

— 総 説 —

亜熱帯海域で観測された生物起源珪素含有量が高い堆積物について*
——*Ethmodiscus ooze* に関する知見——

柴本 陽子†

要 旨

西部北太平洋に於いて広範囲に渡る測点から深海堆積物を採取し、堆積物表面の生物起源珪素を測定した。生物生産の低い亜熱帯海域から高い含有率を示す堆積物が検出されたため、分析試料の顕微鏡観察を行ったところ *Ethmodiscus ooze* である事が判明した。*Ethmodiscus ooze* が採取されたフィリピン海の補足試料を測定し同様の珪質堆積物を幾つか確認したが、それらは海底の狭い区域に集中して個別に堆積しているようであった。この散在した分布形態については、これまでの観測データから海底地形や海況などの物理的要因が大きいと考えられていた。一方、生物起源珪素含有量が高い堆積物が多く確認された本調査海域の表層で、台風通過後に高濃度のクロロフィルが発生している様子が海色衛星データにより観測された。調査海域における衛星の解析画像と、新たに測定されたフィリピン海の生物起源珪素の分布図を基に、これまで論拠となるデータがなかった *Ethmodiscus* のブルームに関する仮説について検討を行った。

キーワード：生物起源珪素, *Ethmodiscus ooze*, 亜熱帯海域

1. はじめに

海洋に於ける生物起源珪素 (BSi) を主体とする珪質堆積物は、表層での一次生産の分布と良く対応しており高緯度域と赤道域、縁海に集中している。南極大陸を取り囲むように分布する南帯は世界の 3/4 に及ぶ BSi が堆積し (Lisitzin, 1966), 含有量の高いところは 80% を超える (Van Cappellen and Qiu, 1997)。一方、北極海

を中心とした北帯は大西洋を除く海域に分布し、オホーツク海などの縁海では 50% を超えることもあるが、太平洋では時折 30% を超えるに過ぎない (Lisitzin, 1966)。これら高緯度域の BSi が主に珪藻類の被殻で構成されているのに対し、太平洋の赤道域では放散虫を主体とした珪質堆積物が帯状に分布し 10~30%, 稀に 50% を超えることもある。この赤道太平洋域での分布は、東側で顕著に認められ水深と密接な関係を示し炭酸塩補償深度 (CCD : Carbonate Compensation Depth) 以深に分布する。この明瞭な分布形態から、北太平洋の赤道域と北帯の中間地帯は、BSi が 10% 以下の遠洋堆積物 (赤粘土) が広範囲に広がっている事が知られている (Lisitzin, 1966)。

西部北太平洋で実施された観測航海に於いて、水深

* 2009 年 12 月 8 日受領 ; 2010 年 5 月 21 日受理
著作権 : 日本海洋学会, 2010

† 産業技術総合研究所 環境管理技術研究部門
〒305-8569 茨城県つくば市小野川 16-1
greenflush0903@gmail.com

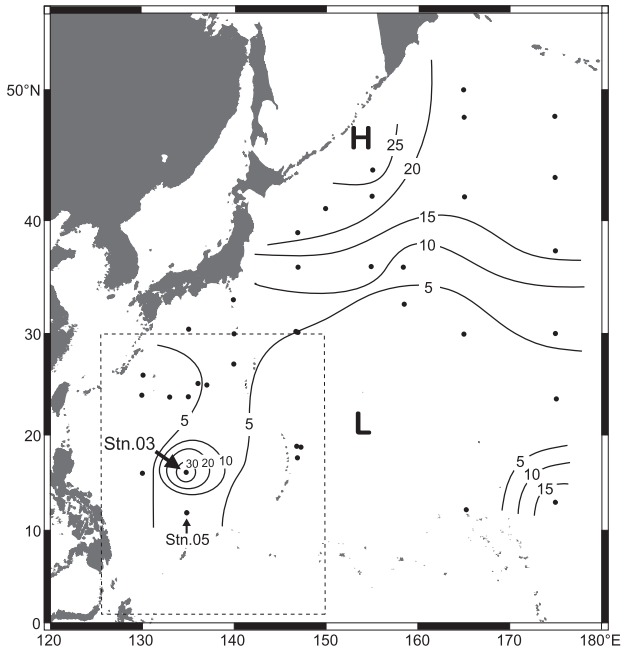


Fig. 1. Distribution of biogenic silica content (%) in the surficial sediments in the western North Pacific.

1740~6273 m からマルチプルコアラーにより堆積物を採取し主成分分析を行った (Shibamoto and Harada, 2010)。堆積物表面における BSi の分布図を作成したところ、珪藻類を主体とした一次生産が高い亜寒帯域には (e.g. Taniguchi, 1999; Honda *et al.*, 2002), BSi が 10% を超える堆積物が広範囲に拡がり、親潮域では 20% を超えていた (Fig. 1)。一方、表層の生物生産が低い熱帯・亜熱帯海域では堆積物中の BSi 含有量も殆どの観測点で 5% 以下と低い状態であったが、中央太平洋海盆の観測点で 19%、九州-パラオ海嶺においては 30% を超える高濃度の堆積物が検出された。この調査では亜寒帯域に於いても 30% を超える堆積物は確認されなかったため、採取された試料が生物起源の堆積物であるか検証を行うこととした。分析に使用した九州-パラオ海嶺の粉碎試料を顕微鏡で観察したところ、粘土鉱物のような粒子は極少量で、大部分は小さな穴が沢山空いた生物の破片によって占められていた (Fig. 2)。更に粉碎前の乾燥試料からは、中心域から周辺部にかけて放射状に小さな穴が規則正しく並んだ被殻も観察され、この珪質堆積物はエスモディスキス軟泥 (*Ethmodiscus ooze*)

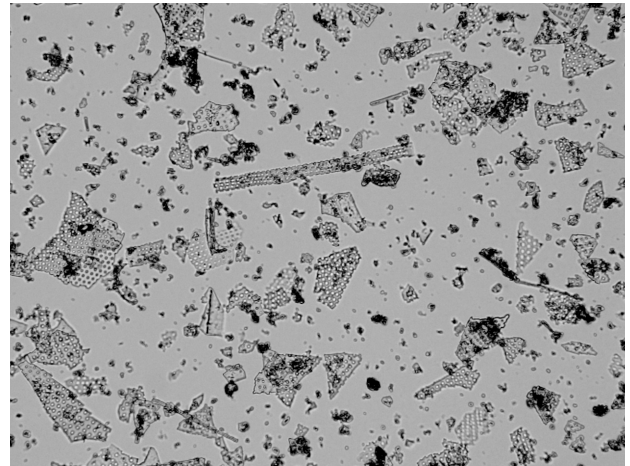


Fig. 2. Electron micrograph of homogenized sediment samples ($\times 400$).

である事が判明した。

Ethmodiscus ooze (*E. ooze*) が初めて報告されたのは、チャレンジャー号が西部北太平洋で観測を行った際の航海報告書 (Nares *et al.*, 1886) である。その後も、幾つかの観測航海で赤道域を中心とした深海堆積物から採取されていたが、堆積物中の *Ethmodiscus* が全て破片の状態であったことや、海水中から *Ethmodiscus* の試料が発見されなかったため、長い間 *E. ooze* は現世のものではないと考えられていた。1959 年、Zhuze らの研究報告を発端に現世のものであることが明らかにされ (Lisitzin, 1972), Belyayeva (1963) が北太平洋の表層水から採取した *Ethmodiscus* を報告したことにより、*Ethmodiscus* の分布状況や種の特徴などが次第に解明されるようになった。現在、外洋域に於ける *E. ooze* の報告は珍しくなく、各大洋の熱帯・亜熱帯海域において海洋地質学者を中心に堆積物調査の一環として観測が行われている。本調査海域の 40°N 以南においても、古くは先のチャレンジャー号の観測に始まり、Hanzawa (1935), Tanimura (1981) など幾つかの報告がある。

近年、Villareal *et al.* (1999) らの研究により、*Ethmodiscus* species の生活史や生態学的特性、表層域に於ける分布形態など多くが解明されるようになった。しかしながら、海底に於ける *E. ooze* の形成過程については、未だ実証となるデータが少ないために現在も議論のさなかにある。今回、偶然に採取された *E. ooze* であ

るが、貧栄養の外洋域で珪質堆積物が形成される経緯について興味を抱き、本調査海域を中心に調査を行うこととした。特に高濃度の BSi を含む堆積物が採取された九州—パラオ海嶺海域での分布状況を詳しく調べるため、フィリピン海周辺で採取された既存試料について新たに BSi の測定を行った。補足測定された BSi の分布傾向と、文献調査による資料の検討等を重ね合わせ、西部北太平洋海域を中心に、これまでに得られた *E. ooze* の知見について報告する。

2. *Ethmodiscus ooze* について

2.1 *Ethmodiscus ooze* の特徴

E. ooze はにぶい黄褐色から灰褐色をした半流動性の軟泥堆積物で、粘り気はなく滑らかである。乾燥させると白色に近いクリーム色になり、ふわふわとした軽い質感を示す。

太平洋、インド洋、大西洋いずれの熱帯・亜熱帯海域にも分布が認められ、堆積速度が小さい CCD 以深の海底凹部で観測されることが多い (Mikkelsen, 1977)。*Ethmodiscus* の被殻は溶解に対する耐久性が強いものの脆いため、堆積物中に原型で保存されていることは滅多になく、殆どが破片の状態に蓄積されている (Romeo and Schmieder, 2006)。基本的に単一特異的に構成されており、堆積物中では数 cm から数 m の正確な層位を形成する (Gardner and Burckle, 1975)。溶解に強い被殻を持つ他の珪藻類によって希釈されることもあり、南大西洋で観測されたコアからは、単一特異的 (90~100%) に構成された *E. ooze* と、熱帯・亜熱帯の貧栄養海域に生息する他の珪藻類 (*Azpeitia barro nii*, *Roperia tessellata*, *Thalassionema nitzschioides* var. *parva* など) を 10% 以上含む堆積層が層位を形成していたことが報告されている (Romero and Schmieder, 2006)。このような堆積物中の層序学的変化から、古海洋環境復元研究では堆積物形成当時の環境要因を推定する重要な指標種とされており、*E. ooze* の堆積層が氷河期に限定されていること (Gardner and Burckle, 1975)、その時期に高い生物生産があったことなどが推察されている (e.g. Wiseman and Hendey,

1953; Stabell, 1986)。また、最も古い *E. ooze* は中新世後期から鮮新世前期に堆積したものであることが報告されている (Gombos, 1984)。

2.2 *Ethmodiscus species* の特徴

Ethmodiscus は直径最大 2 mm にもなる大型珪藻で (Round *et al.*, 1990)、量的には極めて少ないが (commonly <1~5 cells/m³, Belyayeva, 1970; Villareal *et al.*, 1993)、貧栄養の外洋域表層 (water temperature 18.6~29.5 °C, Semina, 1959; Belyaeva, 1968) に広く分布している。細胞は円筒状を成し、殻面で連結して数細胞の群体を形成する (Villareal and Carpenter, 1989)。浮力細胞内の硝酸塩を利用して鉛直移動を行い (Villareal and Lipschultz, 1995)、栄養塩躍層下で栄養塩を取り込んだ後、表層に上昇し光合成を行う (ascent rates of up to 4.9 m/h, Moore and Villareal, 1996)。これらの行動様式から判断して、彼らの世代時間は 45~75 時間、増殖周期は長くて 10 日間ほど推測されている (Villareal *et al.*, 1999)。

Ethmodiscus のなかでも *E. gazellae* は外洋で広範囲に分布しているのに対し、*E. rex* は北太平洋やインド洋の北部など比較的限られた地域に分布している (Wiseman and Hendey, 1953)。*E. rex* と *E. gazellae* が混在する北太平洋では、*Ethmodiscus* の個体群密度は東側より西側で高く、棲息域の北限は西側で 41°N、東側は 48°N と報告されている (Belyayeva, 1968, 1970)。

3. フィリピン海における *Ethmodiscus ooze* の分布

3.1 試料と方法

堆積物試料は工業技術院地質調査所 (現: 産業技術総合研究所) がフィリピン海で実施した NH90 の観測航海にて、ボックスコア、グラビティコア及びピストンコアにより採取された試料を使用した (Fig. 1 の破線内: Table 1)。BSi は堆積物の表層試料のみを測定し、分析方法は本調査と同じく炭酸ナトリウムによって珪酸を抽出した後、比色分析により測定を行った (Shibamoto

Table 1. Description of sampling parameters in the Philippine Sea.

Station	Latitude	Longitude	Water depth (m)
N13	26°09.66'N	137°44.20'E	5390
N15	24°09.50'N	138°13.50'E	5430
N18	22°12.98'N	137°59.92'E	5180
N23	19°40.81'N	138°00.69'E	5523
N24	18°08.46'N	137°59.64'E	5060
N26	16°19.76'N	137°59.30'E	4550
N29	13°58.77'N	137°59.64'E	5090
N35	10°04.27'N	134°46.45'E	3235
N40	08°07.72'N	135°20.72'E	3577
N44	06°05.23'N	135°00.03'E	4798
N58	06°02.08'N	138°00.96'E	4390
N59	08°00.20'N	138°08.58'E	2780
N62	09°48.63'N	137°55.58'E	4147
N63	12°00.20'N	138°12.97'E	4108
N65	11°59.94'N	140°01.63'E	3762
N66	11°51.57'N	135°03.94'E	4960
N68	14°00.40'N	135°00.73'E	4821
N69	16°01.32'N	135°00.22'E	4721
N71	17°59.28'N	134°35.21'E	5438
N73	20°00.13'N	134°35.92'E	5848
N75	21°59.90'N	134°35.85'E	5337
N79	23°56.36'N	134°59.72'E	4468
N81	26°07.06'N	135°00.03'E	4518

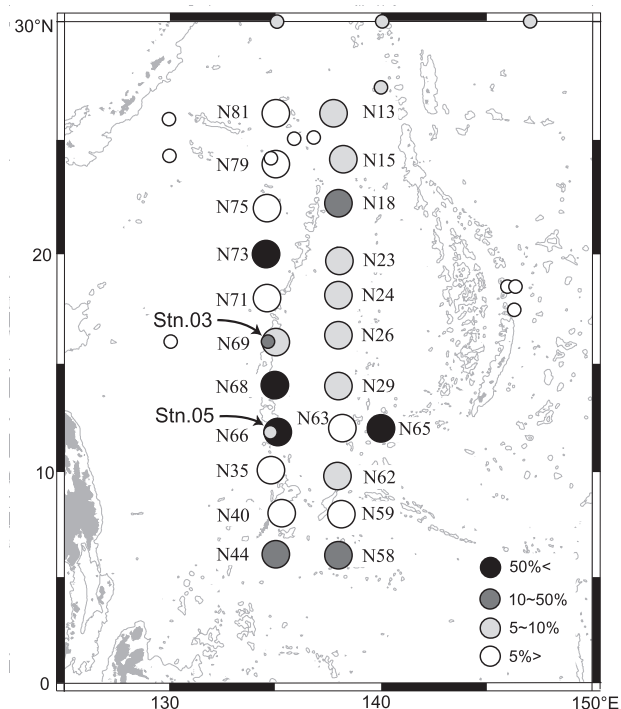


Fig. 3. Distribution of biogenic silica content (%) in the surface sediments in the Philippine Sea. Large circles indicate location where sediment samples were collected by the Geological Survey of Japan in 1990. Small circles show the sampling stations in our study.

and Harada, 2010)。

3.2 測定結果

フィリピン海から採取された堆積物中の BSi 含有率は殆どの測点で 10%未満であり、そのうち 8 測点は 5%未満であった (Fig. 3)。しかしながら、全 23 測点中 7 測点は 10%以上を示し、さらにその中の 4 測点では BSi 含有率が 50%を超えていた。50%以上の BSi を含む 4 測点の堆積物は 10–20°N の海域内で観測されたが、各測点は隣接しておらず、各々独立して堆積しているようであった。特に 11–14°N の間に 3 測点集中しているが、含有率が高い N66 と N65 の間にある測点 N63 の BSi は 3%しかなく、N66 (water depth : 4960 m, BSi : 59%) とほぼ同じ観測点に位置する St.05 (3991 m) に於いてはわずか 6%だった。また St.03 (4565 m, 34%) とほぼ同位置の N69 (4721 m) についても BSi は 9.9%

と、かなり近距離で採取された堆積物であっても含有率に大きな差がみられた。*Ethmodiscus* の被殻は海底地形に敏感で容易に低い方に移動するため (金谷,1972)、近接した観測点であっても水深が大きい N66 が St.05 より高い含有率を示したことは、この特徴が明瞭に表れた結果と考えられる。しかし、もうひとつの近接した N69 と St.03 の観測点に関しては、N69 の水深がやや大きいにも関わらず BSi 含有率は St.03 の 1/3 にも満たなかった。さらに水深 5000 m を超える 9 測点のうち 7 測点は 10%未満であり、最も高い含有率 (70%) が観測されたのは本調査では比較的水深が小さい N65 (3762 m) であった。

このように BSi を多く含む堆積物は 10–20°N の海域に多い傾向にあることが観測されたが、それぞれ独立した小さな区域に集中して堆積し、分布深度も様々であった。

4. *Ethmodiscus ooze* に関する既存の報告

4.1 西部北太平洋に於ける分布

西部北太平洋における *E. ooze* については、前述の Nares *et al.* (1886) の航海報告書に始まり Wiseman and Hendey (1953), McHugh (1954), Tanimura (1981) など幾つかの論文がある。1926~1933年に調査を行った Hanzawa (1935) によれば、*E. ooze* は主に水深 2780~5714 m, 8–19°N, 136–153°E の海域に存在し、海底では石灰質軟泥や赤泥によって分断されて小さな区域に集中しているようである。また、豊富な *Ethmodiscus* を含む珪質堆積物には *Concinodiscus* や放散虫、海綿骨針が混在していたと述べている。それから約 30 年後に観測を行った Belyayeva (1968) は、水深 3460~10505 m の海底から *E. ooze* を確認し、5–20°N, 130–160°E の海域で不規則に分布していたことを報告している。

Hanzawa (1935) と Belyayeva (1968) の調査報告から判断すると、西部北太平洋に於ける *E. ooze* は熱帯・亜熱帯海域の水深 2700 m 以深の海底に広く散在しているものと考えられる。

4.2 *Ethmodiscus ooze* の分布に対する仮説

E. ooze が発見されて以来、どの海域でも観測される不可思議な分布形態は多くの研究者に疑問を投げ掛けてきた。*Ethmodiscus* そのものが数値的にはかなり稀であるのにも関わらず、なぜ単一・特異的な堆積物層を数メートルも形成できるのか、どのような過程で海底に不規則に散在するのか、これまでに立てられた仮説を下記にまとめた。

- ① 耐久性に優れた *Ethmodiscus* の被殻だけが溶けずに蓄積する
- ② 流れや海底地形により、ふるい分けられる
- ③ 赤道湧昇流が強化された時期に大量発生する
- ④ 収束域の前線に集積される
- ⑤ 突発的にブルームが起こる

E. ooze の堆積環境からも判断出来るように、

Ethmodiscus は表層域で他の珪藻類と共に生息している (Belyayeva, 1970)。①と②の説は彼らの遺骸が共に海底へ堆積する過程で、海底の斜面や流れによって被殻や破片が選り分けられ、さらに溶解に抵抗力のある *Ethmodiscus* の被殻だけが残存するというものである (e.g. Petelin, 1960; Mikkelsen, 1977)。

③と④の説に関しては意見が分かれている。長い間 *E. ooze* の堆積層は、強い赤道海流に引き起こされる湧昇流の増加によって、*Ethmodiscus* が増殖したために形成されると考えられていた (e.g. Gardner and Burckle, 1975; Stabell, 1986)。この考え方は古海洋環境復元研究にも用いられており、*E. ooze* が観測された堆積層の時代に強い湧昇流があったと推測する研究者は多い。しかしながら、*Ethmodiscus* そのものの試料が表層水から採集されるようになり、彼らの分布状態が次第に解明されていることで、それまでとは異なる見解が加わった。この属が集積しているのは穏やかな海況の表層域か収束域であって (e.g. Villareal *et al.*, 1993; Villareal *et al.*, 1999)、赤道湧昇域に於いては大量の *Ethmodiscus* が観測された事例がないため、*E. ooze* の堆積層は湧昇流特有の現象と密接に関係したものではないというものである (Villareal *et al.*, 1999)。その後、豊富な *E. ooze* が観測された年代は、過去の気象状況などから強い赤道湧昇流が起きていることを示す有益な証拠であることを Abrantes (2001) が改めて報告している。

最後のブルームに関する仮説は、Wiseman and Hendey (1953), Mikkelsen (1977) らが海底における *E. ooze* の分布状況から推測したものである。彼らは海底に斑点状に分布する *E. ooze* の堆積環境は、表層域での *Ethmodiscus* の生息状況を反映していると考えた。しかしながら、*E. rex* によるブルームの報告は 1868 年の Collingwood によるベンガル湾 (Gardner and Burckle, 1975) のみで、外洋域に関しては未だに観測例がないことからブルーム説そのものに疑問の声も上がっている (Villareal *et al.*, 1999)。ただ、これまで外洋における珪藻類のブルーム発生場所は高緯度域がよく知られていたが、*Ethmodiscus* と同様に浮力細胞を利用して有光層と栄養躍層を鉛直移動する *Rhizosolenia* sp. のブルームを東部赤道太平洋から Yoder *et al.* (1994)

が報告している。彼らによれば、気象衛星によって観測された高濃度クロロフィル *a* のラインは数百 km にも渡り、暖かい北赤道反流の収束域前線に *Rhizosolenia* sp. のパッチが形成され、隣接する冷たい南赤道海流から栄養塩を摂取しているようであった。しかしながら、このブルームに関する報告は *Rhizosolenia* のみで、*Ethmodiscus* についての記述はみられない。

5. 考察とまとめ

海底での *E. ooze* の形成過程について近年の説をまとめると、熱帯・亜熱帯の貧栄養海域に於いて穏やかな海況の表層や収束域で繁殖した *Ethmodiscus* は、死後、海底に沈降していく。耐久性に優れた *Ethmodiscus* の遺骸は流れや地形によって選り分けられ、海底の吹き溜まりや小さな凹みに堆積し、まばらにパッチを形成する。一部の被殻は海底斜面に沿って更に深い方へ移動して、長い年月を掛けて単一特異的、もしくは他の耐久性がある被殻を持つ珪藻類と共に堆積層を形成する。本調査で観測された *E. ooze* の不規則な分布形態も、観測が行われたフィリピン海周辺の複雑な海底地形などの様々な物理的要因が大きく影響したものと予想される。

しかしながら、その一方で比較的水深が小さい海底にも *E. ooze* が観測されていることに関しては疑問が残る。Berger and Winterer (1974) によれば、*E. ooze* は CCD 周辺もしくは CCD 以深の海底に存在すると報告しているが、本調査海域のフィリピン海周辺における CCD は水深 4000~4300 m (西村ら, 1992) である。一般に、陸地からの粒子の影響が少なく、表層で珪質の殻を持つ一次生産者が少ない本調査のような熱帯・亜熱帯海域では、CCD 以浅の海底に於ける堆積物の主成分は BSi よりも CaCO_3 の占める割合が大きいと考えられる。西部北太平洋において *E. ooze* が観測された最小水深をみると Hanzawa (1935) は 2780 m, Belyayeva (1968) は 3460 m, 本調査でも水深 3762 m の海底から 70% の BSi を含む堆積物を確認している。表層域で何か特別なイベントがなければ、複雑な海底地形を持つフィリピン海周辺であっても、CCD 以浅の海底で *E. ooze* が形成されることは難しいように思われる。また、CCD 以深の観測点についても含有率に 2% から 67% までの差があ

り、4 測点の限られた区域だけが 20% 以上の含有率を示していることから、この海域に於ける表層の一次生産が均一ではない様子が推測される。西部北太平洋で観測を行った Hanzawa (1935), Wiseman and Hendy (1953), そして西村ら (1992) は、この海域に於ける *E. ooze* の分布形態は *Ethmodiscus* のブルームに起因すると考えている。外洋に於ける *Ethmodiscus* のブルームに関しては未だ報告された事例はひとつもないが、西部北太平洋において観測された他のデータからこの仮説について検討したい。

本調査が行われた西部北太平洋は世界で最も多く、最も強い台風が発生する海域である。台風の中心気圧が低い場合、海上を通過する際に表層水が鉛直方向に攪拌される。その度合いは台風の強さと速度と規模に反映されるが、その時、下層から持ち上げられた冷たい海水で海面水温が低下する、これに伴い表層水の栄養が増加し、一次生産が活発化することがある。アラビア海では、台風通過後に下層から湧昇した栄養豊富な水によって高い生物生産が起きる事が以前から報告されている (Ryther and Menzel, 1965)。近年、西部北太平洋に於いても同様の現象が報告されており、以下にその一例を紹介させて頂きたい。

Fig. 4 は 2003 年 10 月 19~26 日に発生した台風 17 号の経路図、Fig. 5 は同時期に観測された 10 月 26 日の海面水温の分布図である。台風が発生した地点に於いて、海面水温が低下している様子が明瞭に見受けられる。この地点の海面水温は台風発生前 (10 月 18 日以前) には約 30 °C であったが、熱帯低気圧が台風になった 19 日には水温が下がり始め、23 日には 27 °C 未満まで低下している (Fig. 6; 水温低下が観測された任意の定点)。急激に低下した海面水温は一週間ほど安定し、その後ゆっくりと上昇していくが海面水温のデータがある 11 月 5 日の時点でまだ 28 °C に達していない。Fig. 7 に 2003 年 10 月 24~31 日に SeaWiFS で観測された表面海水中のクロロフィル *a* 濃度 (八日間の平均) を示した。水温低下が観られた台風発生地点と同じ海域に高濃度のクロロフィル *a* が観測されている。貧栄養海域に生息するプランクトンが台風通過後に表層へ湧昇した栄養塩を吸収し、ブルームを形成したものと考えられる。この海域

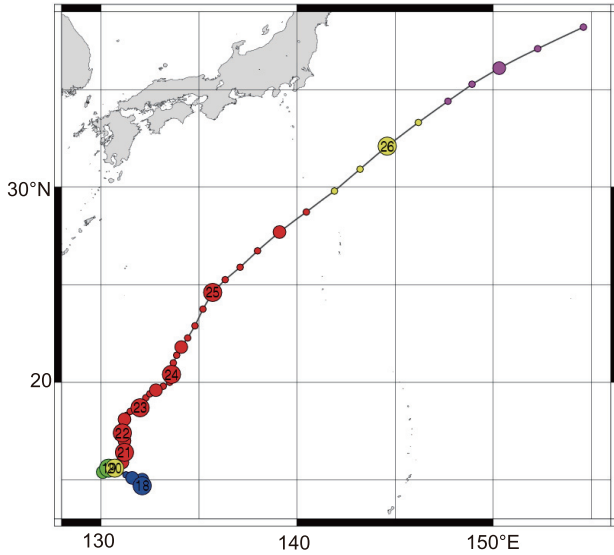


Fig. 4. Typhoon track from 17 to 27 October 2003 in the Philippine Sea. Blue : Tropical depression, Green : Tropical storm, Yellow : Severe tropical storm, Red : Typhoon, Magenta : Extratropical cyclone. The numbers within the circles on the figure are days of the month. This chart is based on the official best track data issued by the Japan Meteorological Agency, last updated on 17 February 2004 (<http://www.digital-typhoon.org/>).

に於けるクロロフィル *a* 濃度は通常 0.05 mg/m^3 程度だが、台風通過直後から次第に濃度が上がり始め、五日目には通常の 70 倍ものピーク (3.5 mg/m^3) を示し、定常状態に戻ったのは約一ヶ月後のことであった (虎谷, 私信)。また、観測地点の海上は台風発生とともに波高が増大し 10 月 22 日には 10 m を超えていたが、三日後の 25 日には 3 m まで収まっていたことから、ブルーム発生時は比較的穏やかな海況であったことが予想される (海面水温、波高データは気象庁地球環境・海洋部海洋気象情報室提供による)。

この海域に於ける *Ethmodiscus* の個体群密度は、他の海域に比べ比較的高い傾向にあることが報告されている (Belyayeva, 1970)。台風通過後に起きた表層への栄養供給によって、他の珪藻類とともに *Ethmodiscus* が突発的に増殖した可能性はあるように思われる。また、定常状態の数十倍もの濃度が局所的に発生しているため、ある程度の集合体のまま海底に堆積し地形に沿って凹み

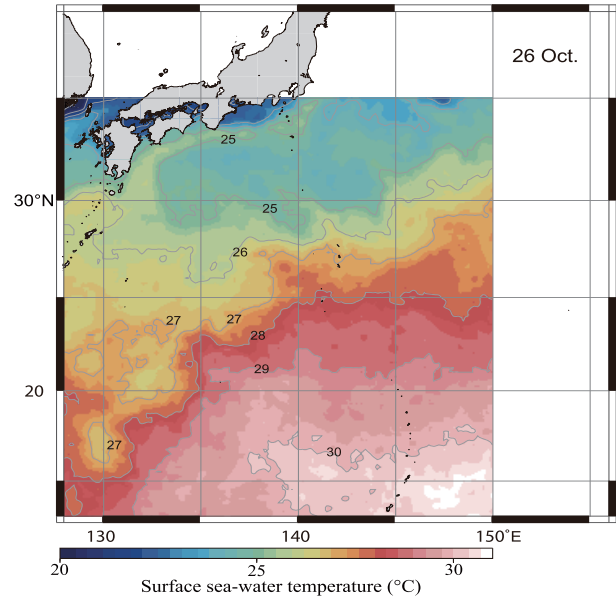


Fig. 5. Distribution of surface temperature (centigrade) on 26 October 2003.

に溜まれば、水深の小さい海底であっても *E. ooze* の形成に繋がることが推測される。この台風通過後に起こるクロロフィル *a* の増加現象は近年幾つも観測されており、西部北太平洋に於ける台風の中心が $10\text{--}20^\circ\text{N}$, $120\text{--}140^\circ\text{E}$ の海域を通過する傾向が多いことが統計的に明らかにされている (虎谷, 私信)。本調査に於いても 50% 以上の BSi を含む堆積物が観測されたのは $10\text{--}20^\circ\text{N}$ の海域であり、台風の通過経路と珪質堆積物の分布域の関連性を示唆するものと考えられる。また、観測されたクロロフィル *a* の濃度が定常状態に戻るのに約一ヶ月を要しているが、表層に持ち上げられた海水中の栄養塩の消費量と関係していると思われる。*Ethmodiscus* のような貧栄養海域の大型植物プランクトンは鉛直移動により下層から大量の栄養塩を運んでくるため、表層で新しい生物生産に貢献すること、それがブルームのような大規模な場合は再度ブルームを起こす可能性があることが報告されている (Villareal *et al.*, 1999; Wilson *et al.*, 2008)。*Ethmodiscus* の増殖周期が 10 日間ほどという事からも (Villareal *et al.*, 1999)、台風通過後にブルームが発生した表層域に於いて、*Ethmodiscus* による栄養塩の循環が行われていることが推察される。

これまで外洋域のブルームに関しては限られた海域し

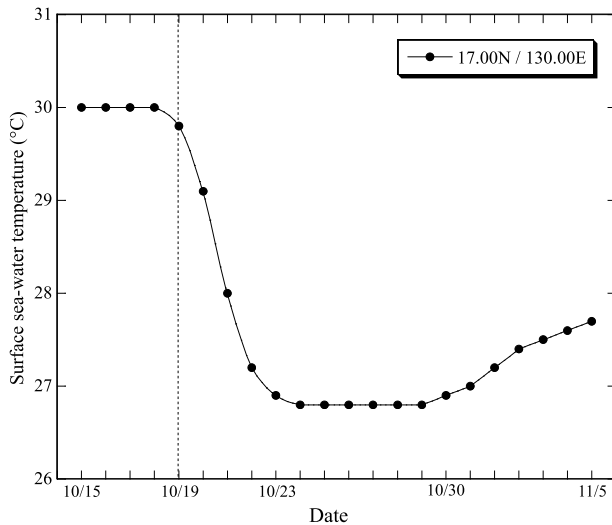


Fig. 6. Surface sea-water temperature (centigrade) from 15 October to 5 November at 17.0°N–130.0°E.

か焦点が当てられていなかったが、近年、衛星に搭載された SeaWiFS などの海色センサーや画像解析の発展により測定精度が向上し、観測範囲が広がるようになった。本調査海域の西部北太平洋だけではなく、東部赤道太平洋で観測された *Rhizosolenia* のブルームを始め (Yoder *et al.*, 1994)、季節的な湧昇や渦場がある大西洋、南インド洋でも大規模なブルームがあることが確認されている (Wilson and Qui, 2008)。Abrantes (2001) は東部赤道太平洋で観測された *Rhizosolenia* のブルームについて、*Ethmodiscus* も同時に増殖しているであろうことを推測しているが、外洋に於ける珪藻類のブルーム観測域と *E. ooze* の分布域が重なる海域では、*Ethmodiscus* がブルームの一因である可能性は十分に考えられる。

今回、西部北太平洋の表層域に於ける *Ethmodiscus* の分布について 40 年ほど前の報告書しか入手できなかったが、*E. ooze* の海底での分布状況と共に海水中の *Ethmodiscus* について今後も更なる調査を期待したい。また、ここで報告させて戴いた *Ethmodiscus* のブルームに関する考察は、単なる仮説の立案に過ぎないが、様々な物理的要因とともに *E. ooze* が形成する不可思議な分布形態について、いずれ解明される日が訪れる事を望んでいる。

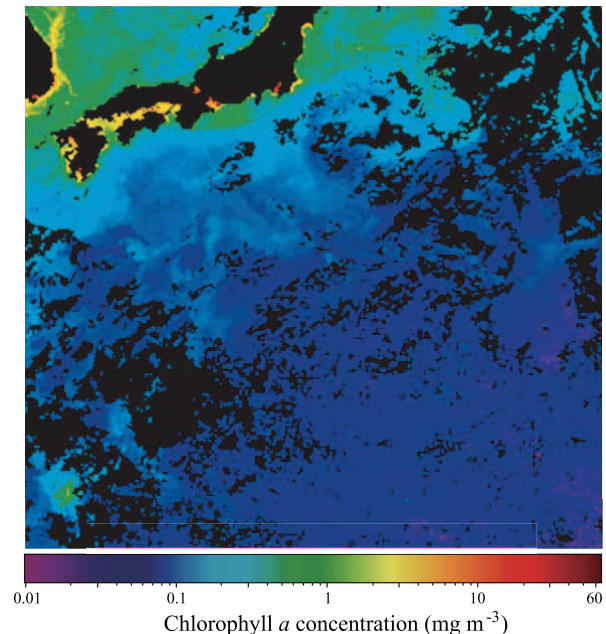


Fig. 7. SeaWiFS chlorophyll *a* concentrations in the Philippine Sea from 24 to 31 October 2003. The image corresponds to the level-3 standard map resolution of 9 km pixel⁻¹ (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/level3.pl/A20032972003304.L3_m_8D_CHLO_9.png?DAY=12349&PER=8&TYP=machl&IMG=big).

謝辞

この総説をまとめるにあたり、貴重な試料を御提供頂いた産業技術総合研究所の西村昭氏、御協力を戴きました産業技術総合研究所の原田晃氏に心よりお礼を申し上げます。また、有益な御意見、御助力を戴きました東海大学の虎谷充浩氏、(株)水棲生物研究所の阿部洋子氏、産業技術総合研究所の鶴島修夫氏、そして査読者の方々に深く感謝致します。

References

- Abrantes, F., (2001) : Assessing the *Ethmodiscus* ooze problem : new perspective from a study of an eastern equatorial Atlantic core. *Deep-Sea Research I*, 48, 125–135.
- Belyayeva, T.V., (1963) : Composition and distribution of diatoms in the surface layer of Pacific sediments. *Okeanologiya*, 3, No.4,
- Belyayeva, T.V., (1968) : Range and numbers of diatoms of the genus

- Ethmodiscus castr. in Pacific plankton and sediment. *Oceanology Academy of Sciences*, **8**, 79–85.
- Belyayeva, T.V., (1970) : Abundance of Ethmodiscus in Pacific plankton. *Oceanology Academy of Sciences*, **10**, 672–675.
- Berger, W.H., Winterer, E.L., (1974) : Plate stratigraphy and the fluctuating carbonate line, p.11–48. In *Pelagic Sediments on Land and Under the Sea*, edited by Hsü, K.J. and Jenkyns, H.C., Special publication, International Association of Sedimentologists.
- Gardner, J.V., Burckle, H. L., (1975) : Upper Pleistocene Ethmodiscus rex oozes from the eastern equatorial Atlantic. *Micropaleontology*, **21**, 236–242.
- Gombos Jr., A.M., (1984) : Late Neogene diatoms and diatom oozes in the Central South Atlantic, p. 487–494. In *Initial Reports of Deep Sea Drilling Project*, Vol.73, Edited by Hsü, K.J. et al., U.S. Government Printing, Washington.
- Hanzawa, S., (1935) : Diatom (*Ethmodiscus*) Ooze obtained from the tropical Southwestern North Pacific Ocean. *Record of Oceanographic Work in Japan*, **7**, 37–44.
- Honda, M., Imai, K., Nojiri, M., Hoshi, F., Sugawara, T., Kusakabe, M., (2002) : The biological pump in the northwestern North Pacific based on fluxes and major components of particulate matter obtained by sediment-trap experiments (1997–2000). *Deep-Sea Research II*, **49**, 5595–5625.
- 金谷太郎 (1972) : 珪質堆積物. p.369–378. 堆積物の化学, 三宅泰雄 (編), 東海大学出版会, 東京.
- Lisitzin, A.P., (1966) : Basic law of distribution of recent siliceous sediments and their relation to climatic zonality, p.241–267. In *Geochemistry of Silica*, Nauka, Moscow.
- Lisitzin, A.P. (1972) : Sedimentation in the world ocean. In *Society of Economic Paleontologist and Mineralogists*, Special publication No.17, Tulsa, Okla.
- McHugh, J. L., (1954) : Distribution and abundance of the diatom Ethmodiscus rex off the west coast of North America. *Deep-Sea Research I*, **4**, 216–222.
- Mikkelsen, N., (1977) : On the origin of *Ethmodiscus* ooze. *Marine Micropaleontology*, **2**, 35–46.
- Moore, J.K., Villareal, T.A., (1996) : Size-ascent rate relationships in positively buoyant marine diatoms. *Limnology and Oceanography*, **41**, (7), 1514–1520.
- Nares, G.S., Thomson, F.T., Thomson, C.W., Murray, J., (1886) : Report on the diatomaceæ, p.166–170. In *Report on the Scientific results of the Voyage of H.M.S. Challenger during the years 1873–1876*, Vol.2, Her Majesty's Government, London.
- 西村昭, 池原研, 有田正史 (1992) : フィリピン海及び西カロリン海盆の表層堆積物, p.87–91. 物質循環に関わる海洋地質学的研究, 平成三年度研究概要報告書, 工業技術院地質調査所.
- Petelin, V.P., (1960) : Bottom sediments of the western part of the Pacific. *Oceanology*, **2**, 45–60.
- Romero, O., Schmieder, F., (2006) : Occurrence of thick Ethmodiscus oozes associated with a terminal Mid-Pleistocene Transition event in the oligotrophic subtropical South Atlantic. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **235**, 321–329.
- Round, F.E., Crawford, R.M., Mann, D.G., (1990) : The Diatoms, p.25. In *Biology and Morphology of the Genera*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Ryther, J.H., Menzel, D.W., (1965) : On the production, composition, and distribution of organic matter in the Western Arabian Sea. *Deep-Sea Research*, **12**, 199–209.
- Semina, G.I., (1959) : Distribution of the diatom *Ethmodiscus rex* (Wall.) Hende in the plankton. *Doklady Akademii nauk SSSR*, **124**.
- Shibamoto, Y., Harada, K., (2010) : Silicon flux and distribution of biogenic silica in Deep-sea sediments in the western North Pacific Ocean. *Deep-Sea Research I*, **57**, 163–174.
- Stabell, B., (1986) : Variations of diatom flux in the eastern equatorial Atlantic during the last 400,000 years (“Meteor” cores 13519 and 13521). *Marine Geology*, **72**, 305–323.
- Taniguchi, A., (1999) : Differences in the structure of the lower trophic levels of pelagic ecosystems in the eastern and western subarctic Pacific. *Progress in Oceanography*, **43**, 289–315.
- Tanimura, Y., (1981) : Late quaternary marine diatom *Ethmodiscus rex* from the Northwestern Pacific Ocean. Bulletin of the National Science Museum, Tokyo Series. C, **7** (3).
- Villareal, T.A., Carpenter, E.J., (1994) : Chemical composition and photosynthetic characteristics of *Ethmodiscus rex* (Bacillariophyceae) : evidence for vertical migration. *Journal of Phycology*, **30**, 1–8.
- Villareal, T.A., Altabet, M.A., Culver-Rymsza, K., (1993) : Nitrogen transport by vertically migrating diatom mats in the North Pacific Ocean. *Nature*, **363**, 709–712.
- Villareal, T.A., Lipschultz, F., (1995) : Internal nitrate concentrations in single cells of large phytoplankton from the Sargasso Sea. *Journal of Phycology*, **31**, (5), 689–696.
- Villareal, T.A., Joseph, L., Brzezinski, M.A., Shipe R.F., Lipschultz, F., Altabet, M.A., (1999) : Biological and chemical characteristics of the giant diatom *Ethmodiscus* (bacillariophyceae) in the central North Pacific gyre. *Journal of Phycology*, **35**, 896–902.
- Villareal, T.A., McKay, R.M.L., Al-Rshaidat, M.M.D., Boyanapalli, R., Sherrell, R.M., (2007) : Compositional and fluorescence characteristics of the giant diatom *Ethmodiscus* along a 3000km transect (28°N) in the central North Pacific gyre. *Deep-Sea Research I*, **54**, 1273–1288.
- Wilson, C., Qiu, X., (2008) : Global distribution of summer chlorophyll blooms in the oligotrophic gyres. *Progress in Oceanography*, **78**, 107–134.
- Wilson, C., Villareal, T.A., Maximenko, N., Bograd, S.J., Montoya, J.P., Schoenbaechler, C.A., (2008) : Biological and physical forcings of late summer chlorophyll blooms at 30°N in the oligotrophic Pacific. *Journal of Marine Systems*, **69**, 164–176.
- Wiseman, J.D.H., Hende, N.I., (1953) : The significance and diatom content of a Deep-sea floor sample from the neighborhood of the greatest oceanic depth. *Deep-Sea Research*, **1**, 47–59.
- Yoder, J.A., Ackelson, A.G., Barber, R.T., Flaments, P., Balch, W.M., (1994) : A line in the sea. *Nature*, **371** (6499), 689–692.

High biogenic silica sediments were observed in the Subtropical region ——The findings of the *Ethmodiscus* ooze——

Yoko Shibamoto †

Abstract

Biogenic silica was investigated in the abyssal surficial sediment from the western North Pacific over a wide area, high biogenic silica sediment which composed of *Ethmodiscus* fragments was observed at a station in the oligotrophic subtropical region. Additional surface sediment samples were analyzed to survey whether it was distributed around this station or not, and several high biogenic silica sediments were found in the Philippine Sea. It seems to occupy only relatively small separate areas which are scattered randomly on the sea floor. Some hypotheses were proposed to explain the occurrence of *Ethmodiscus* ooze, and it is thought that the geophysical factors have a considerable impact on the process. In this paper, a review of the reason for the high biogenic silica sediments is discussed. The high concentration of chlorophyll *a* was observed after a typhoon passage in the subtropical western North Pacific by SeaWiFS ocean color data where the high biogenic silica sediments were observed frequently. The relevance of these two phenomena is examined with existing data and reports from other open ocean, and supports a bloom of *Ethmodiscus* hypothesis.

Key words: Biogenic silica, *Ethmodiscus* ooze, Subtropical region.

(Corresponding author's e-mail address: greenflush0903@gmail.com)

(Received 8 December 2009; accepted 21 May 2010)

(Copyright by the Oceanographic Society of Japan, 2010)

† National Institute of Advanced Industrial Science and Technology,
16-1 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8569, Japan