

ランクトン群集に表れることとなります。

富栄養塩サイクルを考える場合にここでは水質環境と表現するが、水質環境の変遷を明らかにするためには過去の記録に遡らなければならない。では、有明海では過去の水質環境を紐解く資料はいつ頃からどの程度揃っているのだろうか。例えば、海水中の COD や透明度は 1970 年以降に文字記録として残っている。但し、COD に関しては、分析が時代によって、あるいは地域によって異なった手法（例えば酸性法やアルカリ法）で行われてきており、方法の違いによって値が異なって来ることから、記録された値をそのまま使う訳にはいかないという問題もある。従って、文字記録で過去の事を遡ろうとしても注意すべき点がある。その一方で、文字記録を補う、あるいは文字記録が欠けている過去まで遡るという意味で、堆積物から水質環境の変化に関する情報を取り出していく手法もある。

本稿では諫早湾や有明海湾奥部で採取した堆積物にのこされた過去の環境を解明した研究例を紹介する。

堆積物に残された水質環境の記録

有明海には泥湿、砂質、あるいは岸に近いところでは礫質の堆積物が分布している。堆積物に保存されている植物プランクトンの群集変化を明らかにするには、それらとサイズがほぼ同じ泥質堆積物を分析することが望ましい。加えてその堆積物の沈積年代が分かるという事が重要である。

堆積物の沈積年代を知るには放射性同位体である鉛の ^{210}Pb の濃度を測定することが必要になる。 ^{210}Pb の減少率から平均堆積速度を求め、それを基に沈積年代を推定する。

この研究では植物プランクトンの一員である渦鞭毛藻が形成する休眠細胞（シスト）に注目している。その群集変化を求めるには、まず堆積物を 1 cm ずつに切り分け、それに塩酸やフッ酸を加えて鉱物質粒子を除去する。次いで、その一部を顕微鏡下で観察し、出現してくる渦鞭毛藻シストをすべて数え、群集を把握する。さらに、観察した結果を時系列に整理し、渦鞭毛藻シストの群集変化を明らかにする。

諫早湾堆積物における渦鞭毛藻シスト群集の変化

分析コアの層相と堆積速度

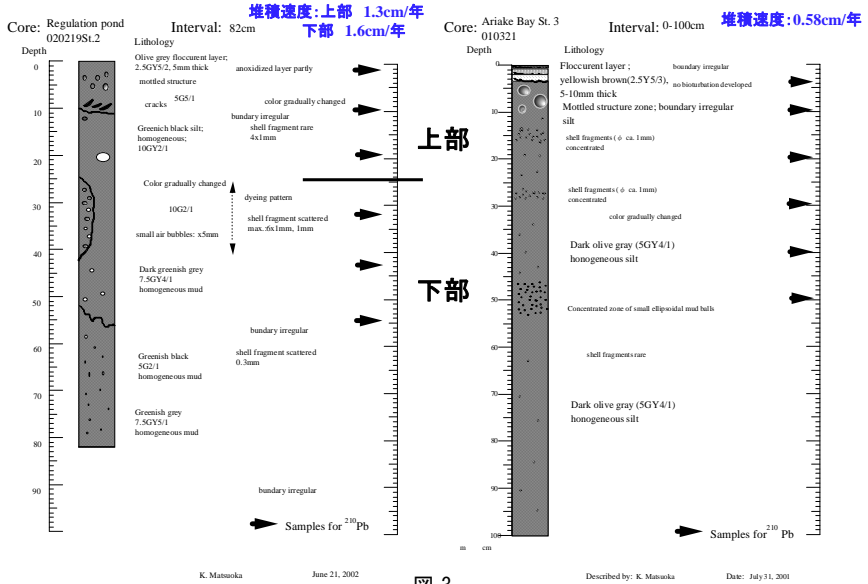


図-3

諫早湾では現在の潮受け堤防の海側と現在の調整池の 2 箇所て柱状試料を採取し、分析した (図 3). この 2 箇所とも 1970 年代前半に渦鞭毛藻の個体数が大きく変化していることがわかる (図 4, 5). この様な個体数の変化がどのような環境変化を反映しているのかを推察するには、渦鞭毛藻の生物学的特性を理解しておかなければならない。

渦鞭毛藻類は他の植物プランクトンと異なった特徴をもつグループである。渦鞭毛藻は分類学的には一つの原生生物として分類されるが、生態学的には光

渦鞭毛藻シスト個体数の変遷

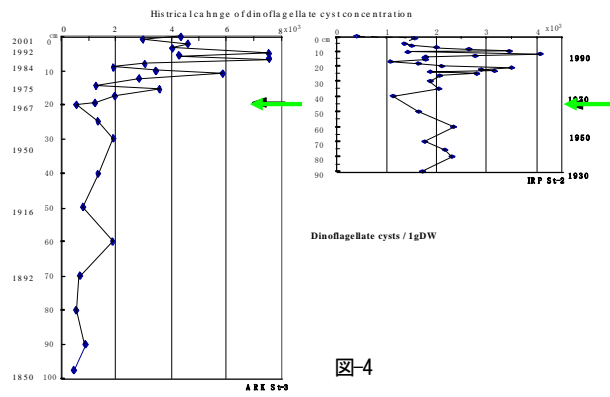


図-4

渦鞭毛藻シストA/H比の変遷

合成を行う植物的なグループ(独立栄養性;このグループが植物プランクトンである)と、他の生物を捕食して増殖していく動物的なグループ(従属栄養性)がある。これら2つのグループの産出比率の変化がある水質環境の変化

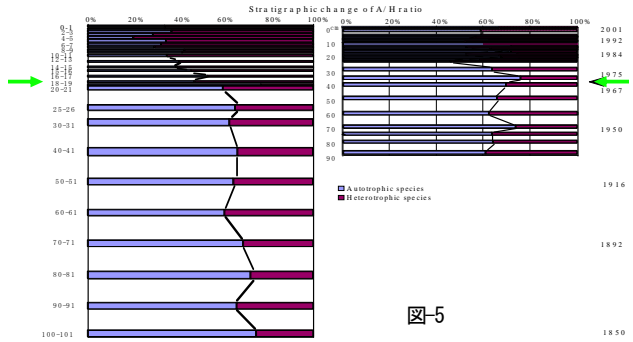


図-5

を反映しているといえつされる。すなわち、1970年代から従属栄養性シストが増えてきている。そのような見方をする、1960年代以前、1970年から80年代、90年代以降に、渦鞭毛藻シスト群集の変化があった。このような変化はどのような水質変化を反映しているのかを検討する。

渦鞭毛藻シスト群集が水質変化を反映している理論的根拠

1. 渦鞭毛藻の生活史

有明海ではラフィド藻シャットネラや渦鞭毛藻アカシオ・サングイネアや珪藻スケレトナマの赤潮がしばしば発生している。これらの植物プランクトンはクロロフィルという光合成色素体をもっている。植物プランクトンが多量に増殖すると海水の色が変化する。いわゆる赤潮を形成する。渦鞭毛藻は通常は無性生殖によって細胞が2つに分裂し、その結果分裂するごとに個体数がねずみ算式に増える。渦鞭毛藻などの植物プランクトンは増殖過程で栄養塩を吸収する。ある回数分裂を繰り返すとそれ以上分裂して増殖する事が不可能になる。それでも種を維持していくために有性生殖を行う。その場合、例えば水温が低い、あるいは栄養塩が乏しいなど環境の悪い一定の期間を回避するために、通常のプランクトンとは形態が異なる休眠細胞(シスト)を形成し、それが海底に沈降して環境

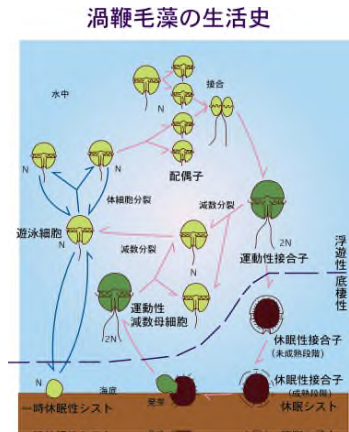


図-6

が回復するまで堆積物表層で休眠するという。そして環境が回復する（即ち温度が上がる）状況になるとそこから発芽し、再びプランクトンの状態に戻る。堆積物には、シストの抜け殻が保存されている。（図6）

2. プランクトンとシストの異なる形態

図7, 8は同一生物でありながらプランクトンとシストの形態が異なっていることを示している。図7は連鎖群体を形成する有毒種で独立栄養性の *Gymnodinium catenatum* である。この種は通常のプランクトンの状態では連鎖群体を形成し、褐色の色素体を持っている。この連鎖群体がある時期に単細胞になり、有性生殖の後に全くプランクトンの細胞と異なる形態を持つ休眠細胞（シスト；図7-4, 5）を形成し海底に沈積する。一定期間休眠した後に、発芽して又、連鎖群体に戻る。

Gymnodinium catenatum
Graham



図-7

図8左は *Polykrikos kofoidii* と *Polykrikos schwartzii* のプランクトンで連鎖群体を形成している。右はそれらの

プランクトンとシストの違い



図-8

従属栄養性
渦鞭毛藻
シスト
と
独立栄養性
渦鞭毛藻
シスト

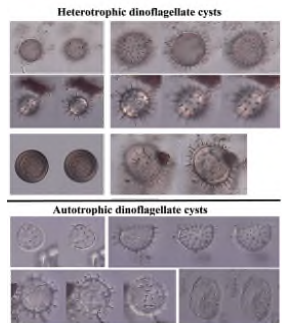


図-9

シストである。図8左は走査型電子顕微鏡写真なので細胞の色は分からないが、この種は色素体を持っておらず、従属栄養性のプランクトンである。独立栄養性でも

従属栄養性でも渦鞭毛藻のいくつかの種は有性生殖を行い、生活史の中で全く形態が異なる細胞を形成する。図9には有明海の堆積物から産出する渦鞭毛藻のシストを示している。上段が従属栄養性渦鞭毛藻のシスト、下段が独立栄養性渦鞭毛藻のシストである。ここで紹介している研究は植物プランクトンの一員である渦鞭毛藻の特徴的な生態に注目して進めている。

3. 渦鞭毛藻シスト群集から栄養塩環境を推察するには

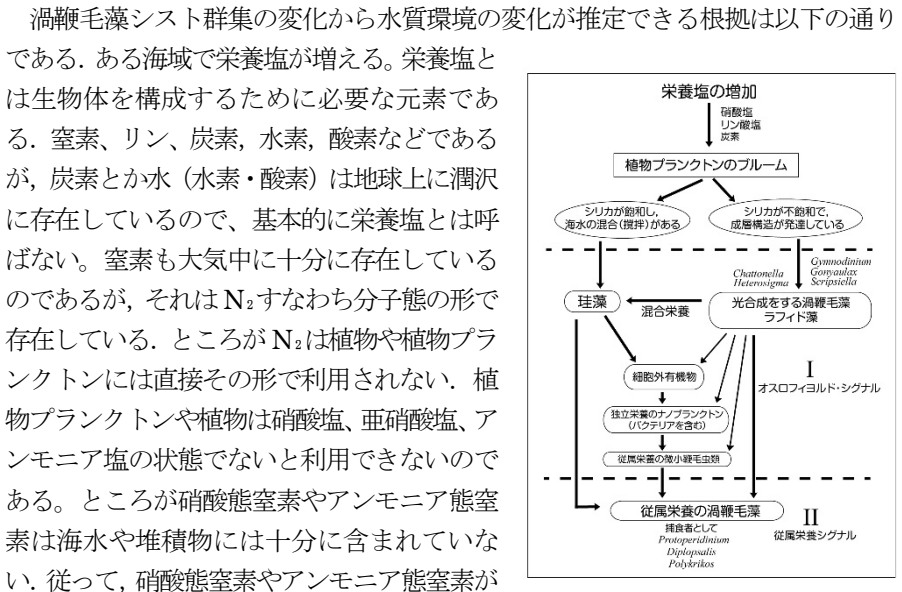


図-10

増殖が制限されることになる。これが窒素やリンを栄養塩と呼ぶ理由になっている。図10に栄養塩と植物プランクトンと従属栄養性渦鞭毛藻との関係を示す。栄養塩が増えると、まず植物プランクトンが体細胞分裂をして増殖する。沿岸域では2大植物プランクトングループの珪藻や鞭毛藻などが増殖する。しかし、珪藻や鞭毛藻のいずれが殖えるのかは海洋構造と栄養塩環境に支配される。即珪藻が増殖する場合にはガラス質の殻を形成するために窒素やリン以外に珪酸塩が必要になる。従って海水中に十分な珪酸塩の存在が要求される。加えて珪藻は鞭毛を持たないので自

ら栄養塩を求めて移動することが出来ない。従って周囲のこれらの栄養塩が枯渇すると珪藻は増殖することが不可能になる。ところが、鞭毛藻は鞭毛を備えているので浮遊生物といわれながらもある程度自ら動き回る事が出来る。従って周囲に栄養塩が不足した場合には鞭毛を用いて栄養塩のある所まで移動してそれらを吸収する事が出来る。珪藻と鞭毛藻は植物プランクトンと良いながらもこのように生態的に異なっている。このことを踏まえると、海域で成層構造が発達すると、光の届く成層上部でそこに含まれている栄養塩が珪藻の増殖に使われる。栄養塩が枯渇すると珪藻の増殖はその時点で停止する。ところが、そのような環境でも鞭毛藻は水深のより深い所に残されている栄養塩を求めて移動し、それらを細胞内に吸収した後にもた光のある水深まで回帰して増殖することができる。つまりは、成層構造が発達している海中を底層にまで移動し、細胞中に栄養塩を吸収して、又、浮上してくる行動を取ることが可能なのである。すなわち成層が発達しにくい干潟差が大きい所では珪藻が、そこから離れて成層構造が発達するよう海域では、鞭毛藻が増殖しやすい。ところで食物連鎖から見ると独立栄養性鞭毛藻や珪藻は従属栄養性渦鞭毛藻の餌になる。実際に渦鞭毛藻が珪藻や独立栄養性鞭毛藻を捕食する様子が観測されていることを踏まえると、従属栄養性渦鞭毛藻が増える事は餌が増えたことを反映していることを示す。餌すなわち植物プランクトンが増えたことは栄養塩の増加を反映したと考えることも可能である。この考え方で図4、5に示した渦鞭毛藻シスト群集の変化を見直すと、諫早湾では1970年あたりから渦鞭毛藻シストが増加し、また従属栄養性シストの割合も増加していることから栄養塩が増加したこと、すなわち富栄養化が進行していたと推察できるのである。

有明海湾奥部の水質環境変化

図11, 12, 13は有明海奥部の鹿島沖で採取した堆積物を用いて同様の分析をした結果を示す。鹿島沖の試料年代は平均堆積速度が0.74 cm/計算して求めた。最下部が1854年と算この堆積物からは1850年代までの水質が可能である。大局的に見ると1970年

**鹿島沖
GS2-2**

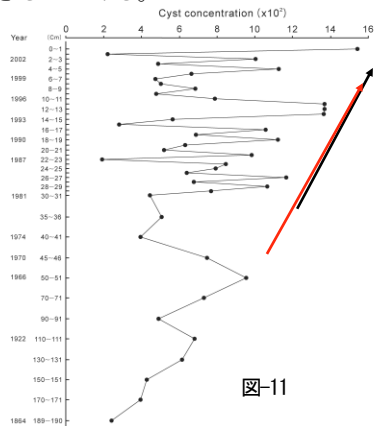


図-11

GS2-2 Sedimentation rate : 0.74cm/y

加する。この減少が何を反映しているのかについては現時点では明確にすることができておらず、今後の課題として残っている。が、1980年以降に渦鞭毛藻シストはさらに増加している。図12に独立栄養性シストと従属栄養性シストの産出比率の変化を示す。その比率の変化を見ると1980年代後半から従属栄養性シストが増加するが、1990年代後半で少し減少し、その後また増加している。この変化の様子は諫早湾の場合と異なっていることから、栄養塩の挙動は諫早湾と若干異なっていたことを反映している可能性がある。すなわちこの頃に白石沖付近では栄養塩の減少があったと推察できる。

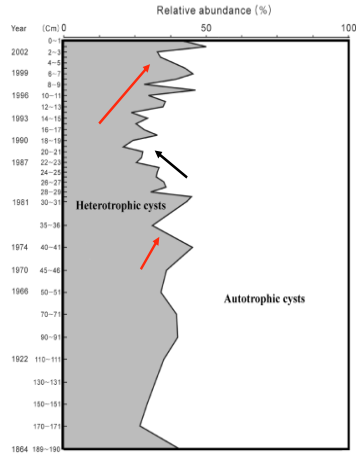


図-12

白石沖では昭和62年に覆砂が行われた。図13ではそれを組み込んでみた二重線が1987年(昭和62年)になる。それ以降では、堆積速度が非常に速い、しかしこの部分は覆砂による攪拌があって深度別の年代を算出することが不可能である。しかし、1987年以降のこの部分では渦鞭毛藻シストが増加していることと従属栄養性シストの割合が大きくなっている。

これに基づく1970年代以降に渦鞭毛藻シスト数が増加したと共に、1980年代後半に従属栄養性シストが一旦減少し、その後再び増加する。これを諫早湾の柱状試料と比較すると、渦鞭毛藻シスト数が3分の1程度で、少ない。また、独立栄養性シストの比率が諫早湾に比べると大きい。これらは有明海湾奥部(鹿島沖や白石沖)と諫早湾との水質環境変化の違い

白石 St. A

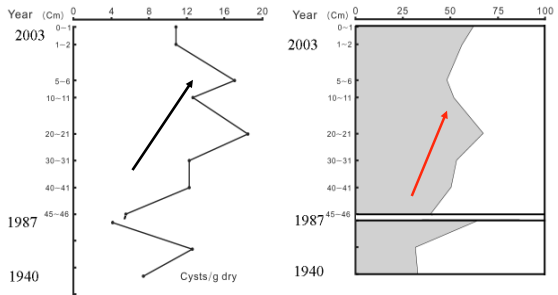


図-13

いを反映している可能性もあり，その解明が今後に残された課題である。

有明海湾奥部堆積物中の渦鞭毛藻シスト群集の変化のまとめ

1. 1970年代以前

渦鞭毛藻シスト数が増加

(大局的に見ると1860年代からこの傾向がある)

2. 1980年代に従属渦鞭毛藻シストの割合が一旦減少し，その後増加

3. 諫早湾柱状試料の渦鞭毛藻シスト群集と比較してシスト総数が約1/3程度と少なく，従属栄養性渦鞭毛藻シストの比率が高い。

有明海の環境変遷解明を目指した他の研究

熊本沖で採取したコアに含まれている珪藻のスケレトネムコスタータム（現在の知識ではスケレトネマ属の種の正確な識別は光学顕微鏡では不可能である。従って秋元らがスケレトネムコスタータムとした珪藻はスケレトネマ属の1種としておくのが妥当である）の出現変化が明らかになっている。スケレトネマ（コスタータム）は上位に向かって増加している。スケレトネマ（コスタータム）は珪藻の中でも栄養塩の豊かな海域に出現しており，富栄養化の指標種であることを踏まえると，熊本沖でも上位に向かって富栄養化が進行していた事が推察できる。（図14）

図15は同じ熊本沖試料の粒度組成変化を示している。ここは興味深いこと堆積物が上位に向かって粗粒化していることが示されている。堆積物の粒度組成変化は後背地を流下する河川の影響を受ける。アサリが生息する場である底質の環境やアサリの餌となる植物プランクトンの挙動とを組み合わせ考察を進めていくことが重要である。

富栄養化指標珪藻の変化

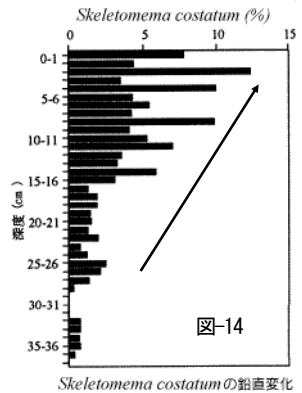


図-14

粒度組成の変化

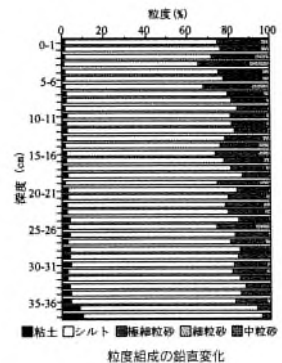


図-15