

和歌山県沿岸海域における透明度の月変化および年変化

陶山公彦・安江尚孝

和歌山県水産試験場

Monthly and yearly changes of transparency in the coastal waters of Wakayama prefecture

Kimihiko Suyama and Naotaka Yasue

Wakayama Prefectural Fisheries Experiment Station

緒言

和歌山県の漁業生産量は海面漁業生産統計調査によると、1970年代は約6~7万tであり、1986年に約8万tの最高値を示した。しかしながら、1990年代は約5~7万t、2010年代は約2~3万tとなっており、漁獲量は長期的に見て減少傾向である（独立行政法人統計センター）。

和歌山県沿岸において、透明度は和歌山県水産試験場の定線観測の中で長期間にわたって測定されてきた。長田（1996）は日本周辺海域において、透明度とクロロフィルa量との間には負の関係があり、透明度からクロロフィルa量を推定できることを報告した。また、長田・小川（1997）は、透明度と漁獲量との間には負の関係があり、透明度は海域の漁業生産を表すよい指標であることを報告した。このように、透明度の長期変化を明らかにすることは、漁業資源の変動要因を明らかにする上で必要な情報の一つである。清本ら（2008）は有明海において、透明度が影響を受ける要因は季節によって異なり、透明度は海域の浮遊物質量や河川水の影響を受けると推察している。透明度が影響を受ける要因は海域や季節によって異なるが、透明度の変化は水質の変化を総合的に反映していると考えられる。

これまで、徳島県沿岸（石田・上田、2008）、紀伊水道から海部沿岸（鎌田ら、2009）で透明度の年変化が報告されている。これらの研究では、透明度は総じて上昇傾向であることが示されている。しかしながら、和歌山県沿岸における透明度の長期変化に関してはほとんど研究されておらず、その変化要因もよくわかっていない。

本研究では、和歌山県沿岸における透明度の月変化と長期的な年変化を明らかにした。また、和歌山県沿岸の海洋環境は黒潮の流路変動と関係が強いと考えられることから（竹内、2005）、黒潮の流路変動と透明度との関係を調べた。

材料および方法

1. 透明度の測定

透明度のデータは、和歌山県水産試験場が1962年1月から2018年12月までに、和歌山県沿岸で行った海洋観測調査から得た（図1）。ただし1962年1月から1971年12月までの間は熊野灘の9定点のみ海洋観測調査

を行った。この調査では、月1回、日中に漁業調査船を用いて透明度を測定した。透明度は、直径30 cmの白色円板をロープで海中に降下させ、これが見えなくなる限界の海面からのロープ長 (m) で表した。

2. 使用したデータとデータの解析方法

竹内 (2005) は地形や大陸棚の発達状況、黒潮の流路や黒潮内側域の海況の違いによって、紀伊半島周辺の漁場を3つの海域に区分した。本研究では竹内 (2005) に準じて、観測定点を日ノ御崎と蒲生田岬を結ぶ線を含む北側 (15 定点)、同線から潮岬より西側 (18 定点)、潮岬より東側 (9 定点) の3海域に区分し、それぞれ内域、外域、熊野灘と定義した (図1)。

各月の透明度は、各海域内で、各月において全定点のうちの半数以上の定点で観測が行われた場合を採用し、そのデータの平均値とした。採用したデータ月数は、内域が542 (1972年1月～2018年12月)、外域が547 (1972年1月～2018年12月)、熊野灘が649 (1962年1月～2018年12月) であった。

透明度の年変化を調べる場合においては、季節の違いが透明度に及ぼす影響を軽減するため、13カ月移動平均値 (データの欠測した月を含めた、当該月と前後6カ月のデータの平均値) を用いた。13カ月移動平均後のデータ数は、内域と外域が552、熊野灘672であった。

黒潮流路の変動が透明度に及ぼす影響を調べるため、串本と浦神の潮位差 (串本の潮位から浦神の潮位を引いた値。以下、潮位差) (藤田, 2001) と透明度との関係を調べた。潮位差は黒潮の流路をモニターするうえで有効であり、潮位差が大きいときは、潮岬から黒潮北縁までの距離が近い傾向がある (竹内, 2005)。潮位差データは、気象庁 (2020) が公表しているものを用いた。欠測月を除いたデータ月数は644 (1962年1月～2018年12月) であった。潮位差についても、季節の違いが潮位差に及ぼす影響を軽減するため、13カ月移動平均値を用いた。13カ月移動平均後のデータ数は672であった。

透明度の月変化においては、3海域間で透明度に差があるかどうかを検査するため、クラスカル・ウォリス検定を行った。また、2海域間での透明度の関係を検討するため、ピアソンの相関分析を行った。一方、透明度の年変化においては、各海域の増減を検査するため、回帰分析を行った。また、潮位差と各海域の透明度との関係を検討するため、ピアソンの相関分析を行った。

結 果

1. 透明度の月変化

図2に内域、外域および熊野灘の透明度の月変化を示す。内域の透明度 (平均 ± 標準偏差) は 8.8 ± 2.8 m (7月) ～ 10.4 ± 2.8 m (6月)、外域は 14.9 ± 1.8 m (4月) ～ 20.6 ± 1.8 m (1月)、熊野灘は 14.2 ± 3.6 m (4月) ～ 21.8 ± 2.8 m (1月) の範囲で変化した。透明度は3海域間で異なっており (クラスカル・ウォリス検定, $\chi^2 = 23.4$, $df = 2$, $p < 0.001$)、内域の透明度は外域および熊野灘と比較して低かった。

透明度の月変化 (平均値) は、内域と外域 (相関分析, $r = -0.272$, $n = 12$, $p = 0.393$) および内域と熊野灘 (相関分析, $r = -0.197$, $n = 12$, $p = 0.539$) では異なっていたが、外域と熊野灘 (相関分析, $r = 0.978$, $n = 12$, $p < 0.001$) の月変化は類似していた。内域の透明度は7月と9月に低くなる傾向があったが、明確なピークは見られなかった。一方、外域と熊野灘では、年変化はあるものの、1～2月に高くなり、4～5月に低

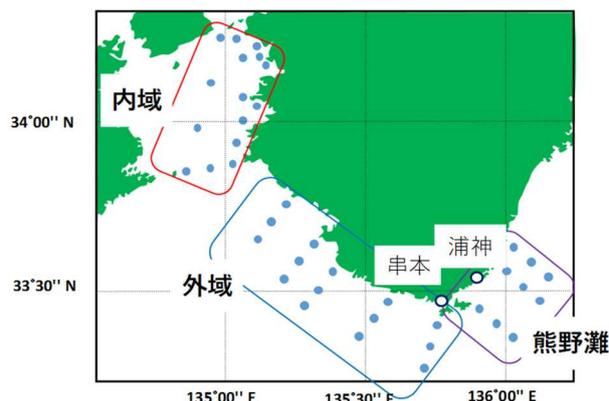


図1 和歌山県沿岸における海洋観測調査の定点図

くなるという月変化を示した。

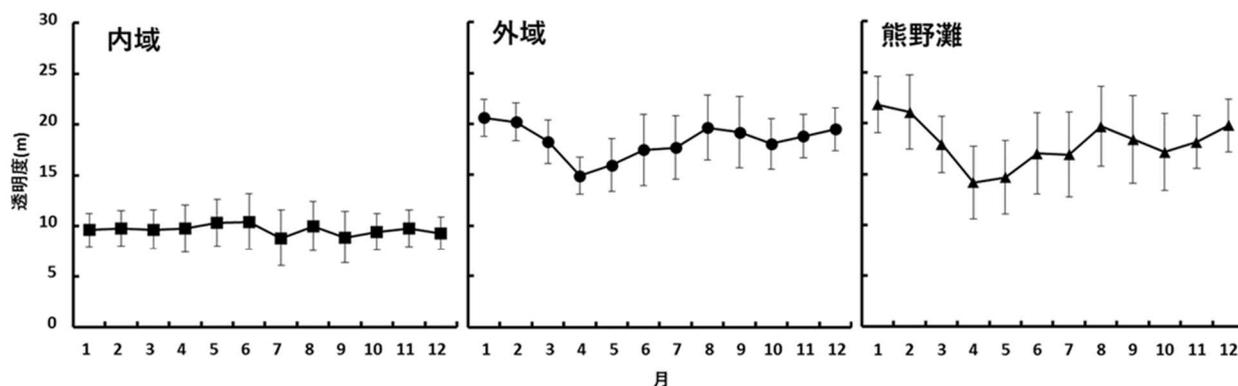


図2 内域、外域および熊野灘における透明度の月変化
※点は平均値、バーは標準偏差を示す

3. 透明度の年変化

図3に内域、外域および熊野灘の透明度の年変化を示す。内域の透明度は長期的には上昇しており（回帰分析, $y = 0.00159x + 9.05$, $r = 0.235$, $n = 552$, $p < 0.001$ ），回帰式から計算すると、透明度は1972年7月～2018年6月で約0.9 m上昇した。

一方、外域の透明度は長期的には下降しており（回帰分析, $y = -0.00084x + 18.72$, $r = 0.107$, $n = 552$, $p < 0.001$ ），透明度は1972年7月～2018年6月で約0.5 m下降した。また、熊野灘の透明度も長期的には下降しており（回帰分析, $y = -0.00156x + 18.48$, $r = 0.149$, $n = 672$, $p < 0.001$ ），透明度は1962年7月～2018年6月で約1.0 m下降した。

4. 潮位差と各海域の透明度との関係

図4に潮位差の年変化を示す。潮位差（月平均値）は-0.3 cm（1972年10月）～36.1 cm（1989年9月）の範囲で変化した。

潮位差と透明度との関係を図5に示す。内域においては、潮位差と透明度との間には有意な関係は認められなかった（相関分析, $r = -0.024$, $n = 552$, $p = 0.562$ ）。外域においては、潮位差が大きいほど透明度は高くなった（相関分析, $r = 0.285$, $n = 552$, $p < 0.001$ ）。

一方、熊野灘においては、潮位差が大きいほど透明度は低くなった（相関分析, $r = -0.555$, $n = 672$, $p < 0.001$ ）。

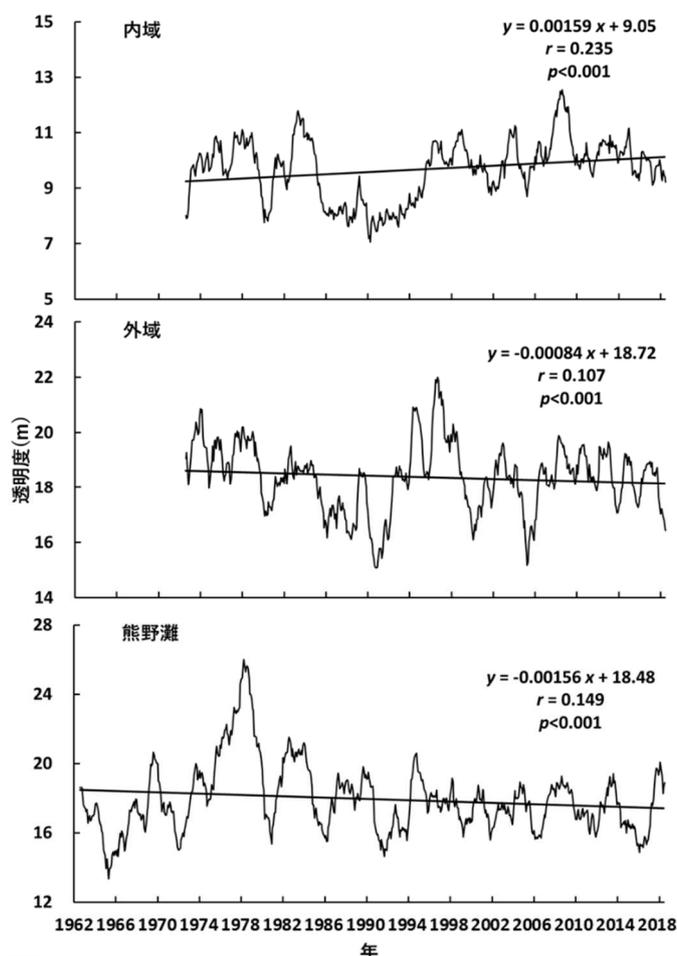


図3 内域、外域および熊野灘における透明度の年変化

考 察

本研究では、42の観測定点を地理的条件に基づいて3海域に区分してデータ解析を行った。しかしながら、例えば、紀の川河口付近と紀伊水道中央部では河川水の流入による影響は異なる(鎌田ら, 2009)。すなわち、本研究の結果は、海域ごとに透明度の平均的な特徴を明らかにしたものである。

外域および熊野灘の透明度の月変化は類似しており、透明度は冬季に高くなり、春季に低下するという季節変化があった。冬季は水温の低下によって植物プランクトンの増殖が抑えられ透明度が上昇するが、春季は春季ブルームによる植物プランクトンの増加によって透明度が下降すると考えられる。一方、内域の透明度は外域および熊野灘と比較するとすべての月で低く、季節変化は小さかった。内域で漁獲されたイワシ類の窒素安定同位体比($\delta^{15}\text{N}$)は外域と比較して高く、内域は河川由来の栄養塩により強く依存する生態系であると考えられている(Yasue *et al.*, 2014)。透明度が低下する時期(7, 9月)は、梅雨や台風による降雨量の増加の時期と概ね一致した。内域では、河川に由来する栄養塩・懸濁物等の恒常的な流入の影響が透明度の月変化に強く影響したと考えられる。

瀬戸内海全域においては、1973年に瀬戸内海環境保全臨時措置法が制定されて以後、海水中の栄養塩濃度の低下が進み、養殖ノリの色落ちや漁獲量の減少が続いていることから、海域の生産力の低下が懸念されてきた(反田ら, 2014)。栄養塩濃度の低下については、陸域負荷削減が大きく影響しているが、底泥や外海からの供給量低下や近年の全天日射量の増加も栄養塩濃度の低下に影響を及ぼしていると考えられている(阿保ら, 2018)。

本研究において、長期的な観点では、内域の透明度は約0.9 m (9.1%) 上昇していた。このことは海水がより透明化していることを示しており、海域の生産力の低下と関係がある可能性がある。なお、潮位差の大小(黒潮の流路変動)が内域の透明度に及ぼす影響は検出できなかった。

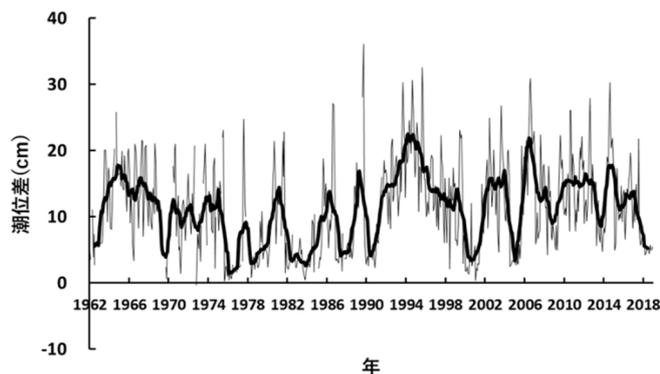


図4 串本と浦神の潮位差(串本の潮位から浦神の潮位を引いた値)の年変化
細線は月平均値、太線は13カ月移動平均値を示す

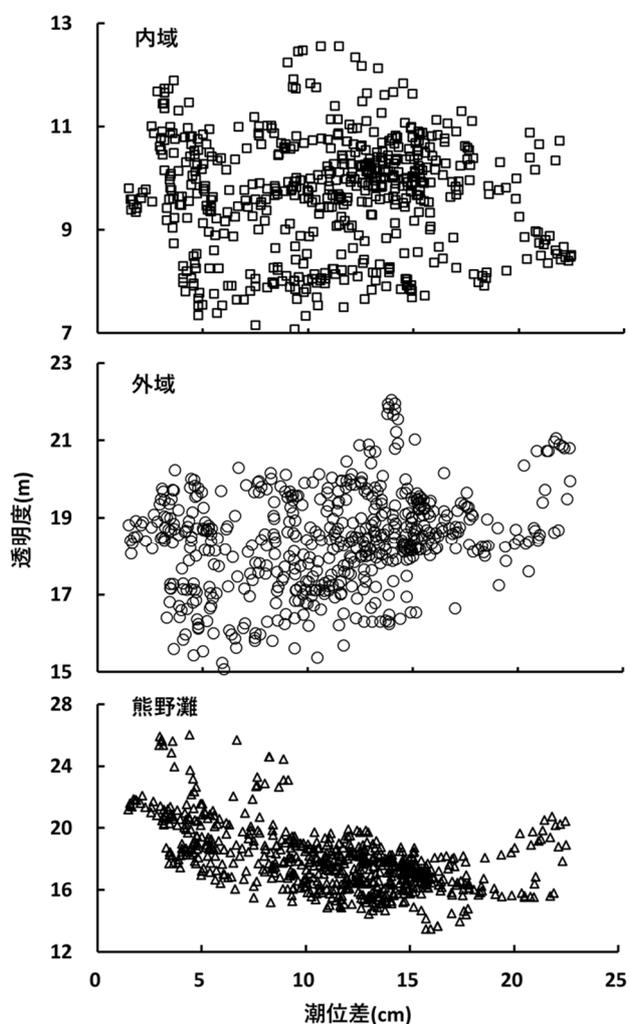


図5 串本と浦神の潮位差と透明度との関係

外域の透明度は長期的には約 0.5 m (2.5%), 熊野灘の透明度は約 1.0 m (5.8%) 下降していた。外域では、潮位差と透明度との間には有意な正の相関があり、潮位差が大きいときに透明度が高くなったが、熊野灘では外域と逆の関係があった。外域では、黒潮直進時に透明度が相対的に高いと考えられる黒潮系暖水が侵入する傾向があり、一方で、熊野灘では黒潮蛇行時に黒潮系暖水が侵入する傾向がある(竹内, 2005)。近年、黒潮は直進流路をとることが多かったことが、熊野灘での透明度の長期的な下降を引き起こしたと考えられる。外域においては、透明度が下降していたにもかかわらず、潮位差と透明度との間に有意な正の相関があったが、その関係は熊野灘と比較すると小さかった。外域における透明度の長期的な変化には、黒潮の流路変動以外の要因も関係した可能性がある。

本研究では、透明度の変化は水質の変化を総合的に表したものと考えた。今後の課題として、栄養塩濃度やクロロフィル *a* 量などのデータ解析を行い、3 海域の海洋環境の年変化を詳細に明らかにすることがあげられる。

摘 要

本研究では、和歌山県沿岸(内域、外域、熊野灘)における透明度の月変化と長期的な年変化を明らかにするとともに、潮位差(黒潮の流路変動)と透明度との関係を調べた。

1. 内域の透明度は外域および熊野灘と比較して、すべての月で低かった。
2. 内域の透明度は1972年7月～2018年6月で約0.9 m上昇した。一方、外域の透明度は同期間で約0.5 m下降し、熊野灘の透明度は1962年7月～2018年6月で約1.1 m下降した。
3. 内域では潮位差の大小(黒潮の流路変動)と透明度との間には有意な関係は認められなかったが、外域では潮位差が大きい時に透明度は高く、熊野灘では潮位差が小さい時に透明度は高かった。

引用文献

- 阿保勝之・秋山 諭・原田和弘・中地良樹・林 浩志・村田憲一・和西昭仁・石川陽子・益井敏光・西川 智・山田京平・野田 誠・徳光俊二. 2018. 瀬戸内海における栄養塩濃度等の水質変化とその要因. 沿岸海洋研究. 55 : 101-111.
- 独立行政法人統計センター. 政府統計の総合窓口 e-start 海面漁業生産統計調査 長期累計. <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalistsearch/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500216&tstat=000001015174&cycle=0&tclass=000001034726> (2020年12月17日閲覧)
- 藤田弘一. 2001. 日本南岸の黒潮流路の変動と串本・浦神の潮位差との関連に関する研究. 三重県科学技術振興センター水産研究部研究報告. 10 : 1-50.
- 石田鉄兵・上田幸男. 2008. 徳島県海域の透明度の長期変動について～透明度から海の変化をみる～. 黒潮の資源海洋研究. 9 : 45-52.
- 鎌田信一郎・吉村晃一・上田幸男. 2009. 紀伊水道における透明度の長期変動Ⅱ徳島・和歌山両県観測データを用いた統合解析. 黒潮の資源海洋研究. 10 : 15-26.
- 気象庁. 2020. 海洋の健康診断表 黒潮の数か月から十年規模の変動(流路). http://www.data.jma.go.jp/gm/d/kaiyou/data/shindan/b_2/kuroshio_stream/kuroshio_stream.html (2020年12月17日閲覧)
- 清本容子・山田一来・中田英昭・石坂丞二・田中勝久・岡村和麿・熊谷 香・梅田智樹・木野世紀. 2008. 有明海における透明度の長期的上昇傾向及び赤潮発生との関連. 海の研究. 17 : 337-356.

- 長田 宏. 1996. 日本周辺海域におけるクロロフィル *a* 量と透明度との関係. 日本海区水産研究所研究報告. 46 : 25-43.
- 長田 宏・小川嘉彦. 1997. 日本周辺海域における漁業生産量と海域の基礎生産量の指標としての透明度との関係. 日本海区水産研究所研究報告. 47 : 23-32.
- 竹内淳一. 2005. 紀伊半島周辺の海洋構造と変動および漁業への影響. 和歌山県農林水産総合技術センター特別研究報告. 8 : 1-123.
- 反田 實・赤繁 悟・有山啓之・山野井英夫・木村 博・團 昭紀・坂本 久・佐伯康明・石田祐幸・壽 久文・山田卓郎. 2014. 瀬戸内海の栄養塩環境と漁業. 水産技術. 7 : 37-46.
- Yasue, N. Doiuchi, R. Takasuka, A. 2014. Trophodynamic similarities of three sympatric clupeoid species throughout their life histories in the Kii Channel as revealed by stable isotope approach. ICES Journal of Marine Science. 71: 44-55.