以上となった。一方、湾奥部では11月に 200 mg m^{-3} 以上の高い値を示した。

オイトナ科カイアシ類豊度の季節変動

オイトナ科カイアシ類の豊度は全ての発育段階が短期間で同調的に大きく変動し、湾中央部、湾奥部とも極めて類似した季節パターンを示した (Fig. 4)。いずれの調査点でも、雄成体を除く全ての発育段階が1年を通して出現した。本カイアシ類は、水温躍層が形成され表層の水温が上昇していく4月～9月に多く出現し、豊度の極大値を示すのはいずれの発育段階でも大型植物プランクトンが急激に減少した後の4月上旬～5月上旬であっ

た。しかし、水温が下がり始めると出現個体数は著しく減少し、11月～2月には、全出現個体数が 10 個体 m^{-3} 以下となった。湾中央部でも湾奥部でも、各発育段階の出現個体数ピークは経時的なずれがほとんど認められず、ノープリウス幼生から成体までの発育時間が短いことを示した。

いずれの調査点においても、成体の性比には顕著な季節変動が認められず、常に雌成体が70%以上を占めていた (Fig. 5)。発育段階組成をみると、湾中央部、湾奥部ともに1年を通してノープリウス幼生および雌成体が多かった。出現個体数が減少する10月以降になると、湾中央部ではノープリウス幼生の割合が徐々に増加するのに対し、湾奥部ではこの時期に最も卓越した発育段階となり、全体の50%前後を占めた。

オイトナ科カイアシ類バイオマスの季節変動

オイトナ科カイアシ類のバイオマスは、湾中央部、湾奥部とも個体数密度が高かった4月～9月に 0.5 mgC m^{-3} 以上の値を示し、バイオマスの極大は4月上旬～5月上旬に湾中央部で 2.9 mgC m^{-3} 、湾奥部で 3.3 mgC m^{-3} となった (Fig. 6)。しかし、出現個体数が著しく減少した11月～2月には、 1 mgC m^{-3} 以下と非常に低い値を示した。

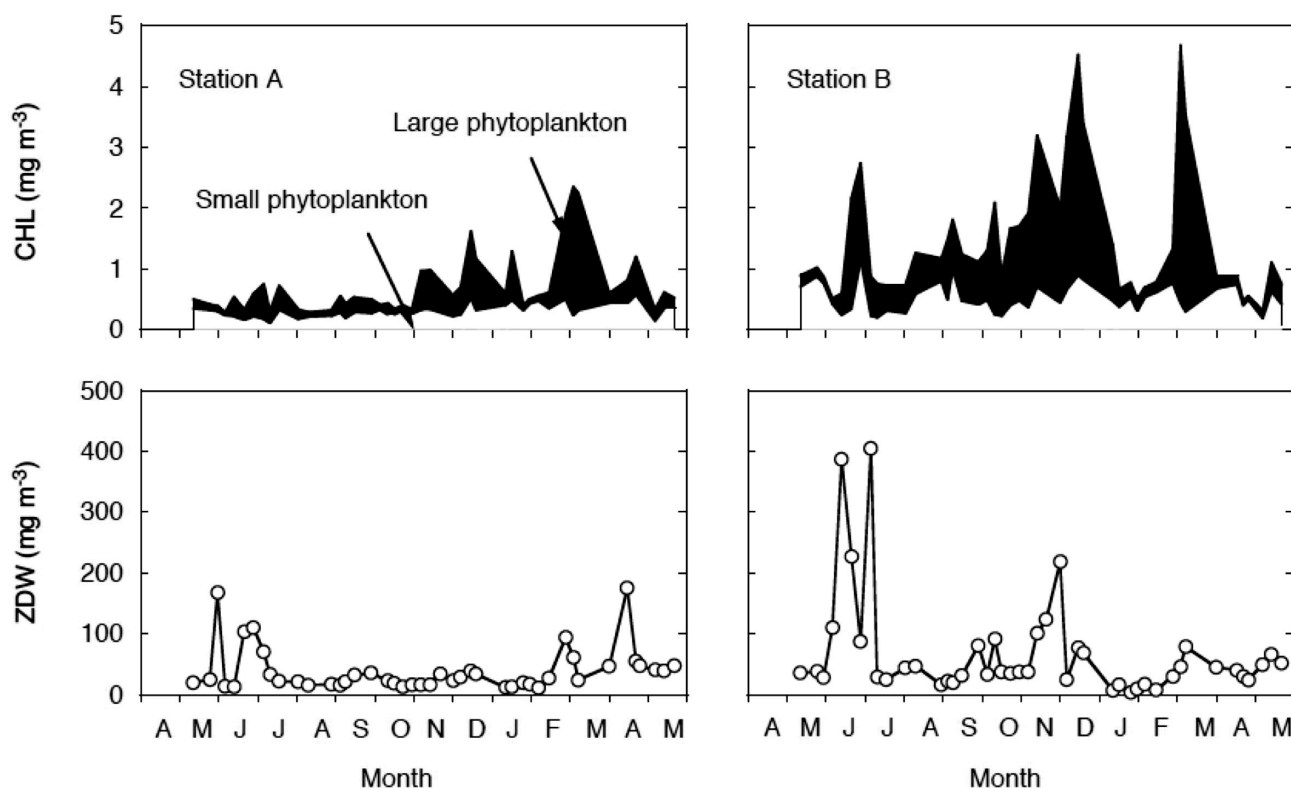


Fig. 3. Seasonal variations in chlorophyll a concentration (mg m^{-3} ; upper) and zooplankton dry weight (mg m^{-3} ; lower) at the central (Station A: left) and inner stations (Station B: right).

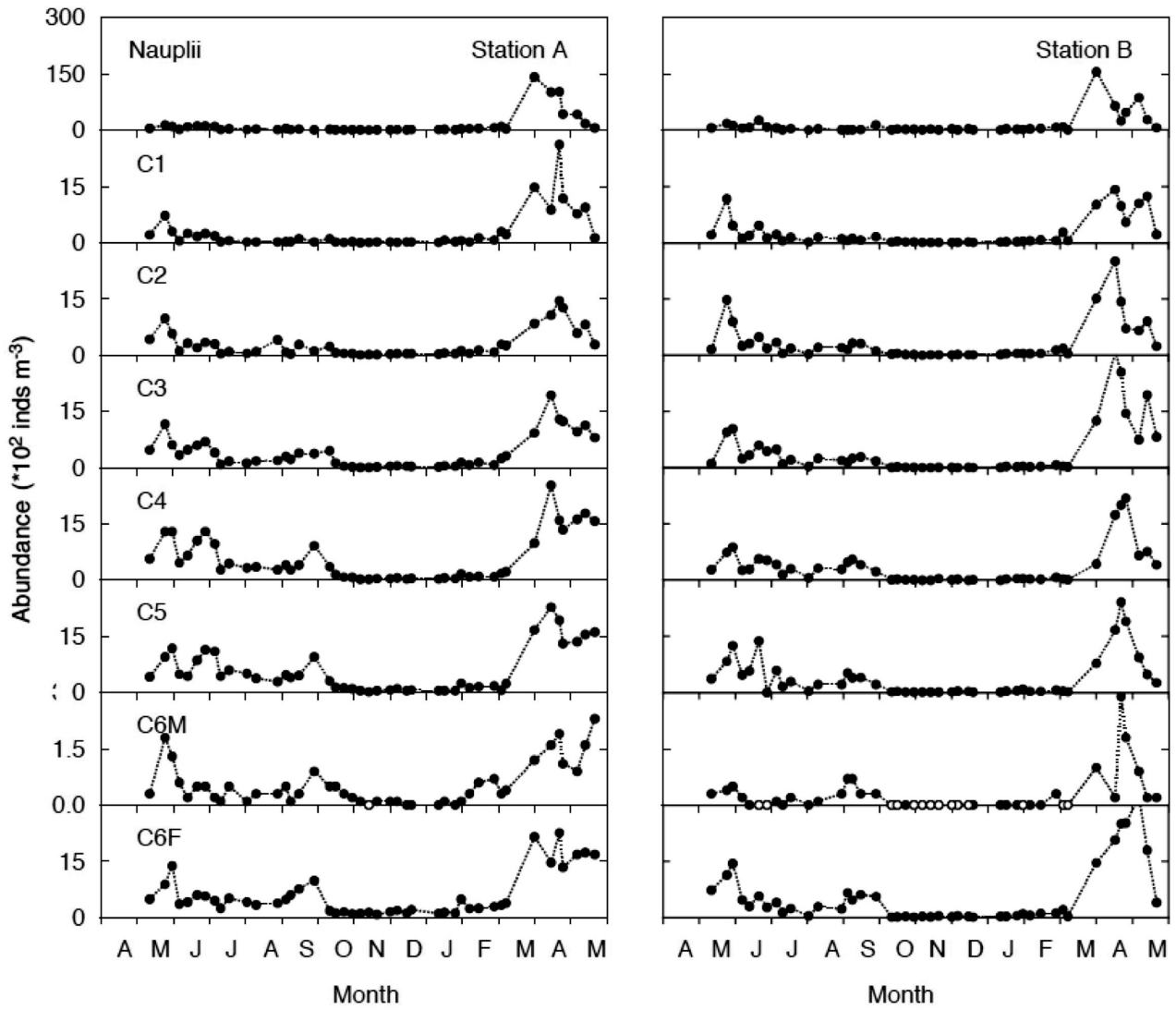


Fig. 4. Seasonal variations in abundance of each developmental stage for Oithonidae copepods ($\times 10^2$ inds m^{-3}) at the central (Station A: left) and inner stations (Station B: right). C1-C5: copepodite stage 1 to 5. C6M: adult male. C6F: adult female. Note that open circles show no occurrence.

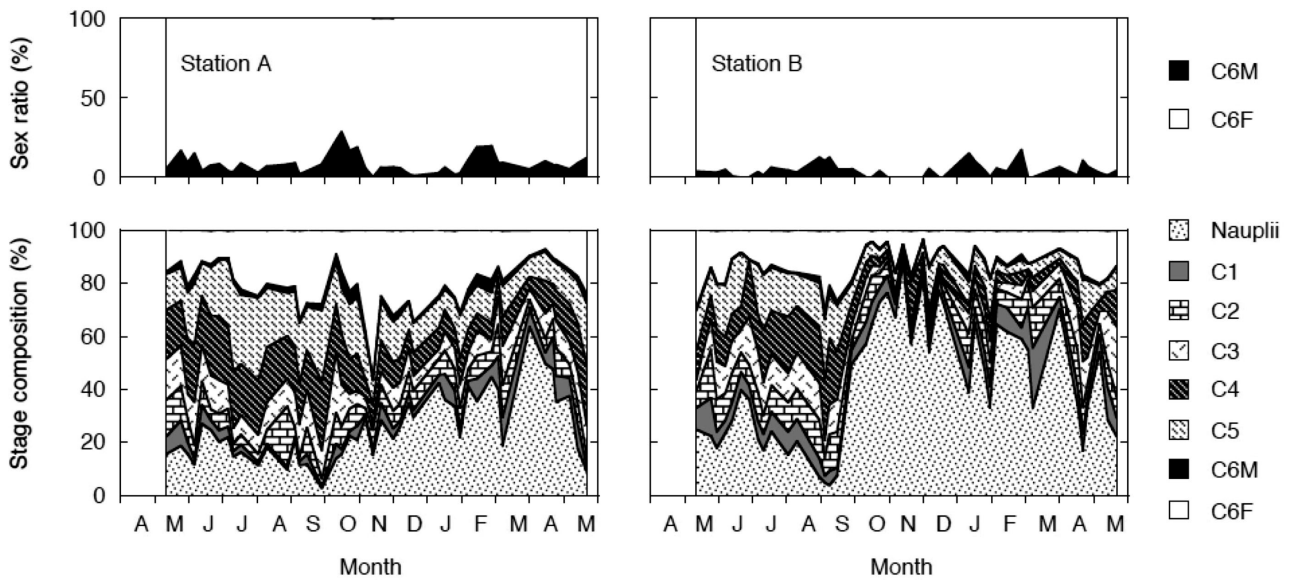


Fig. 5. Seasonal variations in adult sex ratio (%: upper) and stage composition of abundance for Oithonidae copepods (%: lower) at the central (Station A: left) and inner stations (Station B: right).

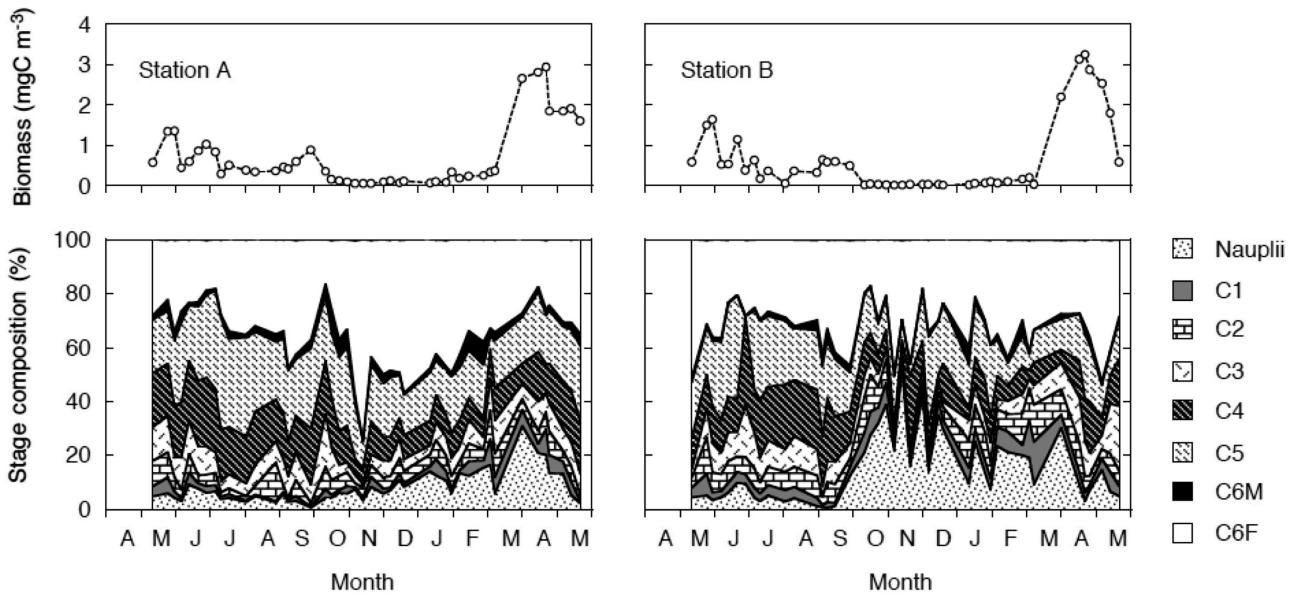


Fig. 6. Seasonal variations in biomass (mgC m^{-3} ; upper) and its stage composition of Oithonidae copepods (%; lower) at the central (Station A: left) and inner stations (Station B: right).

发育段階組成をみると、湾中央部、湾奥部ともに1年を通して、最も大型体サイズを持つ雌成体がバイオマス全体の20%以上を占めた。出現個体数が減少する10月以降になると、湾中央部ではノープリウス幼生の割合が徐々に増加するのに対し、湾奥部では雌成体に匹敵するバイオマスを持つ发育段階となり、この時期にはバイオマス全体の20%前後を占めた。

考 察

これまでの報告によれば、^{17,18)}鹿児島湾ではオイトナ科カイアシ類が1属7種出現することが確認されている。これらのうち、*Oithona similis*は周年にわたって出現する種であり、カラノイダ科、ポエシロストマトイダ科、ハリパクチコイダ科を含むカイアシ類群集の中で数的に卓越することが報告されている。¹⁷⁾また、鹿児島湾における本種の産卵期は1月～6月であると推定されており、本研究におけるノープリウス幼生が多く出現した時期と一致する。*O. plumifera*はしばしば確認されているがその出現は断続的であり、これら以外のオイトナ科カイアシ類は稀にしか観察されていない。¹⁷⁾*O. plumifera*は外洋域に分布することが知られており、²¹⁾鹿児島湾内では出現個体数が少なく湾外から夏季に輸送されると考えられている。¹⁷⁾また、*O. plumifera*は*O. similis*よりも有意に大型の体長を持つが、²¹⁾鹿児島湾で測定された雌成体の頭胸部長は345～440 μm であり、*O. similis*のそれに近い。本研究では科レベルでの識別であるため複数の種が含まれている可能性があるものの、既往知見を考慮するとオ

イトナ科カイアシ類群集の季節変動は*O. similis*の個体群動態を反映していると考えられる。

いずれの調査点においても、オイトナ科カイアシ類の豊度は水温が低くなる10月～2月に極めて低い値を示した (Fig. 4)。カイアシ類は生息環境が悪化すると、カラノイダ目カイアシ類では卵で、サイクロポイダ目カイアシ類では後期幼生で休眠することが知られている。²²⁾しかし、オイトナ科カイアシ類では後期幼生での休眠は未だ報告されておらず、また卵は孵化するまで雌成体の卵嚢内に収容されており休眠卵を産出することはない。本研究では、ノープリウス幼生から成体までの发育時間が短いことが示されたが (Fig. 4)、雌成体の各发育段階で占める割合が多かったことは、ステージ滞留時間が長いことを意味する。他方、調査期間を通してノープリウス幼生の出現が認められたことから、オイトナ科カイアシ類は水温が低い時期であっても産卵を行いながら世代を繰り返していると思われる。しかし、この時期にはノープリウス幼生の比率が増加するがコペポダイト幼生の割合が減少する傾向があり、これは湾奥部で顕著であった (Fig. 5)。コペポダイト幼生および雄成体の豊度が少ないことも考慮すると、この時期には産卵、ノープリウス幼生からコペポダイト幼生への加入、コペポダイト幼生の生残が減少するものと思われる。

他方、オイトナ科カイアシ類の豊度はいずれの調査点においても3月下旬から急激に増加した (Fig. 4)。瀬戸内海の福山湾からの報告によれば、ナノ・マイクロ植物プランクトンバイオマスが高い時期に、水温上昇に伴って*O. davisae*の卵生産が増加することが報告されて

いる。⁷⁾鹿児島湾のオイトナ科カイアシ類の豊度増加は、水温躍層が形成され水温が昇温する時期と一致するものの (Fig. 2)、福山湾とは異なり大型植物プランクトンバイオマスが急激に減少した直後にあたる (Fig. 3)。近年、オイトナ科カイアシ類は植物プランクトンだけでなく、微小動物プランクトン、糞粒、鞭毛藻や繊毛虫、沈降粒子を好んで摂餌する雑食性カイアシ類であることが分かってきた。^{14, 23-26)}鹿児島湾のオイトナ科カイアシ類豊度の季節変動を見ると、小型・大型植物プランクトンバイオマスの増減とは対応していないことから、植物プランクトン以外の餌料源が豊度の季節変動に重要かもしれない。

本研究では科レベルでの識別ではあったものの、オイトナ科カイアシ類の豊度やバイオマスが短期間に大きく変動することが分かった。九州最南端に位置し黒潮が流入する鹿児島湾では、本邦の他の内湾や沿岸域と比べると年平均水温が高い。このような環境における自然状態での動物プランクトン動態を把握するためには、本研究のような週1回から隔週あるいはそれ以上の高頻度で採取された標本解析が必要である。

謝 辞

本研究を行うにあたり、海洋観測および試料採取にご協力頂いた鹿児島大学水産学部附属練習船南星丸の乗組員に深く感謝を申し上げます。また、懇切な助言を賜りました鹿児島大学水産学部鈴木廣志教授、四宮明彦教授、適切な査読を賜りました諸先生に心からお礼申し上げます。

引用文献

- Gallienne, C. P. and D. B. Robins (2001). Is *Oithona* the most important copepod in the world's oceans?. *J. Plankton Res.*, **23** (12): 1421-1432.
- Uye, S. (1994). Replacement of large copepods by small ones with eutrophication of embayments: cause and consequence. *Hydrobiologia*, **292/293**: 513-519.
- 上真一 (2003). 閉鎖性沿岸域の生態系と物質循環 {6} 宍道湖 - 大橋川 - 中海汽水系の中型動物プランクトン群集の地理的・季節的変動とそれらの生態的役割. *海洋と生物*, **25** (4): 277-282.
- Schnack-Schiel, S. B., W. Hagen, and E. Mizdalski (1998). Seasonal carbon distribution of copepods in the eastern Weddell Sea, Antarctica. *J. Mar. Sys.*, **17** (1-4): 305-311.
- Atkinson, A. and J. D. Sinclair (2002). Zonal distribution and seasonal vertical migration of copepod assemblages in the Scotia Sea. *Por. Biol.*, **23** (1): 46-58.
- Licandro P., A. Conversi, F. Ibanez and J. Jossi. (2001). Time series analysis of interrupted long-term data set (1961-1991) of zooplankton abundance in Gulf of Maine (northern Atlantic, USA). *Oceanol. Acta*, **24** (5): 453-466.
- Uye, S. and K. Sano (1995). Seasonal reproductive biology of the small cyclopoid copepod *Oithona davisae* in a temperate eutrophic inlet. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **118**: 121-128.
- Uye, S. and K. Sano (1998). Seasonal variations in biomass, growth rate and production rate of the small cyclopoid copepod *Oithona davisae* in a temperate eutrophic inlet. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **163**: 37-44.
- 日本全国沿岸海洋誌 (1985). 日本海洋学会沿岸海洋研究会編, 東海大学出版会, 東京, 1106pp.
- 大谷賢樹, 菊川浩行, 折田和三, 幸野淳一, 木下紀正 (1998). 鹿児島湾への外洋水の流入. *海の研究*, **7**: 245-251.
- 杉村智樹 (2001). 鹿児島湾の海況変動 2000-2001. 平成12年度鹿児島大学水産学部卒業論文, 50pp.
- Kobari T., A. Habano, and T. Ichikawa (2002). Seasonal variations in phyto- and zooplankton biomass in Kagoshima Bay. *Mem. Fac. Fish., Kagoshima Univ.*, **51**: 19-25.
- Ichikawa, T., N. Honda, and K. Matunaga (1999). Marine snow in Kagoshima Bay. *Bull. Mar. Biomed. Inst., Sapporo Med. Univ.*, **4**: 37-42.
- 大塚攻, 西田周平 (1997). 海産浮遊性カイアシ類 (甲殻類) の食性再考. *海の研究*, **6** (5): 299-320.
- 小達和子 (1994). 東北海域における動物プランクトンの動態と長期変動に関する研究. *東北水研報*, **56**: 115-173.
- 魚谷逸朗, 齋藤勉, 平沼勝男, 西川康夫 (1990). 北西太平洋産クロマグロ *Thunnus thynnus* 仔魚の食性. *日水誌*, **56** (5): 713-717.
- 藤井清, 税所俊郎 (1973). 鹿児島湾における動物性プランクトン. 特に枝角類および橈脚類について. *鹿児島水産学部紀要*, **22** (1): 113-126.
- 野沢治治, 税所俊郎 (1980). 鹿児島湾のプランクトン. *月刊海洋*, **12** (9): 654-672.
- Suzuki, R. and T. Ishimaru (1990). An improved method for the determination of phytoplankton chlorophyll using *N, N*-dimethylformamide. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **46**: 190-194.
- Holm-Hansen, O., C. J. Lorenzen, R. W. Holmes and J. D. Strickland (1965). Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, **30**: 3-15.
- 千原光雄, 村野正昭 (1997). 日本産海洋プランクトン検索図説. 東海大学出版会, 東京, 1574pp.
- 伴修平 (1998). 橈脚類の休眠. *海の研究*, **7** (1): 21-34.
- Tuner, J. T. (1986). Zooplankton feeding ecology: contents

- of fecal pellets of the cyclopoid copepods *Oncaea venusta*, *Corycaeus amazonicus*, *Oithona plumifera*, and *O. simplex* from the northern Gulf of Mexico. *P. S. Z. N. I. Mar. Ecol.*, **7**: 289-302.
- 24) Uchima, M. (1988). Gut content analysis of neritic copepods *Acartia omorii* and *Oithona davisae* by a new method. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **48**: 93-97.
- 25) Uchima, M. and R. Hirano (1988a). Food of *Oithona davisae* (Copepoda: Cyclopoida) and the effect of food concentration at first feeding on the larval growth. *Bull. Plankton Soc. Japan*, **33**: 21-28.
- 26) Uchima, M. and R. Hirano (1988b). Predation and cannibalism in neritic copepods. *Bull. Plankton Soc. Japan*, **33**: 147-149.