

沖縄県下公共用水域における海水透明度の解析

仲宗根一哉・金城孝一・大城洋平・宮城俊彦

Analysis of Water Transparency in Public Waters (Ocean) of Okinawa Prefecture

Kazuya NAKASONE, Koichi KINJYO, Yohei OSHIRO, Toshihiko MIYAGI

要旨： 海水透明度に影響を及ぼすと考えられる水質項目等との関連性について重回帰分析を用いて検討した。その結果、透明度への貢献度は、CODが最も高かったが、水質項目のみでは、透明度の大部分を説明することができず、水深や底質等のパラメーターを組み入れた解析が必要であることが示唆された。また、透明度と水深および底質の関係から、サンゴ礁海域では、垂直方向の透明度よりも水平方向の透明度や濁度の計測が、海水の清澄さを示す指標として適していると考えられた。

Key words： Transparency, Coral Reef, Linear Models

I はじめに

沖縄では、近年、サンゴ礁生態系が著しく衰退しており、赤土等の土壌流出、オニヒトデによる食害、異常高水温による白化現象、生活排水等による富栄養化等がその主要因と考えられている。サンゴ礁海域の保全管理システムの構築が急がれるが、大見謝¹⁾は、保全管理の目標として、サンゴ礁海域に適した水質の環境基準設定が必要であることを指摘している。

造礁サンゴ類の造礁活動の好適条件は、熱帯・亜熱帯域の高水温域で、淡水の影響が見られず、貧栄養で透明度が高く、潮通しの良い浅海である²⁾。また、サンゴ種数の垂直分布には、光が最も重要な条件である³⁾。このように、海水の清澄さは、サンゴ礁生態系の重要な環境条件のひとつである。

海水の清澄さを表す指標のひとつに透明度がある。透明度は、海洋観測の基本的調査項目であり、水質汚濁防止法第15条の規定に基づく公共用水域の水質汚濁状況常時監視における水質測定的一般項目の一つである。透明度の定義は、透明度板（Secchi 盤）と呼ぶ直径30cmの白色の平らな円盤を海水中に降ろし、上から見てこれが見えなくなる限界の深さで、メートルを単位とする。

サンゴ礁の水質指標として透明度に着目したとき、透明度を規定する濁質の由来を検討しなければならない。沖縄のサンゴ礁海域における海水の濁りは、底質中微細土粒子等の濁質の再懸濁による影響を強く受けているという仮定を支持する報告^{4,5)}がある。しかし、透明度は濁

りの光学的な捉え方のひとつで、懸濁粒子の量を概略的に表す指標であり、他の水質項目や海域の地形的な影響が透明度にどの程度寄与しているのかは不明な点が多い。

そこで、本研究では、1981年度から2005年度までの25年間の沖縄県下公共用水域水質測定結果をデータベース化し（以下、水質測定結果 D.B.と略す）、透明度と透明度に影響を及ぼすと考えられる水質項目等との関連性について検討したので報告する。

本研究は、内閣府沖縄振興局委託「亜熱帯島嶼域における統合的沿岸・流域・森林に関する研究」による研究の一部をまとめたものである。

II 方法

水質測定結果 D.B.から透明度、化学的酸素消費量 (COD)、全窒素 (TN)、全リン (TP)、溶存酸素 (DO) の年間平均値のそろった10海域50地点、延べ413組のデータセットを作成した。地点の内訳は、沖縄島が羽地内海7地点、名護湾2地点、金武湾7地点、与勝海域5地点、恩納海域1地点、伊佐海域9地点、那覇港海域7地点、中城湾7地点、宮古島が与那覇湾2地点、石垣島が川平湾の3地点である。

データセットの5パラメーターについて、透明度の年間平均値を従属変数とし、他の水質項目の年間平均値を説明変数とする重回帰分析を行った。

なお、透明度については、水深の記録がないものおよび、透明度が水深以上のデータは解析の対象から除いた。

III 結果

1. 透明度と水質の関係

水質測定結果 D.B.の延べ 15,728 地点の測定値について、各項目測定値のヒストグラムから分布型を確認した結果、DO のみが正規分布で、他は対数正規分布であった。DO 以外の項目については、常用対数に変換後、以後の統計解析に用いた。

最初に、全測定値をもとに散布図行列を作成したところ、5 パラメータ間に相関はみられなかったため、各水質項目の代表値として、年平均値を用いた。

年平均した各パラメータについて、外れ値を除いた延べ 413 組のデータセットを得た。外れ値の判断基準は、最大、最小値で度数の出現率が 5%以下の値で、最大値と次に大きな値、最小値と次に小さな値の差が、標準化して標準偏差以上の差がある場合とした。

表 1 にデータセットの水質統計値を示した。

表 1. データセットの水質統計値.

項目	最小	最大	平均値	中央値
透明度 (m)	0.14	20.52	4.53	4.75
COD (mg/L)	0.56	2.98	1.07	1.06
TN (mg/L)	0.027	1.612	0.156	0.147
TP (mg/L)	0.003	0.265	0.013	0.012
DO (mg/L)	5.48	8.48	6.91	6.87

※10 海域 50 地点 413 データの統計

図 1 に変数変換後の年平均値の散布図行列とヒストグラムを示し、表 2 に変数間の Pearson 相関係数クロス表を示した。

水質項目間の相関係数は、透明度と COD 間に-0.602 (p<0.01) の中程度の負の相関が認められ、透明度と TP および TN 間にそれぞれ-0.488 (P<0.01) と-0.479 (p<0.01) のやや弱い負の相関が認められた。また、TN と TP 間に 0.550 (P<0.01) の中程度の正の相関が認められた。

次に、透明度の年間平均値を従属変数とし、COD, TN, TP, DO の年間平均値を説明変数とする重回帰分析を行った。ステップワイズ法により、全ての説明変数が選択され、最適モデル(1)式が得られた。

$$\log.Tr = -1.201\log.COD - 0.269\log.TP - 0.344\log.TN - 0.124DO + 0.761 \dots\dots(1)式$$

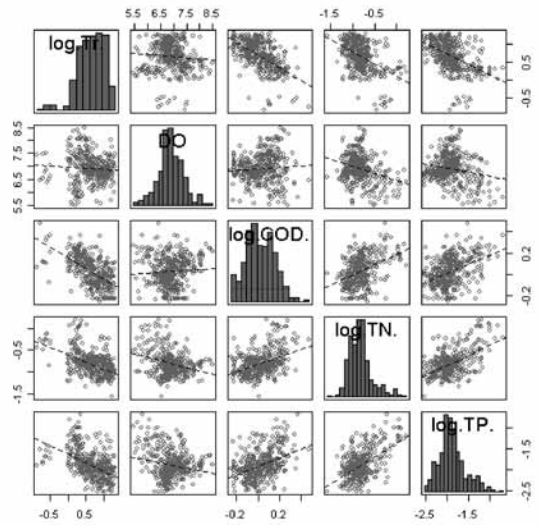


図 1. 年平均値の散布図行列とヒストグラム.

log.Tr.: 年平均透明度 (m) の常用対数,
 DO: 年平均溶存酸素 (mg/L),
 log.COD.: 年平均 COD (mg/L) の常用対数,
 log.TN.: 年平均 TN (mg/L) の常用対数,
 log.TP.: 年平均 TP (mg/L) の常用対数. (N=413)

表 2. 年平均値の Pearson 相関係数クロス表.

log.Tr.: 年平均透明度 (m) の常用対数,
 DO: 年平均溶存酸素 (mg/L),
 log.COD.: 年平均 COD (mg/L) の常用対数,
 log.TN.: 年平均 TN (mg/L) の常用対数,
 log.TP.: 年平均 TP (mg/L) の常用対数.

(N=413)

	log.Tr.	DO	log.COD.	log.TN.
DO	-0.075			
log.COD	-0.602**	-0.070		
log.TN.	-0.479**	-0.287**	0.410**	
log.TP.	-0.488**	-0.199**	0.417**	0.550**

**危険率 1%で有意.

ここで、

log.Tr.: 年平均透明度の常用対数
 log.COD.: 年平均 COD の常用対数
 log.TP.: 年平均全リンの常用対数
 log.TN.: 年平均全窒素の常用対数
 DO: 年平均 DO 値

である。

回帰式に多重共線性は見られなかった。自由度調整済決定係数は、0.47 (P<0.01) で、これらの水質項目では、

透明度の53%の部分が説明できなかった。

表3に標準化したデータから算出した標準偏回帰係数を示した。透明度への貢献度は、CODが最も高く、DOが最も低かった。

表3. 回帰式の標準偏回帰係数.

水質項目	標準偏回帰係数
log.COD.	-0.400 (P<0.01)
log.TP.	-0.222 (P<0.01)
log.TN.	-0.239 (P<0.01)
DO.	-0.160 (P<0.01)

2. 透明度と水深の関係

図2に水質測定結果D.B.から抽出した各地点の年平均透明度と年平均水深(実測)の散布図を示した。

散布図は対数目盛りで表示し、横軸に水深、縦軸に透明度を示した。

透明度は、測定地点の水深が測定限界値となるから、図中の各地点の水深に等しい透明度を結ぶ線よりも下側に分布する。水深は0.9~62.7mの範囲で分布し、平均が14.4m、中央値が10.3mである。図2から、水深が20mを超えるあたりから、透明度の上限値は約10~20mの間で推移している。また、水深30m付近と10m付近に透明度が極端に低い地点のグループが存在することがわかる。

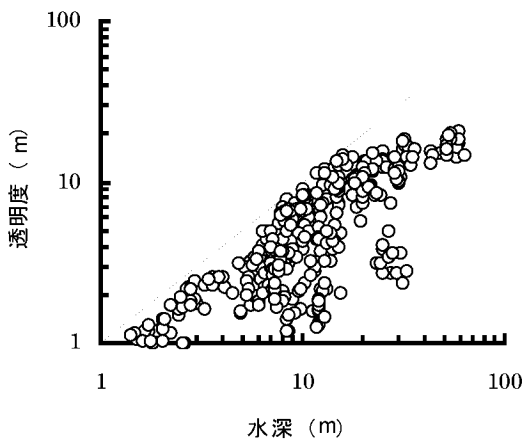


図2. 年平均透明度と水深の散布図.
図中の直線は、水深に等しい透明度を結ぶ線 (N=413)

地点毎に平均した透明度と水深の関係を図3に示した。水深が深く、透明度が安定して高い地点は、金武湾の湾口中央、名護湾の湾内の地点である。名護湾湾内は水深約50mの地点で、1985年から1989年にかけて衛生環境研究所が実施した4回の調査のSPSSは、最高が448kg/m³、平均で214kg/m³であった⁶⁾。

一方、分布から大きく外れていたのは、羽地内海北水路、那覇港入口、那覇港内である。1993年に沖縄県衛生環境研究所が実施した調査では、羽地内海北水路の2地点の平均で、SPSS 647kg/m³、赤土堆積深さ105cm、表層濁度0.2、海底濁度4.1、水平透明度3.5mであった⁶⁾。また、那覇港は、漫湖干潟の開口部に位置し、シルト分の多い泥質の供給を受けているとともに、生活廃水の影響も大きく、TN、TP値が高い。羽地内海北水路や那覇港入口および港内では、海水が常時濁っていると考えられる。一方、名護湾内では、赤土等が著しく堆積しているものの、水深が深いため、表層までは懸濁せず、透明度が高いと考えられる。

3. 透明度と底質の関係

次に、底質が水質項目に及ぼす影響について検討するため、底質のパラメーターとして、沖縄県が公共用水域水質調査で実施している底質中のCOD測定値(CODsed: (mg/g))を用いて解析を行った。CODsedの測定は、地点数、測定頻度とも少く、得られたデータセットは、10海域22地点であった。なお、CODsedは対数正規分布するため、常用対数に変換後、統計解析に用いた。

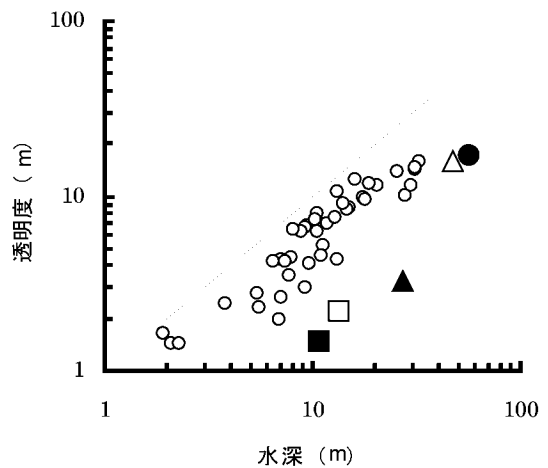


図3. 地点平均透明度と水深の散布図. (N=50)
●: 金武湾湾口中央, △: 名護湾湾内,
▲: 羽地内海北水路, □: 那覇港入口,
■: 那覇港内

IV 考察

図4に変数変換後の地点平均値の散布図行列を示し、表4に変数間の Pearson 相関係数クロス表を示した。

透視度と CODsed 間の相関係数は、 -0.558 ($P<0.01$) と中程度の負の相関が認められ、CODsed と TP 間に 0.738 ($P<0.01$) の強い正の相関が認められた。

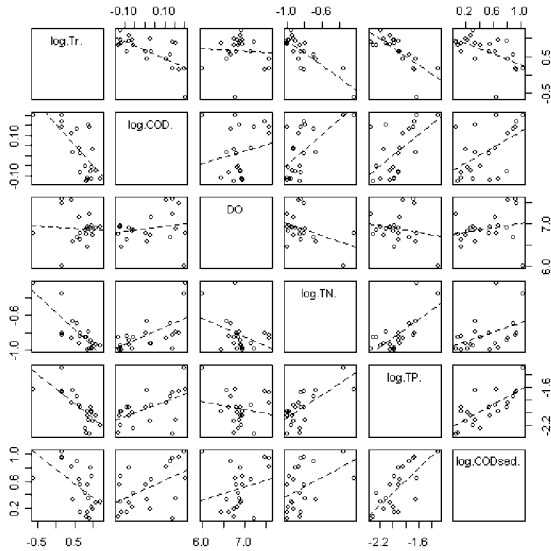


図4. 地点平均値の散布図行列とヒストグラム。
 log.Tr. : 地点平均透視度(m)の常用対数,
 log.COD. : 地点平均 COD(mg/L)の常用対数,
 DO : 地点平均 DO (mg/L),
 log.TN. : 地点平均 TN(mg/L)の常用対数,
 log.TP. : 地点平均 TP(mg/L)の常用対数,
 log.CODsed. : 地点平均底質中 COD(mg/g)の常用対数. (N=22)

表4. 地点平均値の Pearson 相関係数クロス表.

log.Tr. : 地点平均透視度(m)の常用対数, log.COD. : 地点平均 COD(mg/L)の常用対数,
 DO : 地点平均 DO (mg/L), log.TN. : 地点平均 TN(mg/L)の常用対数,
 log.TP. : 地点平均 TP(mg/L)の常用対数, log.CODsed. : 地点平均底質中 COD(mg/g)の常用対数.
 (N=22)

	log.Tr.	log.COD	DO	log.TN.	log.TP.
log.COD.	-0.701**				
DO	-0.062	0.187			
log.TN.	-0.823**	0.628**	-0.393		
log.TP.	-0.741**	0.554**	-0.189	0.700**	
log.CODsed	-0.558**	0.514*	0.230	0.434*	0.738**

*危険率 5%で有意 **危険率 1%で有意.

1. 透明度と水質の関係

透明度は、水中の懸濁粒子の量を概略的に表し、海水の濁りの程度を示す指標となる。懸濁粒子には、植物プランクトンのほか、土壌粒子等の濁質が含まれる。また、CODは海水中の易分解性有機物指標であり、一般に植物プランクトンの増殖、土壌粒子由来の濁り（土粒子は有機物を含む）等々を評価する。しかし、透明度や COD から濁質の有機・無機を区分することは困難である。

日本では、海域の富栄養化の指標として、水利用目的毎に全窒素および全リンの環境基準値が設定されているが、基準設定に際して、これらの水質項目とクロロフィル a 濃度、CODのほか、透明度との相関関係が用いられている⁷⁾。特に、利用目的の中で、「自然環境保全」や「水浴」については、既存の対象海域の平均的透明度を目標に全窒素および全リンの基準値が設定されている。「自然環境保全」における水質基準では、日本において透明度が十分に維持されている水域としての海中公園地区の清澄な水質を確保するためには 10m 程度以上の透明度を目標とすることが適当であるとした。その海中公園地域の水質を表5に示した。表5の各項目の平均値と表1のデータセットの水質統計値とを比較すると、TN, TP, CODともにはほぼ同じ濃度であるが、透明度に大きな差が見られ、海中公園地域の 13m に対し、水質測定結果 D.B. のデータセットでは、4.5m とかなり低い値を示している。この相違は、水質測定結果 D.B. のデータセットのうち、水深が浅く、透明度が低いデータの全体に占める割合が多く、透明度の平均が押し下げられていることも影響していると考えられる。しかし、表6に示したように、水質測定結果 D.B. のデータセットの水深範囲を海中公

表 5. 海中公園地域の水質⁷⁾.

項目	最小	最大	平均値	データ数
透明度 (m)	7	20	13	54
COD (mg/L)	0.5	2.2	1.0	48
TN (mg/L)	0.07	0.24	0.16	16
TP (mg/L)	0.010	0.024	0.015	16

表 6. データセットの水質統計値. (N=232)

項目	最小	最大	平均値	中央値
透明度 (m)	7	20	4.9	5.0
COD (mg/L)	0.6	2.3	1.1	1.0
TN (mg/L)	0.05	1.612	0.16	0.148
TP (mg/L)	0.003	0.265	0.013	0.012

園地域と同じ範囲に限って水質項目の統計値を算出してみても、やはり透明度に2倍以上の大きな差が認められる。このことは、東京湾や大阪湾、伊勢湾等、本土の閉鎖性海域とサンゴ礁海域では、透明度を規定する濁質の構成が明らかに異なることを示唆している。透明度と水質項目の重回帰分析の結果、透明度の53%の部分が、COD, TN, TPで説明できなかったのは、そのためであろう。

2. 透明度と水深の関係

大見謝ら⁴⁾は、平常時におけるサンゴ礁海域の水平透明度と濁度、底質中懸濁物質含量 (Suspended Particle of Sea Sediment: SPSS) との関係进行调查し、国頭マージ影響海域6地点における水平透明度の年間平均値の逆数とSPSSの年間平均値の間に相関があることを報告している。同様に、鳥取ら⁵⁾は、石垣島周辺サンゴ礁海域において、海水濁度とSPSSとの有意な相関関係を認めている。これらの研究は、沖縄のサンゴ礁海域における海水の濁りが、底質中微細土粒子等の濁質の再懸濁による影響を強く受けているという仮定を支持している。

水深が浅く、沿岸よりの地点では、平常時においても波や海水の流れの力で、底質の懸濁が起りやすいことは容易に想像できる。また、大見謝ら⁷⁾は、水深の深いところに赤土等が堆積すると、海底近くで透明度が低いことを報告している。今回解析した透明度と水深の関係からも、SPSSが高い地点において、水深の差が、透明度に影響していることが示唆された。このようなことか

ら、底質中濁質の懸濁が透明度に及ぼす影響を検討する際、平常時では、懸濁物質の量と水深が重要なパラメータになると推察される。

3. 透明度と底質の関係

透視度とCODsed間の強い相関は得られなかったがCODsedとTP間に強い正の相関が認められたことから、海水のTPが底質からの供給に起因していることが示唆された。通常、閉鎖性海域では、COD濃度の増加は、植物プランクトンの大量増殖による有機物濃度の増加に起因するとされているが、沖縄の海域では、陸域からの土壌流出等による影響を検討しなければならないだろう。

比嘉ら⁸⁾は、沖縄島の河川河口から海域へ流出するSSや、窒素、リンを広範囲に測定し、TPの約70%が土壌粒子や有機物等に吸着した状態で流出することを明らかにしている。河口から海域に流出した土壌粒子等は、やがて河口付近の海底に堆積するが、土壌粒子に吸着したりんの海域への溶出等の挙動については明らかではなく、今後研究を進める必要がある。

V まとめ

沖縄県下公共用水域水質測定結果をデータベース化し、透明度と透明度に影響を及ぼすと考えられる水質項目等との関連について検討した。

1. 重回帰分析の結果、透明度への貢献度はCODが最も高かったが、CODを含む水質項目では、透明度の大部分を説明することができず、透明度を規定する要因が他に あることが示唆された。
2. 平常時では、底質の懸濁物質と水深が透明度を規定している可能性がある。
3. CODsedとTP間に強い正の相関が認められ、海水のTPが底質からの供給に起因していることが示唆された。
4. サンゴ礁の水深の浅い海域における水質モニタリングは、水平方向の透明度や濁度の計測が、海水の清澄さを示す指標として適していると考えられる。

VI 参考文献

- 1) 大見謝辰男 (2004) サンゴ礁における水質環境指針値設定のための調査研究. 亜熱帯研究プロジェクトの可能性調査及び開発, 財団法人亜熱帯総合研究所, pp.10-12.
- 2) 中野義勝 (2002) 造礁サンゴの環境負荷への生理生態的反応に関わる研究の概観, 日本におけるサンゴ礁研究 I, 日本サンゴ礁学会, pp.43-49.
- 3) 山里清 (1991) サンゴの生物学, 東京大学出版, p124.

- 4) 大見謝辰男 (2001) サンゴ礁における濁度・水平透明度・SPSS 測定値の関係について. 沖縄県衛生環境研究所報,35 : 103-109.
- 5) 鳥取海峰・長尾正之・森本直子・井上麻夕里・岩瀬晃啓・澁野拓郎・藤岡義三・大葉英雄・菅浩伸・鈴木淳 (2004) .琉球列島の石垣島周辺のサンゴ礁における底質と海水濁度の関係,日本サンゴ礁学会誌 6 : 1-19.
- 6) 赤土等の流出に関するデータベース CD-ROM 平成11年度環境庁委託, 沖縄県文化環境部環境保全室赤土対策班・沖縄県衛生環境研究所赤土研究室
- 7) (社)日本水環境学会 (2000) 日本の水環境行政, ぎょうせい.
- 8) 比嘉榮三郎・仲宗根一哉・大見謝辰男・満本裕彰 (2001) 沖縄島の河川河口から海域へのSS及び栄養塩の流出,沖縄県衛生環境研究所報,35 : 111-120.
- 9) 大見謝辰男・満本裕彰・花城可英・比嘉榮三郎 (1997) 金武湾の赤土堆積調査(第2報), 沖縄県衛生環境研究所報,31 : 153-157.