

平成21年4月21日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18580180

研究課題名（和文）内湾域における休眠期細胞形成性植物プランクトンの生態戦略に関する研究

研究課題名（英文）Studies on ecological strategies of resting stage cell-forming phytoplankton in a temperate embayment

研究代表者 石川 輝（ISHIKAWA AKIRA）
 三重大学・大学院生物資源学研究所・准教授
 研究者番号：00273350

研究成果の概要：

三重県英虞湾において、以前開発した「プランクトン発生捕捉チャンバー（PET チャンバー）」を用いて植物プランクトンの現場海底からの発芽細胞を捕捉した。その結果、珪藻類で 29 属 58 種、渦鞭毛藻類（有殻類）で 19 属 55 種の海底からの発芽細胞を捉えることに成功した。また、特に珪藻類のいくつかの種で海底からの発芽挙動と水柱中における栄養細胞の出現との関係を明らかにし、個体群形成における生態戦略を解明することができた。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,800,000	0	1,800,000
2007 年度	900,000	270,000	1,170,000
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	510,000	4,010,000

研究分野：浮遊生物学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：植物プランクトン、珪藻類、渦鞭毛藻類、休眠期細胞、栄養細胞、発芽、
 プランクトン発生捕捉チャンバー、英虞湾

1. 研究開始当初の背景

(1) 時空間的に環境の変化が激しい沿岸・内湾を生息場としている植物プランクトンの中には、生活史の一時期に休眠して不適な環境を海底上で生残するステージ（以下、“休眠期細胞”と呼ぶ）を持つ種が多く知られている。休眠期細胞は栄養細胞増殖の種（たね）としての役割を果たすため、そういった種の生態を解明するためには、プランクトン群を構成する栄養細胞の季節消長だけでなく、海底に存在する休眠期細胞の発芽動態に関する研究が必要である。

(2) これまで休眠期細胞の発芽のメカニズムについては室内での培養実験に基づいた様々な研究が行われてきた。しかし、休眠期細胞の発芽を制御する多くの環境要因が複雑に絡み合っており、しかもそれらが刻々と変化している現場海底において、実際にはいつ、どのくらい発芽しているのか？ということについては、現場の環境を室内で再現することが不可能なためにほとんどわかっていない。植物プランクトンの生態をよりよく把握するためには、この点を明らかにすることが課題である。

2. 研究の目的

本研究では、典型的な内湾域である三重県英虞湾をモデル海域として、同湾における植物プランクトンの現場海底からの発芽を季節的に追跡し、同時に栄養細胞の季節消長を調べることによって、それらの個体群形成機構ならびに生態戦略を明らかにすることを旨とした。

3. 研究の方法

三重県英虞湾の南岸に一調査点を設けた。この調査点において 2006 年 7 月より 2008 年 7 月まで現場調査を行った。調査頻度は毎月 1 回とした。調査項目は、主に現場発芽細胞の捕捉ならびに採水であった。それぞれの調査項目の内容を次に述べる。

現場発芽細胞の捕捉：以前開発した「プランクトン発生捕捉チャンバー：Plankton Emergence Trap/Chamber(以下 PET チャンバーと呼ぶ)」(Ishikawa et al. 2007: 本報告書「主な発表論文等、雑誌論文①」)を海底に 24 時間設置して植物プランクトンの発芽細胞を捕捉する調査を行った。得られた試料を実験室に持ち帰り、倒立落射型蛍光顕微鏡下で PET チャンバー内に出現した細胞の種の同定と計数を行った。

採水：ヴァンドーン採水器を用いて試水を採取した。得られた試水の一部を植物プランクトンの種の同定と計数に供した。検鏡は、倒立落射型蛍光顕微鏡を用いて行った。また、採水と同時に水温と塩分を測定した。

4. 研究成果

(1) 海底より出現した種

2006 年 7 月から 2008 年 7 月にかけて行った全ての発芽細胞捕捉調査で得られた細胞のうち、珪藻類と渦鞭毛藻類(有殻類)に対して詳細な種の同定を行った。以下、それぞれについて報告する。

① 珪藻類：29 属 58 種を同定した。それら種のリストを表 1 に示す。これらの中で、最も優占的に出現した分類群は *Chaetoceros* 属であった。なお、これらの種の中には、これまで休眠期細胞を形成することが報告されていない種も多く見られた(表中に*で表示)。PET チャンバーは海底泥表面から水柱中へリクルートする細胞を全て捕らえる器具であるため、休眠期細胞を作らない種でも、海底上で生活しているか、あるいは水柱中から海底へ沈降しそこで生残して再び PET チャンバー内へ巻き上がった栄養細胞を捕らえることもあり、そういった細胞を検出したものと考えられる。ただし、本研究と平行して行った別の研究

において、底泥中の休眠期細胞を顕微鏡で直接検鏡したところ、休眠期細胞形成未報告種の *Detonula pumila* で実際に本種の休眠期細胞と思われる細胞を発見した。このように、底泥を精査すれば今後休眠期細胞を形成する種がより多く発見されるであろう。なお、*Actinoptycus senarius*, *Cerataulina dentata*, *C. pelagica*, *Dactyliosolen fragilissimus*, *Guinardia delicatula*, *G. flaccida*, *G. striata* および *Lauderia annulata* については PET チャンバー内に比較的頻繁に出現したことから、これらの種も休眠期細胞を形成している可能性が大きいものと考えられる。

表1. プランクトン発生捕捉チャンバー (PET チャンバー) で捕捉された珪藻類.

<i>Actinocyclus</i> spp.	<i>Coscinodiscus wailesii</i>
* <i>Actinoptycus senarius</i>	<i>Coscinodiscus</i> spp.
* <i>Asteromphalus hyalinus</i>	<i>Cyclotella</i> spp.
* <i>Bacteriastrium elongatum</i>	* <i>Dactyliosolen antarcticus</i>
<i>B. furcatum</i>	* <i>D. fragilissimus</i>
<i>B. hyalinum</i>	* <i>D. tenuijunctus</i>
* <i>Cerataulina dentata</i>	* <i>Detonula pumila</i>
* <i>C. pelagica</i>	<i>Ditylum brightwellii</i>
<i>Chaetoceros affinis</i>	<i>Eucampia zodiacus</i>
<i>C. contortus</i>	* <i>Guinardia delicatula</i>
<i>C. coronatus</i>	* <i>G. flaccida</i>
<i>C. curvisetus</i>	* <i>G. striata</i>
* <i>C. danicus</i>	* <i>Helicotheca tamesis</i>
<i>C. debilis</i>	* <i>Hyalodiscus subtilis</i>
* <i>C. decipiens</i>	* <i>Lauderia annulata</i>
<i>C. diadema</i>	<i>Leptocylindrus danicus</i>
<i>C. didymus</i>	* <i>Lithodesmium undulatum</i>
<i>C. distans</i>	* <i>Melosira nummuloides</i>
<i>C. laciniosus</i>	* <i>Odontella longicruris</i>
<i>C. lauderi</i>	<i>Paralia sulcata</i>
<i>C. lorenzianus</i>	<i>Proboscia alata</i>
* <i>C. peruvianus</i>	<i>Proboscia</i> spp.
<i>C. pseudocurvisetus</i>	* <i>Pseudosolenia calcar-avis</i>
<i>C. radicans</i>	* <i>Rhizosolenia hyalina</i>
* <i>C. rostratus</i>	* <i>R. pungens</i>
<i>C. seiracanthus</i>	* <i>R. robusta</i>
<i>C. socialis</i>	<i>R. setigera</i>
* <i>C. tortissimus</i>	* <i>R. striata</i>
<i>C. wighamii</i>	<i>Skeletonema costatum</i>
<i>Chaetoceros</i> spp.	<i>Stephanopyxis palmeriana</i>
* <i>Corethron pelagicum</i>	* <i>Triceratium gibbosum</i>
* <i>Coscinodiscus granii</i>	<i>Thalassiosira</i> spp.

* 休眠期細胞形成未報告種

② 渦鞭毛藻類(有殻類)：19 属 55 種を同定した。それら種のリストを表 2 に示す。これらの中で、最も優占的に出現した分類群は *Protoperidinium* 属であった。上記の珪藻類と同様に、これらの種の中では渦鞭毛藻類の休眠期細胞に相当するシストの形成が報告されていない種も見られた(表中に*で表示)。やはり、シストを形成せずとも栄養細胞のス

テージで海底上で生活あるいは生残している細胞を捉えたものであると考えられる。ただし、シストの形成が報告されていないだけで、実際にはシストを形成する可能性も否定できない。このことについては今後海底泥を精査することによって明らかになるものと考えられる。

表2. プラクトン発生捕捉チャンバー (PET チャンバー) で捕捉された渦鞭毛藻類 (有殻類) .

<i>Alexandrium catenella</i>	<i>Protoceratium rentacalatum</i>
<i>Alexandrium</i> spp.	* <i>Protoperdinium abei</i>
* <i>Ceratium breve</i>	<i>P. avellanum</i>
* <i>C. furca</i>	* <i>P. bipes</i>
* <i>C. fusus</i>	<i>P. claudicans</i>
* <i>C. kofoidii</i>	<i>P. conicoides</i>
* <i>Coolia monotis</i>	<i>P. conicum</i>
* <i>Dinophysis acuminata</i>	* <i>P. divergens</i>
* <i>D. caudata</i>	* <i>P. elegans</i>
* <i>D. lenticula</i>	<i>P. excentricum</i>
* <i>D. mitra</i>	<i>P. leonis</i>
* <i>D. rotundata</i>	<i>P. minutum</i>
<i>Diplopelta parva</i>	<i>P. oblongum</i>
<i>Diplopsalopsis orbicularis</i>	* <i>P. oceanicum</i>
* <i>Goniodoma polyedricum</i>	* <i>P. ovum</i>
* <i>Gonyaulax polygramma</i>	* <i>P. pallidum</i>
<i>G. scrippsae</i>	* <i>P. pellucidum</i>
<i>G. spinifera</i>	<i>P. pentagonum</i>
<i>G. verior</i>	* <i>P. pyriforme</i>
<i>Gonyaulax</i> spp.	* <i>P. saltans</i>
<i>Heterocapsa</i> spp.	* <i>P. steinii</i>
<i>Lingulodinium poletrum</i>	<i>P. subinermis</i>
* <i>Oxyphysis oxytoxoides</i>	* <i>P. thulesense</i>
* <i>Peridiniopsis asymmetrica</i>	<i>Protoperdinium</i> spp.
* <i>Peridinium quinquecorne</i>	<i>Pyrophacus horologium</i>
* <i>Prorocentrum dentatum</i>	<i>P. steinii</i>
* <i>P. lima</i>	<i>Scrippsiella spinifera</i>
* <i>P. micans</i>	<i>S. trochoidea</i>
* <i>P. minimum</i>	<i>Scrippsiella</i> spp.
* <i>P. triestinum</i>	* <i>Zygabikodinium lenticulatum</i>
<i>Prorocentrum</i> spp.	

* 休眠期細胞 (シスト) 形成未報告種

(2) 調査点における水温と泥温の季節変化
調査点における表層 (0 m) の水温と泥温は、夏季にはそれぞれ 25~30 °C と 20~25 °C に達した (図 1)。一方、冬季には共に概ね 15 °C 以下であった。特に 2008 年 1 月には 0 m で 9 °C、底泥で 10 °C という観測期間中の最低温度を記録した。このように、英虞湾の水温と泥温は季節的に大きく変化することが確認された。なお、ここでは塩分のデータは示していないが、特に明確な季節変化は見られなかった。

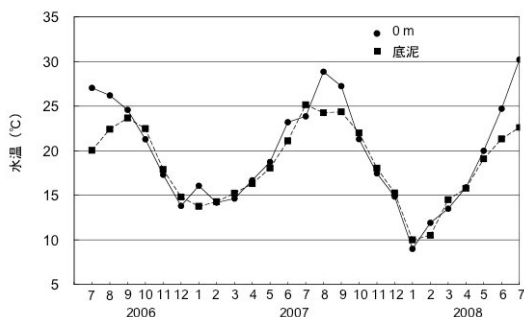


図 1. 調査点における水温と泥温の季節変化.

(3) 珪藻類の海底からの発芽・復活挙動と水柱中での栄養細胞出現との関係

本研究では、海底からの休眠期細胞の発芽 (あるいは復活) 挙動と水柱中での栄養細胞出現との関係について、特に沿岸・内湾域で主要な一次生産者となる一方、赤潮を起こすと海苔の色落ち被害をもたらす珪藻類において詳細に検討した。以下、このことについて報告する。

研究対象種は、*Actinoptycus senarius*, *Cerataulina dentata*, *C. pelagica*, *Chaetoceros affinis*, *C. debilis*, *C. distans*, *C. dydymus*, *C. socialis*, *C. pseudocurvisetus*, *Guinarudia dilicatula*, *G. flaccida*, *Leptocylindrus danicus*, *Skeletonema costatum* の 13 種とした。*Actinoptycus senarius*, *Cerataulina dentata*, *C. pelagica*, *Guinarudia dilicatula*, *G. flaccida* は、休眠期細胞形成未報告種であるが (表 1)、上述のように比較的頻繁に PET チャンバー内に出現したことから、その海底からの出現を (発芽・復活した可能性が高いものとして) 追跡した。なおここでは、上記 13 種のうち、特に出現の頻繁が高かった 6 種 (*Cerataulina pelagica*, *Chaetoceros debilis*, *C. distans*, *C. dydymus*, *Leptocylindrus danicus*, *Skeletonema costatum*) の海底からの発芽・復活フラックス (cells m⁻² day⁻¹) と表層 0 m における栄養細胞の季節消長を重ねて示す (図 2: 2008 年 7 月には発芽細胞捕捉調査が失敗したため同年 6 月までのデータをまとめた)。

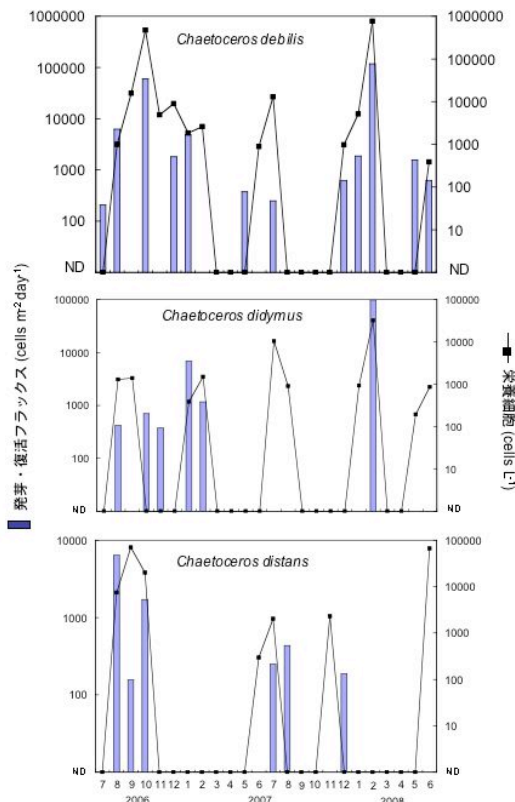


図 2. 調査点における珪藻類各種の海底からの発芽・復活フラックスと表層 (0 m) での栄養細胞密度の季節変化.

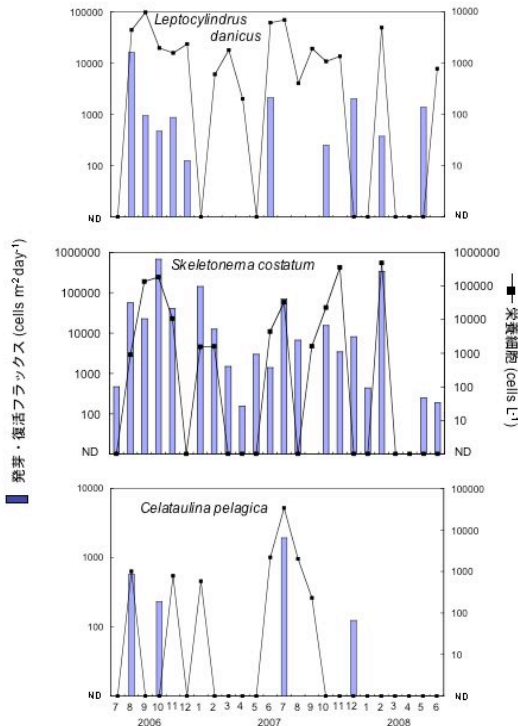


図2. 続き。

研究対象とした種のうち、100,000 cells m⁻² day⁻¹を超える芽・復活フラックスは *C. debilis* と *S. costatum* で記録された。芽・復活フラックスの最大は2006年10月に *S. costatum* で観察された 681,401 cells m⁻² day⁻¹ であった。

芽・復活フラックスの季節的な変化傾向を解析した結果、6種全てにおいて、その傾向に明確な季節変化は見られず、むしろ季節を問わず散発的に芽・復活していたことが判明した(図2)。ここでは図として示していない他の研究対象種もほぼ同様の芽・復活傾向を示した。これらのことは、珪藻類の海底からの芽・復活は季節的に大きく変化する温度(泥温)(図1)によって律速されているわけではないことを示すものである。つまり、英虞湾において珪藻類は周年にわたり常に芽・復活可能な休眠期細胞を底泥中に温存しているということである。

それぞれの種において、水柱中表層(0 m)の栄養細胞の出現と芽・復活との関係を比較すると、海底から芽・復活が起こる際に表層で栄養細胞が出現する 경우가多々見受けられた。ただし、両者(栄養細胞の出現と芽・復活)が必ずしも対応しているわけではないこともまた事実である。すなわち、芽・復活が起こっても、栄養細胞の出現が認められない場合(例えば、2006年10、11月の *C. didymus* の場合や2007年3~5月の *S. costatum* の場合など)や、逆に芽・復活は生じていないものの栄養細胞が認められる場合(例えば、2007年7、8月の *C. didymus* の場合や2007年2~4月の *L. danicus* のなど)もあった。図には示していない他の研究対象種でも同様であった。

栄養細胞の増殖は、水温、塩分や光といった物理的要因や、栄養塩といった化学的要因、あるいは他種との競争、捕食といった生物的要因によって決定されるので、海底から芽・復活した細胞が水柱中へリクルートしたからといって、環境が悪ければ栄養細胞は個体群を形成することができるわけではないであろう。また、休眠期細胞からの芽・復活が生じずとも、水柱中に検出限界以下でも栄養細胞が存在していれば、その細胞が種(たね)となって、環境が好転したときに直ちに個体群を形成させることができるはずである。本研究で得られた上記の芽・復活と栄養細胞出現との関係は、まさにこのことを反映しているものと考えられる。すなわち、休眠期細胞が栄養細胞増殖の種(たね)として機能していることは事実であるが、栄養細胞が水柱中で個体群を形成できるか否かは、栄養細胞自身の増殖動態に大きく左右されるものと結論される。

英虞湾のような温帯内湾域において、上述したように珪藻類は海底泥中に常に芽・復活可能な休眠期細胞を温存しており、それら細胞が季節に関係なく散発的に芽・復活しているという事実は、水柱中へリクルートした栄養細胞が日和見的に増殖の好適時期を窺うことを可能にさせるので、個体群形成には有利であろう。これはまさに生活史の一時期に休眠期細胞を形成する珪藻類の栄養細胞個体群形成における“生態戦略”であると考えられる。

以上の珪藻類の海底からの芽・復活傾向ならびに栄養細胞出現との関係は世界に先駆けて初めて明らかにされたものであり、本研究課題における大きな成果である。この成果を基盤として、今後、珪藻類の生態がより詳しく解明されるものと期待される。

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 4件)

① 上野亮子・石川 輝 (2009) 英虞湾の底泥における中心目珪藻類休眠期細胞群集のシード・ポピュレーションとしての機能性評価. 日本プランクトン学会報, 56, 1-12, 査読有

② 石川 輝・石井健一郎 (2007) 有害有毒赤潮生物のシスト芽・復活研究における進展と将来展望. 海洋と生物, 29, 411-417, 査読無

③ 石川 輝・服部真由子・宮間秀樹・今井一郎 (2007) 伊勢湾および三河湾の海底泥表層における *Alexandrium* 属シストの現存量と分布. 水産海洋研究, 71, 183-189, 査読有

- ④ Ishikawa A, Hattori M, Imai I (2007)
Development of the "plankton emergence trap/chamber (PET Chamber)", a new sampling device to collect in situ germinating cells from cysts of microalgae in surface sediments of coastal waters. *Harmful Algae*, 6, 301-307, 査読有

[学会発表] (計 6件)

- ① Ishikawa A, Teranishi T, Hata N, A possible explanation for the changing abundance of the toxic dinoflagellate *Alexandrium catenella* (Dinophyceae) in Ago Bay, central Japan. The 13th International Conference on Harmful Algae, November 4, 2008, Hong Kong
- ② 石井健一郎・石川 輝・上野亮子・寺西央旭・今井一郎, "plankton emergence trap/chamber (PET Chamber)" によって示唆される珪藻類の新規休眠期細胞. 日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会, 2008年9月6日, 熊本県立大学
- ③ 石井健一郎・石川 輝・上野亮子・今井一郎, Plankton Emergence Trap/Chamber (PET Chamber) を用いて海底から供給される植物プランクトンを検出する. 日本水産学会近畿支部, 2007年12月1日, 京都大学農学部
- ④ 石川 輝・寺西央旭・畑直垂・白石智孝・今井一郎, 有毒渦鞭毛藻 *Alexandrium catenella* の増殖速度と現場水柱中での増殖機構. 日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会, 2007年9月22日, 横浜市立大学
- ⑤ 石井健一郎・石川 輝・上野亮子・寺西央旭・今井一郎, 三重県英虞湾の海底か

ら "plankton emergence trap/chamber (PET Chamber)" を用いて検出された珪藻及び渦鞭毛藻について. 日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会, 2007年9月22日, 横浜市立大学

- ⑥ 堀江俊輔・杉浦裕幸・石川 輝, 熊本県宮野河内湾における有毒渦鞭毛藻 *Alexandrium catenella* と *Gymnodinium catenatum* の季節消長. 日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会, 2007年9月22日, 横浜市立大学

[図書] (計 1件)

- ① 石川 輝, 成山堂, 海洋プランクトン生態学. 第2章 植物プランクトンの生態—生活史, 群集構造, 増殖特性の観点から. 2-1 シスト形成渦鞭毛藻の生態戦略 (執筆分担箇所), 2008年, 335 ページ (総), 20 ページ (分担部)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石川 輝 (ISHIKAWA AKIRA)
三重大学・大学院生物資源学研究所・准教授
研究者番号: 00273350

(2) 研究分担者

なし。

(3) 連携研究者

なし。