

沿岸域におけるサルパ・ブルームと有機物の鉛直輸送

深尾剛志¹⁾*・朝日俊雅¹⁾・多田邦尚¹⁾

Salp bloom and vertical fluxes of organic matter in coastal water

Tsuyoshi FUKAO, Toshimasa ASAHI and Kuninao TADA

Abstract: The changes of salp abundance and environmental factors such as water temperature and salinity were investigated in surface water of Shitaba Bay, Uwa Sea, Japan, in spring, 2011. Furthermore, sediment trap samples were collected at the bottom ocean layer of Shitaba Bay during salp bloom phase or non-bloom phase. Maximum salp abundance were recorded at 26 April, but no salp were observed at water temperatures of more than 20°C (from 12 May onwards). Particulate organic carbon and nitrogen fluxes during salp bloom phase were higher than those during non-bloom phase. Therefore, these results showed that salp bloom in spring contributed to rapid supply of particulate organic matter from surface to bottom layer in coastal environments.

Keywords: salp bloom, water temperature, sediment trap, organic matter flux

1. はじめに

サルパ類は、脊索動物門、被囊動物亜門、タリア綱に属し、クラゲと同様にゼラチン質の体をもつ動物プランクトンであり、主に外洋域に生息している(西川, 2001, 2003)。サルパ類は、無性生殖を行う単独個体(solitary zooid)と雌雄同体で有性生殖を行う連鎖個体(aggregate zooid)の2種類の形態が存在し、交互に世代交代を繰り返す(西川, 2003)。近年、春季の日本海を中心にサルパの大量発生(以後、「サルパ・ブルーム」と記す)が報告され、刺網や定置網に付着することで漁労作業に支障を来していることが報告されている

(黒田ら, 2000; 藤井, 2007; 飯田, 2009)。また敦賀原子力発電所では、取水口に5cm程のトガリサルパ(*Salpa fusiformis*)が大量侵入し、復水器系統のフィルターを詰まらせた結果、1ヶ月近く発電出力を40%まで低下させる被害を被っている(藤井, 2007)。一方で、サルパはマサバをはじめとした魚類に捕食されていることから生態系の一端を担っていることが明らかとなっている(西村, 1958; 飯田, 2009)。サルパ・ブルームの出現に関する記録は愛媛県宇和海沿岸においても報告されている(森実, 1995)。1994年4月にはトガリサルパが大量発生し、養殖ハマチの鰓把をサルパが覆って鰓への通水を阻害した結果ハマチの窒息死を引き起こした(森実, 1995)。それ以降もほぼ毎年4月ごろからサルパ・ブルームの形成がみられることから、漁業被害を避けるためにもその発生機構を明らかにすることは重要であると考えられ

1) 香川大学農学部

〒761-0795 香川県木田郡三木町池戸2393

*連絡先 E-mail: fukao@water.ocn.ne.jp

Tel./Fax + 81-87-891-3148

る。サルパの分布・生態に関する研究は主に外洋域が中心であり (ISEKI, 1981; MADIN, 1982; NISHIKAWA *et al.*, 1995; NISHIKAWA and TSUDA, 2001; IGUCHI and IKEDA, 2004; ONO *et al.*, 2010)。沿岸域におけるサルパ・ブルームの形成に関する詳細な条件等は未だに明らかにされていないのが現状である。さらに、サルパは大量の植物プランクトンや植食性動物プランクトンを含む懸濁物をろ過し懸濁物を凝集した糞を排出することから (西川, 2001, 2003)、貧栄養である外洋域において高密度のブルームが発生した場合、ブルーム発生海域表層の懸濁物が大量に摂食され、排出された糞が素早い有機物の鉛直輸送に大きく寄与していることが報告されている (ISEKI, 1981; MADIN, 1982; MORRIS *et al.*, 1988)。沿岸域であるにもかかわらず富栄養の傾向を示す春季の宇和海において (山下, 2011)、サルパ・ブルームが形成された場合も同様に大量のサルパ由来の有機物が底層に供給されているものと予想される。そこで本研究では、愛媛県の宇和海沿岸域の一つ下波湾の魚類養殖場において、2011年春季に発生したサルパ・ブルームによる有機物の鉛直輸送への影響について明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2.1 調査定点

調査定点を Fig. 1 に示す。下波湾は宇和海東部の愛媛県宇和島市に位置し、湾口幅約 1.8 km、奥行き約 2.8 km、面積約 3 km²、湾奥付近の水深は 20 m 程度、湾中央部から湾口にかけては水深 50-60 m の内湾であり、二級河川以上の河川の流入がない。本湾はタイやハマチを主体とした魚類養殖と真珠養殖が営まれている。調査は、下波湾の湾口部の愛媛県農林水産研究所水産研究センターの地先に設置されている魚類養殖筏 Stn. A (平均水深 25 m) で実施した。

2.2 サルパの個体数調査および環境因子の測定

サルパの個体数調査は、2011年4月下旬から6月初旬にかけて平日は概ね毎日養殖生簀の上からポリエチレン製バケツで表層の海水 1~10 L を採取した。海水は目開き 106 μ m のふるいでろ過し、ふるい上のサルパについて単独個体と連鎖個体の合計個体数を肉眼で計数した。また、採水試料の違いによる個体数の偏りを防ぐため、十回の採水を行って計数し、その平均値をサルパの個体数とした。採集したサルパの一部は、予め強熱処理 (450°C, 3時間) した GF/F フィルター (Whatman) でろ過した海水で洗浄した後、GF/F ろ過海水中

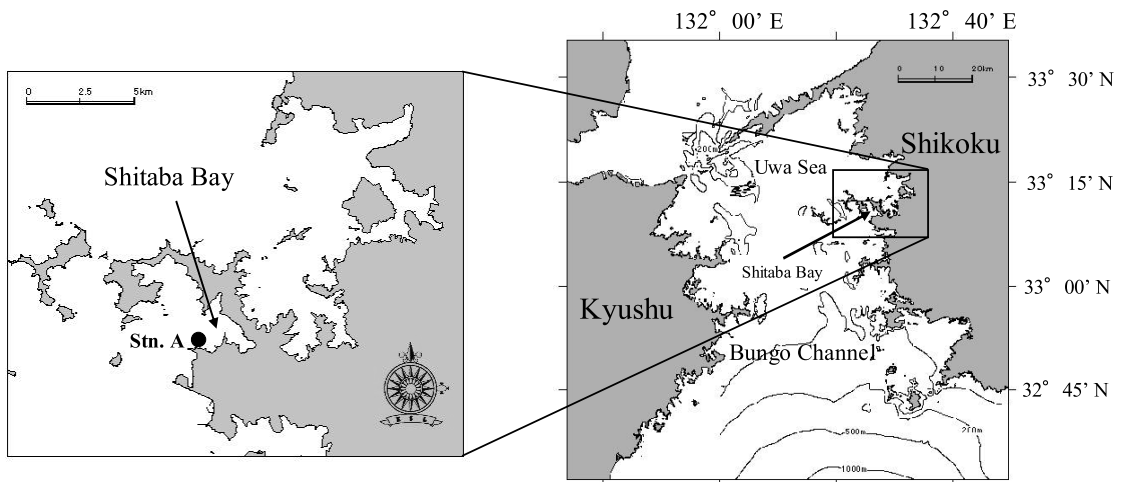


Fig. 1 Location of sampling station (Stn. A) in Shitaba Bay, Uwa Sea

で数時間飼育し糞を排出させた。サルパを除去後、糞を含む海水はGF/Fフィルター上にろ過捕集した。サルパ本体と糞を捕集したフィルターはそれぞれ -30°C 中で凍結した後、凍結乾燥して重量測定後、成分分析までデシケーター中で常温保存した。調査定点表層水(0~0.5 m)の水温および塩分は多項目水質計(アレック電子株式会社, クロロテック AAQ175)あるいは防水型デジタル温度計(佐藤計量器製作所, SK-1250MCIII a)により測定した。なお透明度および一部の水温は、愛媛県農林水産研究所水産研究センターのデータを利用した。

2.3 沈降粒子の捕集実験

サルパ・ブルーム時あるいは非サルパ・ブルーム時にセディメントトラップを設置し、沈降粒子捕集実験を行った。実験には、アクリル製筒を6本装着したM型トラップ(MONTANI *et al.*, 1988)を行った。実験時、捕集された沈降粒子の筒内での舞い上がりを最小にするため、アクリル製筒の底にプラスチック製のグリッドを置いた(多田ら, 2009)。トラップは、表層水中のサルパが混入しないようにするため陸上で筒の中を目開き $106\ \mu\text{m}$ のふるいでろ過した海水で満たした後水深15 m層に沈め、養殖生簀から直接係留した(Fig. 2)。なお、実験期間中はトラップが設置されている付近において魚類養殖は行われていない。トラップを約2日間放置した後回収し、6本の内4本のトラップの筒を静置してサイフォンで上澄液を取り除いた。筒中の沈降粒子は、GF/Fフィルター上にろ過捕集した。沈降粒子はろ過捕集完了後、炭酸塩を除去するため1M塩酸処理を数分施し、さらに塩酸が除去されるまで蒸留水で洗浄しながらろ過を続けた。沈降粒子を捕集したフィルターは -30°C 中で凍結した後凍結乾燥して重量測定後成分分析までデシケーター中で常温保存した。サルパ、サルパの糞および沈降粒子中の有機態炭素・窒素量の分析は、CHNコーダー(J-SCIENCE LAB Co., Ltd., MICRO CORDER JM10)を用いて測定した。

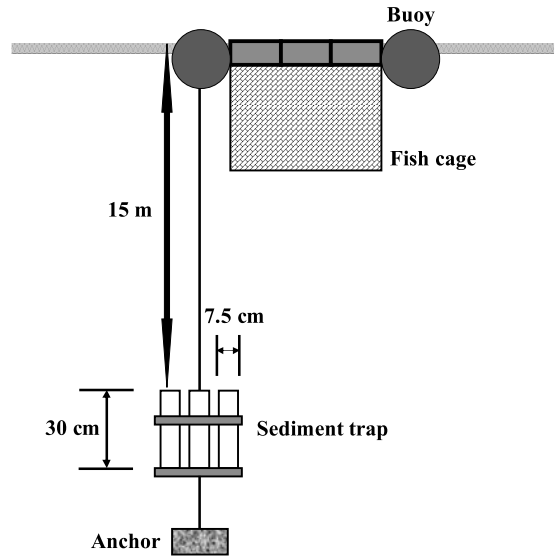


Fig. 2 Schematic diagram of sediment trap system

3. 結果および考察

3.1 サルパの変動とそれに及ぼす環境要因

2011年4月下旬から5月上旬にかけてサルパのブルームが観察された(Fig. 3)。4月26日に最大個体密度 $18920\ \text{inds. m}^{-3}$ に達し、その後約2~3日程度でブルームの形成・消滅を繰り返し、これが5月11日まで続いた(Fig. 3)。サルパの体長が約1~3 cmであることと形態から過去に宇和海沿岸を調査した森実(1995)の報告と同様にトガリサルパであると判断した(Fig. 4a, b, c)。ブルーム形成前に表層水中を単独個体が遊泳しているのが確認され、その数時間後大規模な連鎖個体によるブルームが出現した(Fig. 4d)。またブルームの衰退期には、サルパ以外にミズクラゲ(*Aurelia aurita*)あるいは複数種のハコクラゲ属(*Abyla* spp.)も多く確認することができた。サルパ・ブルーム形成期間が終了する頃(5月8日)に続いて夜光虫(*Noctiluca scintillans*)赤潮が形成される水域がパッチ状に増加していった。サルパ・ブルーム消滅直後、粘性を有するサルパの死骸や糞が凝集したヌタ(三島ら, 1990)が浮遊している海域も一部で確認できた(Fig. 4e)。サルパは、体内の粘性を有する網で餌となる懸濁粒子を濾しとることが知られている(西川, 2001, 2003;

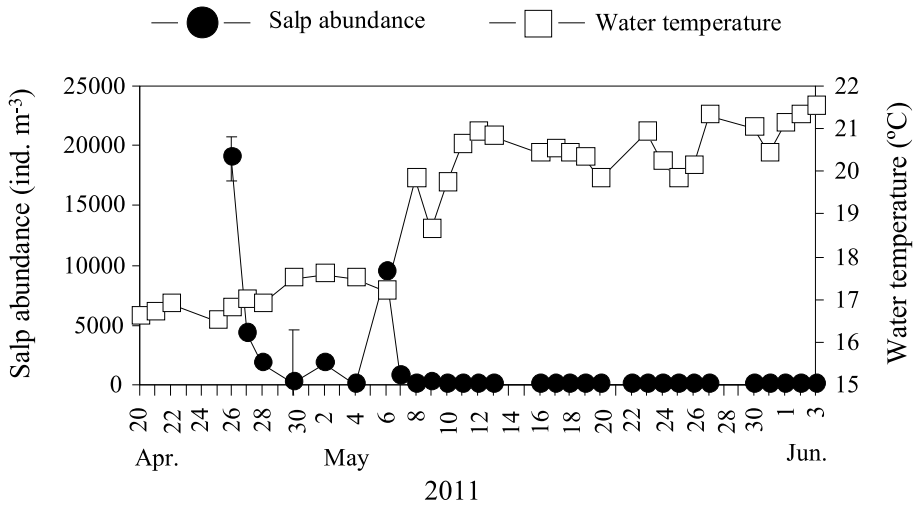


Fig. 3 Changes of salp abundance and water temperature in surface water (0–0.5 m) of Shitaba Bay from late April to early June, 2011. The error bars represent one standard deviation

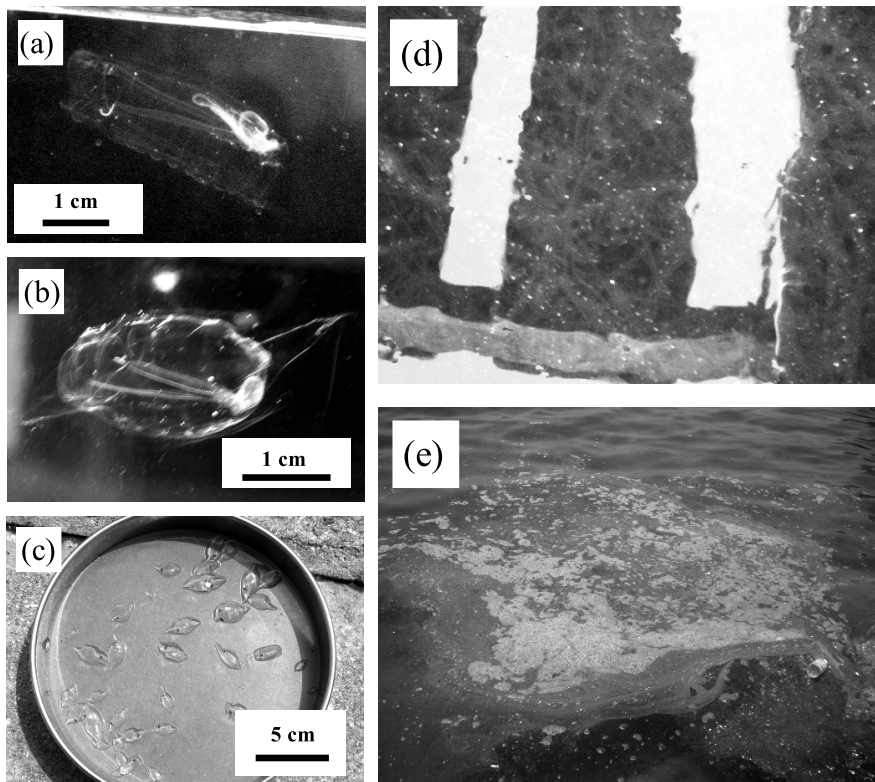


Fig. 4 Photographs of solitary zooid (a) and aggregate zooid (b) of salp *Salpa fusiformis*, salps collected in a sieve (c), salp bloom (d) and Nuta aggregates formed by salp cadaver (e)

BONE *et al.*, 2000). ヌタは、サルパから放出された網にサルパの死骸や海水中の懸濁粒子が付着し凝集したものと考えられ、大規模に発生した場合養殖生簀の網等に付着することで水産業にダメージを与える可能性があり、沿岸域では今後注意が必要であると思われる。サルパ・ブルームは、水温が20℃以上になる5月11日を最後にみられなくなった (Fig. 3)。また、調査期間中の塩分(34.57~34.77)に著しい変動はなかった。トガリサルパがブルームのような高密度で出現する場合の最適水温の上限は、16.5~22℃の範囲にあると報告されていることから (BRACONNOT, 1971; LICANDRO *et al.*, 2006; CHAE *et al.*, 2008; LIU *et al.*, 2012; FRANCO *et al.*, 2014) 今回の調査と概ね一致し、サルパ・ブルームが形成されなくなったのは水温の上昇によるものと考えられる。調査期間終了後も2012年3月まで表層水中を肉眼で監視し続けたが、12月から3月まで水温が20℃以下になったにもかかわらずサルパ・ブルームをみる事がなかった。これは、冬の宇和海は強風の影響で海が荒れやすいため表層水中でサルパが遊泳できないものと推測され、ブルームが形成されるのは20℃以下かつ海がおだやかな春季の狭い期間に限られていると考えられる。また、サルパは水深50m以深にも生息していることから (MORRIS *et al.*, 1988; NISHIKAWA and TSUDA, 2001; PAGÈS *et al.*, 2001; ONO *et al.*, 2010), プランクトンネットを用いて底層(約15m)におけるサルパの有無を調べたものの、やはり5月12日以降観察すること

はできなかった。これらのことから、サルパは下波湾に常在しているわけではなく、上層から黒潮系暖水が突発的に沿岸域に侵入する現象である急潮 (武岡ら, 1992; 小泉, 2002) あるいは急潮後下層から陸棚斜面域由来の冷水が浸入する現象である底入り潮 (小泉, 2002; 兼田ら, 2010) とともに外洋から移入してくると推測され、今後下波湾への侵入経路の特定が必要になるものと考えられる。

3.2 サルパ・ブルームによる沈降粒子束への影響

サルパ・ブルーム時(5月6日~8日)および非サルパ・ブルーム時(夜光虫赤潮:5月11日~13日および非ブルーム:5月17日~19日と5月24日~26日)にセディメントトラップで捕集したそれぞれの沈降物の特性は異なっていた。サルパ・ブルーム時の沈降物は、弱い粘性を有する白い膜状の物質で粒子が凝集した状態であったのに対し (Fig. 5a), 夜光虫赤潮あるいは非ブルーム時のものは粒子が粉状に散けていた (Fig. 5b, c)。全沈降粒子フラックスは5.20~7.16 g dry m⁻² day⁻¹の範囲であり、サルパ・ブルームの発生による有意な差異は認められなかった (Fig. 6, Tukey法, $p > 0.05$)。一方、有機炭素フラックスにおいて、サルパ・ブルーム時(0.31 g-C dry m⁻² day⁻¹)と夜光虫赤潮時(0.29 g-C dry m⁻² day⁻¹)は非ブルーム時(0.084および0.063 g-C dry m⁻² day⁻¹)より有意に高かった (Fig. 7a, Tukey法, $p < 0.01$)。また有

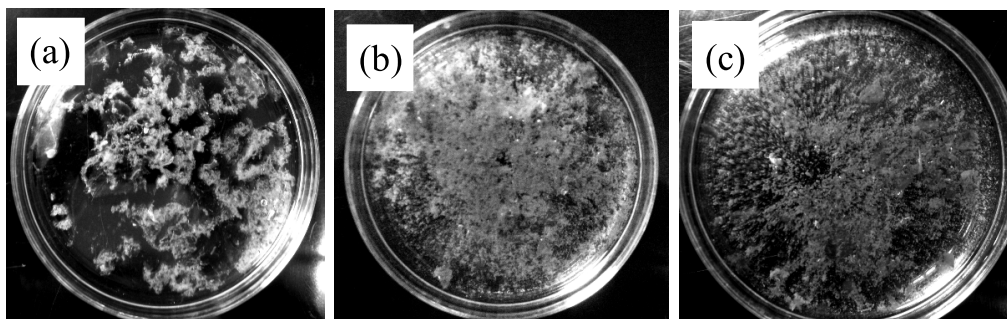


Fig. 5 Photographs of settling matter collected by sediment trap during salp bloom (a), *Noctiluca* red tide (b) and non-bloom (c)

機窒素フラックスにおいても同様に、サルパ・ブルーム時 ($0.061 \text{ g-N dry m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) と夜光虫赤潮時 ($0.049 \text{ g-N dry m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) は非ブルーム時 (0.011 および $0.0085 \text{ g-N dry m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) より有意に高かった (Fig. 7b, Tukey 法, $p < 0.01$)。全沈降粒子フラックスに有意差が生じなかった原因とし

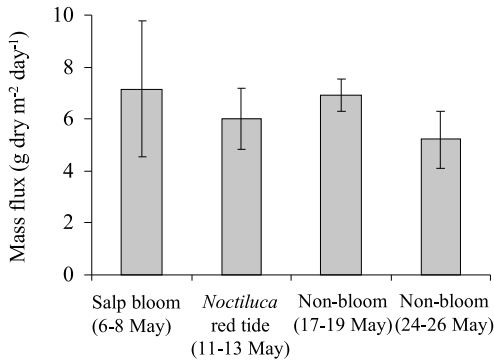


Fig. 6 Mass flux during salp bloom, *Noctiluca* red tide, and non-bloom. The error bars represent one standard deviation

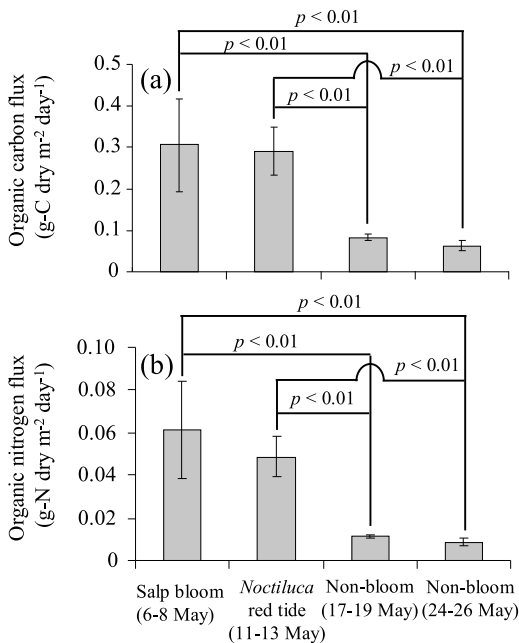


Fig. 7 Organic carbon flux (a) and organic nitrogen flux (b) during salp bloom, *Noctiluca* red tide, and non-bloom. The error bars represent one standard deviation

て、全沈降粒子フラックスに占める有機炭素フラックスおよび有機窒素フラックスの割合が、それぞれ 1.21-4.84% および 0.16-0.86% に過ぎなかったためと考えられる。サルパの体および糞に含まれる有機態の炭素量と窒素量も沈降物と同様に分析し、沈降物と比較した。サルパ・ブルーム時における沈降物に含まれる有機態の炭素量および窒素量は夜光虫赤潮時と同様に非ブルーム時より高く、サルパ・ブルーム時の沈降物中の C/N (モル比) は、非サルパ・ブルーム時よりサルパの体と糞に近い値であった (Table 1)。サルパは、他の動物プランクトンより高い水能力を有し (ALLDREDGE and MADIN, 1982)、植物プランクトン、微小動物プランクトンおよび懸濁態粒子を非選択的に摂食する (SILVER, 1975; HUNTLEY *et al.*, 1989; NISHIKAWA *et al.*, 1995; 西川, 2001, 2003; VARGAS and MADIN, 2004)。さらにサルパによる直接摂食のみならず、他の植食性動物プランクトンは、サルパと餌をめぐる競争に負けた結果間接的に排除される場合があることが指摘されている (NISHIKAWA *et al.*, 1995; 西川, 2001; PERISSINOTTO and PAKHOMOV, 1998)。そのためサルパ・ブルーム形成海域において、他の生物量や懸濁態粒子の著しい減少がみられ (BATHMANN, 1988; ZELDIS *et al.*, 1995; 西川, 2001; GIESECKE *et al.*, 2014)、ほぼサルパの独占状態になる (西川, 2001; GIESECKE *et al.*, 2014)。従って、下波湾のサルパ・ブルーム時に底層に輸送された沈降物中の有機物は主にサルパ由来のものである可能性を示唆する。これまで、サルパ由来有機物の底層への輸送に関する報告は、多くの海域においてなされている (ISEKI, 1981; MADIN, 1982; MORRIS *et al.*, 1988)。MORRIS *et al.* (1988) は、地中海ヴィルフランシュ湾におけるトガリサルパ・ブルーム期の有機物フラックスは、非ブルーム期の数十倍になることもあることを報告している。下波湾の透明度がサルパ・ブルームの後期には上昇していること (4月26日: 8.5m から5月6日: 17.5m) から、表層水中の植物プランクトン等有機物を含む懸濁物は、サルパにより大量にろ過され糞として凝集後体外へ放出され、糞はサルパが放出する粘性を有する網に付着する

Table 1 Organic carbon and nitrogen of settling matter, and fecal pellets and body of salp (*Salpa fusiformis*)

Trap experiment period and salp-derived matter	Settling matter		C/N
	(mgC g ⁻¹)	(mgN g ⁻¹)	(mol mol ⁻¹)
Salp bloom (6-8 May)	42.8	8.58	5.82
<i>Noctiluca</i> red tide (11-13 May)	48.4	8.10	6.97
Non-bloom (17-19 May)	12.1	1.64	8.63
Non-bloom (24-26 May)	5.50	0.82	7.86
Fecal pellets of salps	115	24.4	5.49
Salp body	35.5	8.67	4.78

ことで一時的にヌタとして浮遊するものの、付着していく懸濁物の重みにより最終的には底層へ素早く沈降していくものと考えられる。調査海域の底質は砂状で有機物は少ないことから、サルパによって表層からもたらされる有機物は底生生物の餌として大きく寄与しているものと考えられ、沈降したサルパ由来有機物が底層の生態系にどのように利用されているのか等について詳細な調査が必要になる。

謝 辞

本研究で使用した透明度および水温データの一部は、愛媛県農林水産研究所水産研究センターから提供していただいた。ここに記し、謝意を表します。

参考文献

- ALLDREDGE, A. L. and L. P. MADIN (1982): Pelagic tunicates: unique herbivores in the marine plankton. *Bioscience*, **32**, 655-663.
- BATHMANN, U. V. (1988): Mass occurrence of *Salpa fusiformis* in the spring of 1984 off Ireland: implications for sedimentation processes. *Mar. Biol.*, **97**, 127-135.
- BONE, Q., C. CARRE and K. P. RYAN (2000): The endostyle and feeding filter in salps (Tunicata). *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, **80**, 523-534.
- BRACONNOT, J. C. (1971): Contribution à l'étude biologique et écologique des Tuniciers pélagiques Salpides et Doliolides I. *Hydrologie et*

écologie des Salpides. *Vie Milieu*, **22**, 257-286.

- CHAE, J., H. W. CHOI, W. J. LEE, D. KIM and J. H. LEE (2008): Distribution of a pelagic tunicate, *Salpa fusiformis* in warm surface current of the eastern Korean waters and its impingement on cooling water intakes of Uljin nuclear power plant. *J. Environ. Biol.*, **29**, 585-590.
- FRANCO, P., H. CHEN and G. LIU (2014): Distribution and abundance of pelagic tunicates in the North Yellow Sea. *J. Ocean Univ. China*, **13**, 782-790.
- 藤井誠二 (2007): 発電所の取水口を詰まらせる新種の迷惑生物. *海生研ニュース*, **96**, 11.
- GIESECKE, R., A. CLEMENT, J. GARCÉS -VARGAS, J. I. MARDONES, H. E. GONZÁLEZ, L. CAPUTO and L. CASTRO (2014): Massive salp outbreaks in the inner sea of Chiloé Island (Southern Chile): possible causes and ecological consequences. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, **42**, 604-621.
- HUNTLEY, M. E., P. F. SYKES and V. MARIN (1989): Biometry and trophodynamics of *Salpa thompsoni* Foxtton (Tunicata; Thaliacea) near the Antarctic Peninsula in austral summer, 1983-1984. *Polar Biol.*, **10**, 59-70.
- IGUCHI, N. and T. IKEDA (2004): Metabolism and elemental composition of aggregate and solitary forms of *Salpa thompsoni* (Tunicata: Thaliacea) in waters off the Antarctic Peninsula during austral summer 1999. *J. Plankton Res.*, **26**, 1025-1037.
- 飯田直樹 (2009): 刺網に付着していた泥状の物質の正体について. *富水研だより*, **2**, 10-11.
- ISEKI, K. (1981): Particulate organic matter transport

- to the deep sea by salp fecal pellets. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **5**, 55-60.
- 兼田淳史・小泉喜嗣・高橋大介・福森香代子・郭新宇・武岡英隆 (2010): 2007年宇和海上波湾における有害渦鞭毛藻 *Karenia mikimotoi* 赤潮の底入り潮の発生による消滅. *水産海洋研究*, **74**, 167-175.
- 小泉喜嗣 (2002): 豊後水道東岸域における急潮と植物プランクトンの増殖機構に関する研究. *愛媛県水産試験場研究報告*, **10**, 1-91.
- 黒田一紀・森本晴之・井口直樹 (2000): 2000年の日本海におけるサルパ類とクラゲ類の大量出現. *水産海洋研究*, **64**, 311-315.
- LICANDRO, P., F. IBÁÑEZ and M. ETIENNE (2006): Long-term fluctuations (1974-1999) of the salps *Thalia democratica* and *Salpa fusiformis* in the northwestern Mediterranean Sea: Relationships with hydroclimatic variability. *Limnol. Oceanogr.*, **51**, 1832-1848
- LIU, Y., S. SUN and G. ZHANG (2012): Seasonal variation in abundance, diel vertical migration and body size of pelagic tunicate *Salpa fusiformis* in the Southern Yellow Sea. *Chin. J. Oceanol. Limnol.*, **30**, 92-104.
- MADIN, L. P. (1982): Production, composition and sedimentation of salp fecal pellets in oceanic waters. *Mar. Biol.*, **67**, 39-45.
- 三島康史・門谷茂・岡市友利 (1990): 巨視的浮遊性大型粒子 (NUTA): 採取装置の開発と懸濁粒子・沈降粒子との関係. *La mer*, **28**, 123-130.
- MONTANI, S., K. TADA and T. OKAICHI (1988): Purine and pyrimidine base in marine particles in the Seto Inland Sea, Japan. *Mar. Chem.*, **25**, 359-371.
- 森実庸男 (1995): サルパで養殖ハマチが死んだ話. *愛媛水試だより*, **9**, 12-14.
- MORRIS, R. J., Q. BONE, R. HEAD, J. C. BRACONNOT and P. NIVAL (1988): Role of salps in the flux of organic matter to the bottom of the Ligurian Sea. *Mar. Biol.*, **97**, 237-241.
- NISHIKAWA, J., M. NAGANOBU, T. ICHII, H. ISHII, M. TERAZAKI and K. KAWAGUCHI (1995): Distribution of salps near the South Shetland Islands during austral summer, 1990-1991 with special reference to krill distribution. *Polar Biol.*, **15**, 31-39.
- 西川淳 (2001): サルパ類研究のどこが面白いのか? 月刊海洋 / 号外, **27**, 207-215.
- NISHIKAWA, J. and A. TSUDA (2001): Diel vertical migration of the tunicate *Salpa thompsoni* in the Southern Ocean during summer. *Polar Biol.*, **24**, 299-302.
- 西川淳 (2003): 海産ゼラチン質プランクトン, サルパ類をめぐる捕食と被食. *日本プランクトン学会報*, **50**, 98-103.
- 西村三郎 (1958): 中部日本海産マサバの撮影に関する一知見—トガリサルパの撮取について—. *日水研年報*, **4**, 105-112.
- ONO, A., T. ISHIMARU and Y. TANAKA (2010): Distribution and population structure of salps off Adelie Land in the Southern Ocean during austral summer, 2003 and 2005. *La mer*, **48**, 55-70.
- PAGÈS, F., H. E. GONZÁLEZ, M. RAMÓN, M. SOBARZO and J.-M. GILI (2001): Gelatinous zooplankton assemblages associated with water masses in the Humboldt Current System, and potential predatory impact by *Bassia bassensis* (Siphonophora: Calycophorae). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **210**, 13-24.
- PERISSINOTTO, R. and E. A. PAKHOMOV (1998): The trophic role of the tunicate *Salpa thompsoni* in the Antarctic marine ecosystem. *J. Mar. Sys.*, **17**, 361-374.
- SILVER, M. W. (1975): The habitat of *Salpa fusiformis* in the California Current as defined by indicator assemblages. *Limnol. Oceanogr.*, **20**, 230-237.
- 多田邦尚・門谷茂・VEERAPORN SUKSOMJIT・広瀬敏一・一見和彦 (2009): ハマチ *Seriola quinqueradiata* 養殖場における沈降粒子束. *日水誌*, **75**, 383-389.
- 武岡英隆・秋山秀樹・菊池隆展 (1992): 豊後水道の急潮. *沿岸海洋研究ノート*, **30**, 16-26.
- VARGAS, C. A. and L. P. MADIN (2004): Zooplankton feeding ecology: clearance and ingestion rates of the salps *Thalia democratica*, *Cyclosalpa affinis* and *Salpa cylindrical* on naturally occurring particles in the Mid-Atlantic Bight. *J. Plankton Res.*, **26**, 827-833.
- 山下亜純・井関和夫・樽谷賢治・小泉喜嗣 (2011): 宇和海上波湾における基礎生産速度の季節変動. *水産海洋研究*, **75**, 9-18.
- ZELDIS, J. R., C. S. DAVIS, M. R. JAMES, S. L. BALLARA, W. E. BOOTH and F. H. CHANG (1995): Salp grazing: effects on phytoplankton abundance, vertical

distribution and taxonomic composition in a coastal habitat. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **126**, 267-283.

受付：2014年10月27日

受理：2015年3月11日

