

## 沿岸海域において透明度を低下させる原因物質の解明

奥田 哲士

広島大学 環境安全センター・ 助教

平成27年7月

### 【研究目的】

大阪湾圏域の環境保全、生産能の増加に寄与するため、一次生産に直接関係する透明度に影響する粒子の影響調査を行う事を目的とした。

過去の研究で、人的由来の大きい沿岸から離れた海域においては透明度がクロロフィル *a* (Chl. *a*) 量と逆相関を持つことがわかっているが、植物プランクトンだけでは説明できない。都市部の沿岸域では無機粒子の寄与も以前大きいと考え、本研究では、溶存成分と懸濁物質の寄与率を定量化、さらに透明度の低下に影響の大きい粒子サイズなどを明らかにする事を目的とした。溶存有機物質の寄与が大きい場合は、溶存有機物質の蛍光分析 (EEM) から特定の有機物質の影響についても検討する事とした。これにより沿岸域の透明度を制限する因子を定量化、最終的には流入源と原因物質の特定に寄与する情報の蓄積を目指した。

### 【成果概要】

研究期間中に、大阪湾については2回の調査（加えて期間外に1回）、比較海域とした広島湾は4回の調査を行った。透明度、光減衰係数、懸濁物質質量、Chl. *a* 量、マイクロ～ナノ粒子の濃度等の水質測定に加え、一部については底質堆積物の特性調査を行った。

大阪湾の透明度低下の要因として、まず溶存着色有機物質に比べて懸濁物質の影響が大きく、Chl. *a* 量で大まかな説明ができた為、植物プランクトンが寄与している事が確認できた。しかしながら植物プランクトン以外の粒子の影響も確認でき、1  $\mu\text{m}$  の粒子が透明度の減衰に大きな影響を持つ可能性が示された。よって、構成粒子サイズが海域の光環境にとって重要である可能性があることがわかった。

### 【背景】

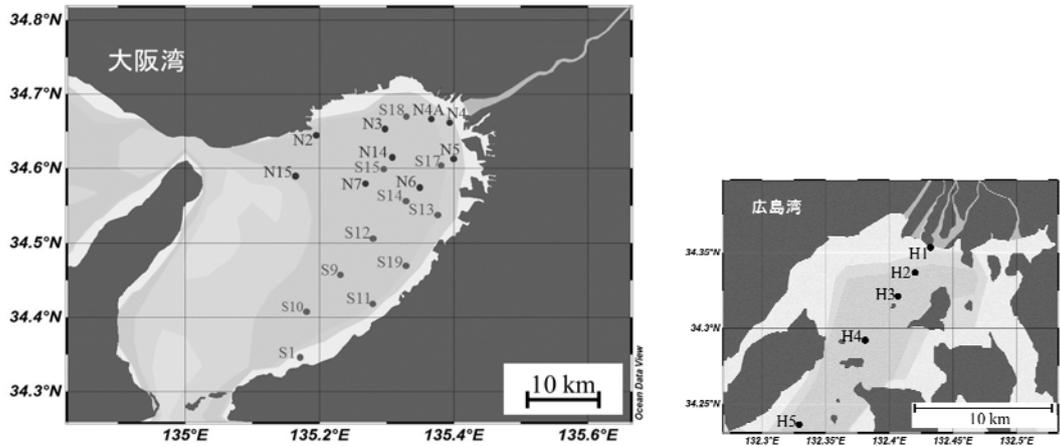
河口域では、河川から流入する豊富な栄養塩を利用して植物プランクトンによる活発な一次生産が行われており、河口以外の沿岸域でも魚類等の生息場にもなるアマモや底質表面の微細付着藻類が一次生産を担っている。それらの増殖に必要な光を透過させる指標である透明度は、一次生産の健全性の重要な指標である。

過去の研究において、水中の光減衰における要因としては有色溶存有機物 (CDOM) や植物プランクトンなどの懸濁物質が報告されており、大きな河川が存在する場合、フミン物質を主成分とする CDOM が主となる可能性もある。大阪湾では経年的な透明度の改善がみられているが、さらなる改善の為には藻類繁殖 (初夏) 時以外の沿岸域の透明度を制限する因子を特定、河川等の影響を把握する必要がある。

加えて近年、ナノ粒子の測定技術が向上しており、ナノ粒子サイズの透明度への影響も検討できる状況になっている。

## 【研究方法】

大阪湾において2014年9月1日、11月7日（研究期間ではないが関連して3月3日も）、広島湾でも5月26日、7月28日、9月26日、11月26日に下図の地点等で調査を行った。



大阪湾（S：9月、N：11月）

広島湾（5, 7, 9, 11月）

図1 サンプルング地点

本調査では多項目水質計CTD（AAQ-RINKO JFEアドバンテック社）を用いて、水深1 m間隔の水温、塩分、濁度、光量等の水質項目の測定を行った他、バンドーン採水器を用いた中・深層水の採水を実施し、実験室にてChl. *a*、TSS濃度等を測定した。Chl. *a*濃度はロレンチェン法に従って、懸濁物質質量（TSS）はガラス繊維ろ紙GF/F（孔径0.7 μm）を用いて測定した。有色溶存有機物（CDOM<sub>440</sub>）は、GF/Fを用いて試料をろ過した後、ろ液の吸光度を吸光度計UV-1800（SHIMADZU）で測定して求めた。溶存有機物質の励起蛍光マトリックスの測定も行った。他に海水中の粒子の粒度分布を、数μm以上の粒子はレーザ回折式の粒度分布測定装置であるSALD-300V（SHIMADZU）により、数μm以下の粒子はナノ粒子マルチアナライザーqNano（Izon）により測定した。

本研究の対象である透明度は測定者の視力や天候に左右されてしまうため、また溶存物と懸濁物質の寄与率を定量的に分ける必要があるため、光量子を評価に用いた。指標には光量子を表層の光量子で割って（標準化）光減衰係数 $K_d$ を算出、光減衰の要因である海水、CDOM、TSSによる光減衰係数 $K_W$ 、 $K_{CDOM}$ 、 $K_{TSS}$ を以下の式から算出した。

$$K_d = K_W + K_{CDOM} + K_{TSS}$$

$$K_W = 0.038 \text{ m}^{-1}$$

$$K_{CDOM} = 0.221 \times \text{CDOM}_{440}$$

$$K_{TSS} = K_d - K_W - K_{CDOM}$$

$K_W$ 、 $K_{CDOM}$ 、 $K_{TSS}$ ：海水、CDOM、TSSの光減衰係数 [m<sup>-1</sup>]

サンプリングに際してはまず、国土交通省の瀬戸内海総合水質調査の測定地点のうち数点、同じ場所を選定し、我々の透明度やChl. *a*の観測結果と過去の測定値を比較して、分析の精度確認を行った。

上に加えて回分試験として、新規の説明要因の調査のための回分試験として、数μm以下の粒子の透明度への影響を検討した。ここでは直径が既知の球状シリカ粒子を超純水にて希釈し、TSS濃度が濁度および吸光度に及ぼす影響を調査した。使用するシリカ粒子の直径は0.1、1、10 μmとし、TSS濃度は0~100 mg/Lとした。

### 【実験結果および考察】

観測結果に基づく透明度の分布について、11月の結果を代表値として図2に示す。湾奥の河口近くで小さく、河口から離れるにつれて改善する傾向がみられた。これは表層中の物質が凝集、塩析、沈殿等で排除されているためと考えられた。光減衰係数  $K_d$  についても図2に結果を示す。透明度と  $K_d$  は反比例の関係にあるので、透明度、 $K_d$  共に、河口では光が減衰しやすく、沖では減衰しにくい傾向が観測できた。また、広島湾と比較すると、大阪湾は河口（沿岸）での数値が高く、水量の大きい河川の影響が強いと考えた。

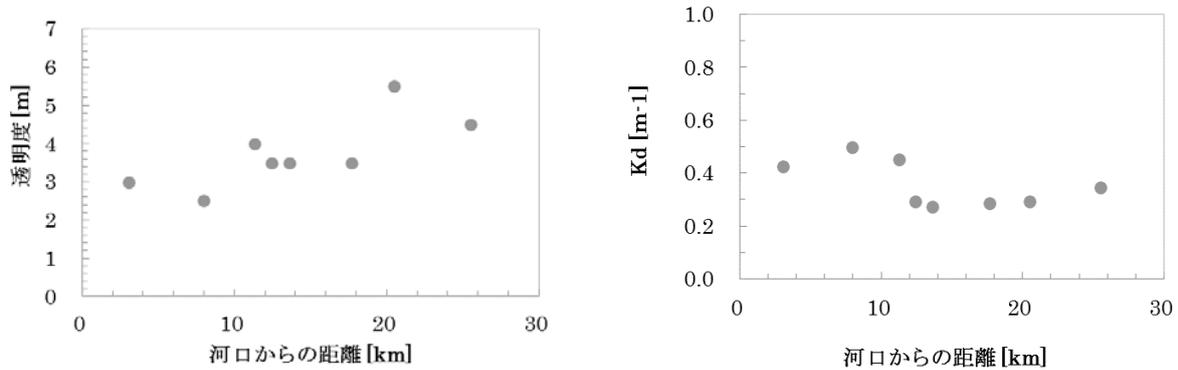


図2 大阪湾での透明度および  $K_d$  の分布 (11月)

11月における大阪湾の光減衰を、海水自体、CDOM、懸濁物質 (TSS) の3種に分画した結果を下図に示す。主要因は TSS であることがわかった。ちなみに広島湾でも一部地点を除いて同様の結果であった。

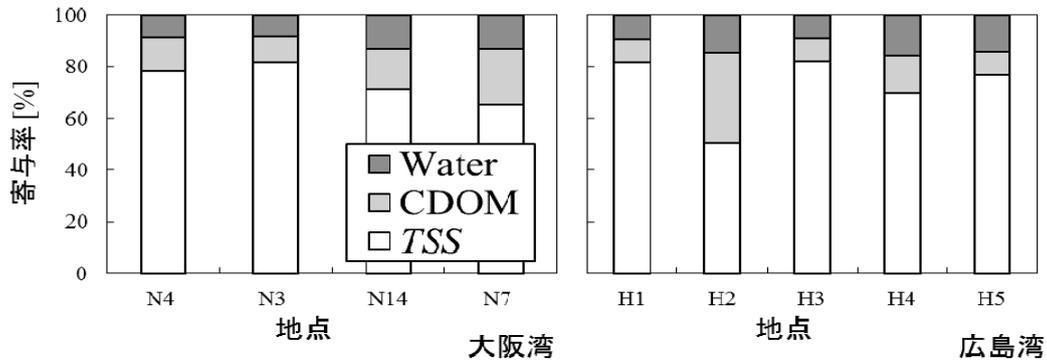


図3 光減衰への各要因の寄与率 (左:大阪湾, 右:広島湾)

粒子の透明度への高い寄与が確認されたため、透明度に対して TSS と Chl.  $a$  との相関を調べた。結果、 $R^2$  は TSS で 0.3 未満の低い相関 (逆相関) しか得られなかった。Chl.  $a$  も 9月と11月の両結果での解析では、 $R^2$  が 0.05 と低かったが、11月に限定すると  $R^2$  が 0.65 まで上がり、参考に行った広島湾の9月と11月の両季節の結果を合わせた解析でも  $R^2$  が 0.63 となっており、植物プランクトンが透明度の決定要因として重要であることが示唆された。しかし、11月に比べて Chl.  $a$  が高い9月 (大阪湾の平均で 11 と 6  $\mu g/L$ ) で Chl.  $a$  と透明度の逆相関が悪くなっていることから植物プランクトン以外の影響も大きいと考えられた。また、広島湾での同様の9月と11月両方のデータでの相関における切片が約 7m であることに比べて大阪湾は約 4m (相関が高い11月でも約 6m) であることから、Chl.  $a$  の影響を排除した場合

の透明度が広島湾より低く、大阪湾では植物プランクトン以外の要因の寄与が大きい可能性が示唆された。

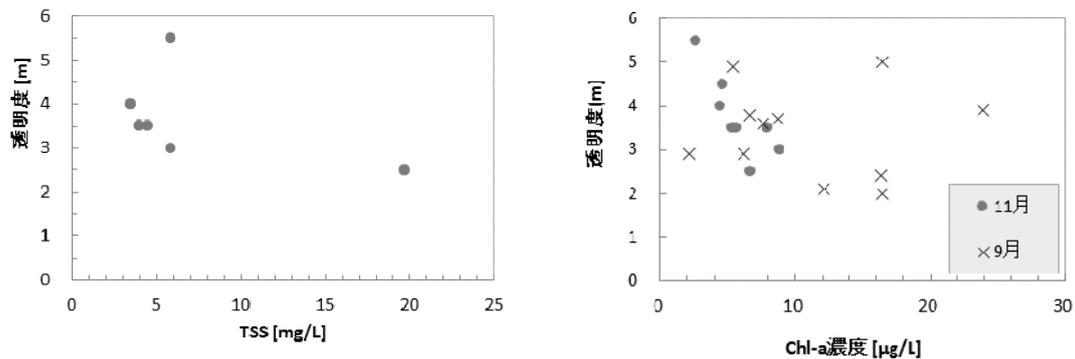


図4 透明度と TSS (11月のみ) もしくは Chl. a の相関

透明度に及ぼす植物プランクトン以外の影響について、単純に無機粒子の量が影響しているわけではない事は TSS との相関が悪い事から明らかである。そこで我々は特定の大きさの粒子の影響が強いと仮定した、回分試験で粒子サイズが光減衰におよぼす影響として 3 サイズの粒子の濃度が濁度および吸光度に及ぼす影響を調査した。ここでは透明度に関わると考えられる波長 400~700 nm の吸光度の積分値を指標に用いた。3つの粒子径において 400~700 nm での吸光度の積分値は TSS 濃度と相関しており、積分値は  $0.1 < 10 < 1.0 \mu\text{m}$  となり、 $1 \mu\text{m}$  で極大値をもっていた。これは粒子の大きさと波長の比が 1 に近い、すなわち波長と粒子直径が近いとその波長の光を吸収しやすい事を示唆している。

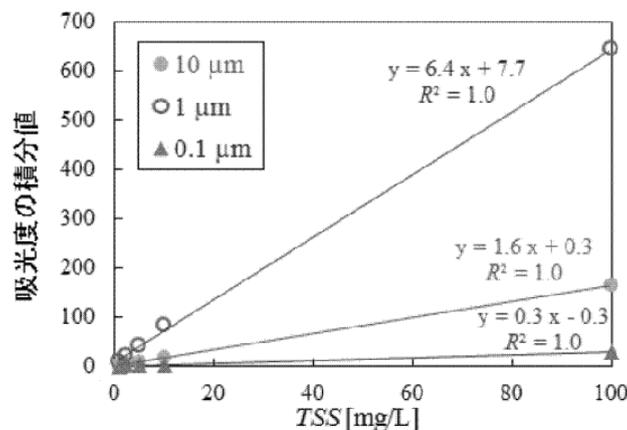


図5 各粒径のシリカ粒子の TSS 濃度と 400~700 nm での吸光度の積分値の関係

### 【結論】

大阪湾の透明度低下の主要因は植物プランクトンを含む懸濁物質であるが、懸濁物質とクロロフィルのみでの透明度低下の説明は困難であり、 $1 \mu\text{m}$  付近の粒子量が透明度を決める重要な要因である可能性が示唆された。

研究期間 : 平成26年4月1日~平成27年2月28日

研究代表者 : 代表研究者 奥田哲士 (広島大学 環境安全センター)

共同研究者 : 西嶋渉 (広島大学環境安全センター)・浅岡聡 (神戸大学内海域環境教育研究センター)