

青森県周辺海域の透明度

佐藤 晋一

青森県水産総合研究センター 〒038-2761 西津軽郡鰺ヶ沢町大字舞戸字鳴戸 384-37
E-mail:shinichi_sato@ags.pref.aomori.jp

キーワード：透明度、季節変化、経年変化

Transparency of the waters surrounding Aomori Prefecture

Shinichi SATO

Abstract: I examined transparency data for the waters around Aomori Prefecture collected from April 1929. In the Japan Sea, transparency was minimal from April to May and maximal from August to September. The minimal value appeared to result from the spring bloom. In the Pacific Ocean, transparency was minimal from April to June, and this appeared to be related to the spring bloom.

I looked at the annual low in both the minimum and maximum periods. In the region of the Pacific Ocean affected by the Tsugaru Warm Current, transparency was low in both the minimum and maximum periods. A periodicity of 1 to 7 years was found in the chronological data. An examination of the regime shift showed that the shift was greatest in the 1940s. The correlation between chlorophyll a during the bloom and transparency was approximately -0.6.

透明度は海洋表層の平均的な海水の濁りの指標であり、白昼に透明度板という直径30センチの白色の平らな円盤を水平に水中に降ろし、上から見てこれがちょうど見えなくなる限界の深さをメートルで表すものである。当センターでは1910年代から海洋観測を継続しているが、透明度のデータについてはほとんど利用されていないのが現状である。ここでは、透明度のデータを整理し、若干の考察を行ったので報告する。

沖の日本海及び太平洋のデータを整理した。

結 果

1929年4月から2003年12月までに本県沖合域で観測された透明度のデータは9,445件（日本海側4,850件、太平洋側4,595件）であった（表1）。水平的な広がりには日本海側で北緯40度00分から41度51分、東経135度19分から140度20分、太平洋側で北緯38度57分から43度00分、東経141度27分から

材料及び方法

海洋観測は1916年（大正5年）7月に始められたが、透明度のデータは1929年4月に日本海側で観測されたものが最も古い記録であった。資料としては海洋調査要報（水産庁 44号-1929年前期から74号-1950年）、青森県水産試験場事業報告（青森水試 1929年から2003年）、海洋観測資料（水産庁 1963年から1985年）及び定線観測結果表（青森水試 1986年から2003年）を用い、本県

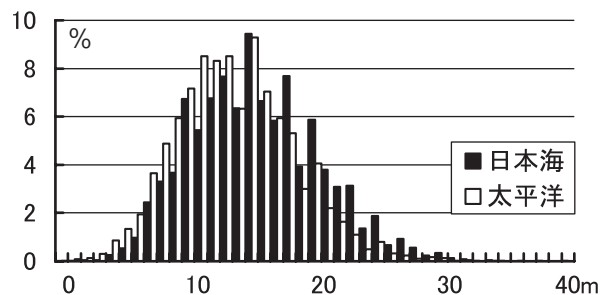


図1 観測された透明度の度数分布
データ数 日本海 4,850 太平洋 4,595

表1 海域別、年別データ数

	日本海	太平洋	計		日本海	太平洋	計
1929	7	28	35	1967	91	150	241
1930	2	32	34	1968		160	160
1931	1	30	31	1969		189	189
1932	17	55	72	1970		150	150
1933	19	59	78	1971	79	129	208
1934		99	99	1972	75	124	199
1935	20	183	203	1973	70	116	186
1936	43	124	167	1974	83	121	204
1937	63	121	184	1975	80	139	219
1938	44	78	122	1976	69	86	155
1939	65	78	143	1977	63	75	138
1940	60	43	103	1978	58	47	105
1941	17	55	72	1979	56	42	98
1942		6	6	1980	55	54	109
1943			0	1981	75	56	131
1944			0	1982	118	53	171
1945			0	1983	112	54	166
1946			0	1984	117	89	206
1947			0	1985	115	58	173
1948			0	1986	125	40	165
1949	18	29	47	1987	127	48	175
1950	148	14	162	1988	114	43	157
1951			0	1989	126	55	181
1952			0	1990	119	85	204
1953	60		60	1991	117	52	169
1954	100		100	1992	106	54	160
1955	80		80	1993	134	48	182
1956	47		47	1994	133	58	191
1957	60	18	78	1995	95	56	151
1958	43	30	73	1996	73	34	107
1959	125	27	152	1997	92	65	157
1960	122	55	177	1998	93	59	152
1961	70	47	117	1999	101	60	161
1962	62	78	140	2000	94	69	163
1963	76	36	112	2001	96	65	161
1964	74	127	201	2002	113	75	188
1965	66	101	167	2003	89	55	144
1966	78	129	207	総計	4,850	4,595	9,445

164度49分であった。また、透明度の範囲は日本海側で1から40m（平均13.6m）、太平洋側で1から36m（平均15.5m）となっていた（図1）。

(1) 季節変動

日本海側では多くのデータが北緯40度35分線（舳作線）及び北緯41度線（十三線）に沿ったかたちでとられていた。北緯40度35分線では東経139度52分から138度20分まで2,747個のデータがあり、比較的まとまった12ヶ所について月平均値を算出した。その結果、透明度が極小となるのは5月で、極大となるのは8月であった（図2、図7）。

北緯41度線では東経140度16分から138度19分まで1,550個のデータがあり、比較的まとまった12ヶ所について月平均値を算出した。その結果、透明度が極小となるのは4月で、極大となるのは8月

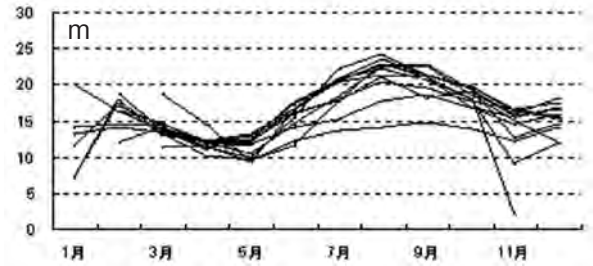


図2 透明度の月平均値
（日本海 北緯40度35分 12地点分）
※図2～6の各線は各地点ごとの月平均値を示す

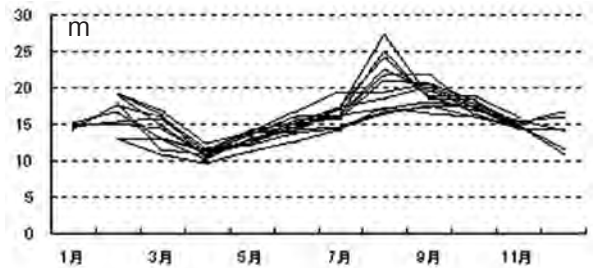


図3 透明度の月平均値
（日本海 北緯41度 12地点分）

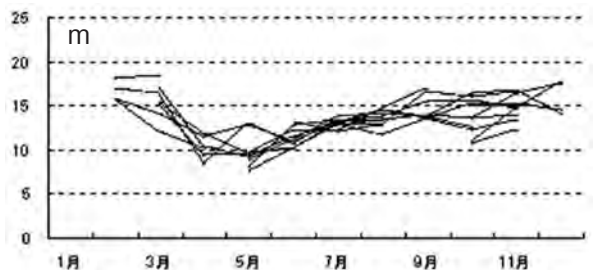


図4 透明度の月平均値
（太平洋 北緯41度25分 13地点分）

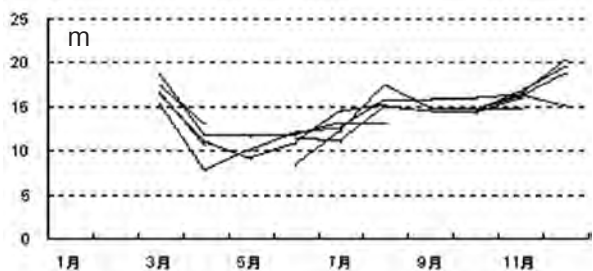


図5 透明度の月平均値
（太平洋 北緯41度 6地点分）

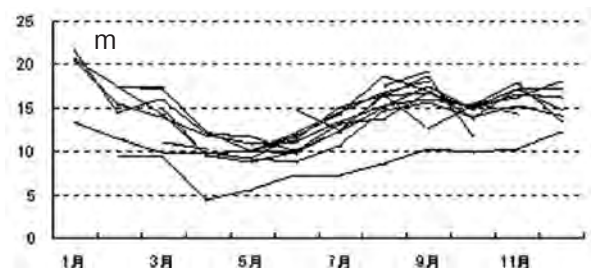


図6 透明度の月平均値
（太平洋 北緯40度30分 15地点分）

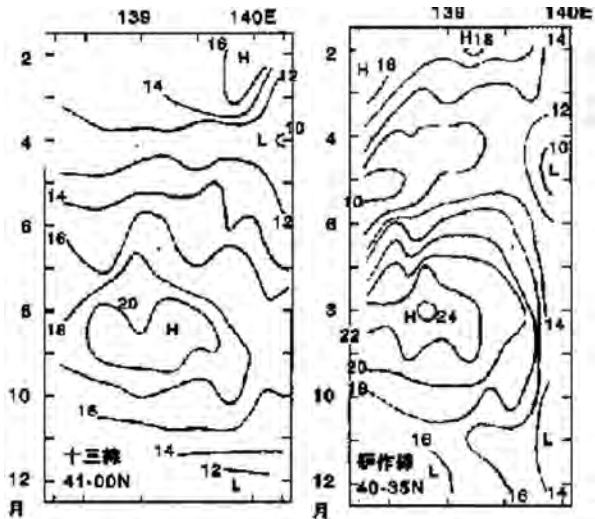


図7 各観測ラインごとの月平均透明度の季節変化（日本海側）

から9月であった（図3、図7）。

日本海側では極小となるのは4月から5月（平均値の範囲は9.4～12.3m）及び沿岸側の11～12月（平均値の範囲は11.0～16.5m）であった。極大は8月から9月（平均値の範囲は14.7～24.1m）及び2月（平均値の範囲は16.7～18.8m）で、8～9月は東経139度付近に中心がみられた。船作線（北緯40度35分）と十三線（北緯41度00分）の南北差はほとんどみられなかった。

太平洋側では多くのデータが北緯41度25分線（尻屋線）、北緯41度00分線（出戸線）及び北緯40度30分線（鮫角線）に沿ったかたちでとられていた。北緯41度25分線では東経141度34分から145度20分まで1,110個のデータがあり、比較的まとまった13ヶ所について月平均値を算出した。その結果、透明度が極小となるのは4月から6月で、極大となるのは9月から2月であった（図4、図8）。

北緯41度線では東経141度30分から144度20分まで485個のデータがあり、比較的まとまった6ヶ所について月平均値を算出した。その結果、透明度が極小となるのは4月から6月で、極大となるのは12月及び3月であった（図5、図8）。

北緯40度30分線では東経141度35分から145度30分まで1,745個のデータがあり、比較的まとまった15ヶ所について月平均値を算出した。その結果、透明度が極小となるのは4月から6月で、極大

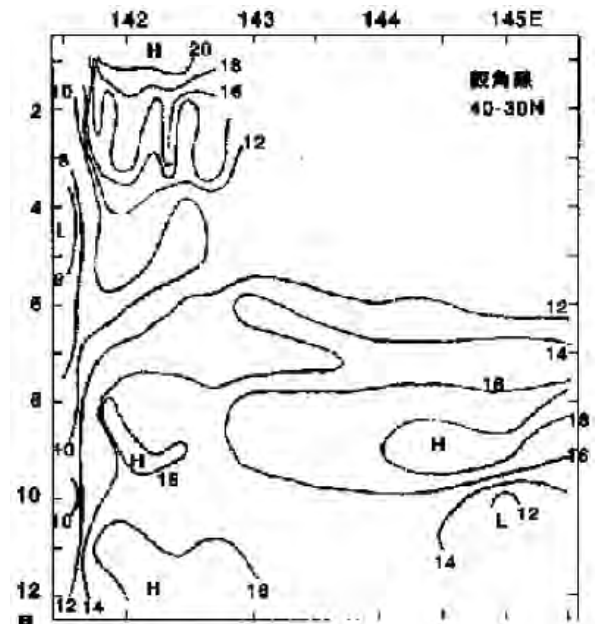
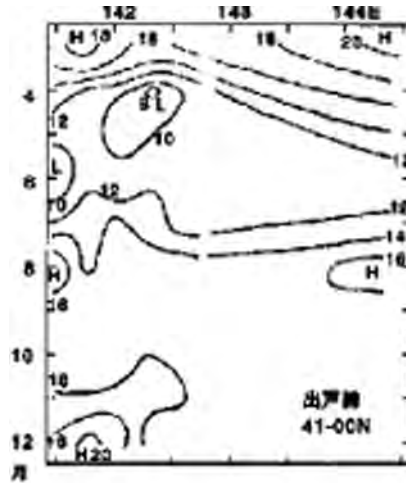
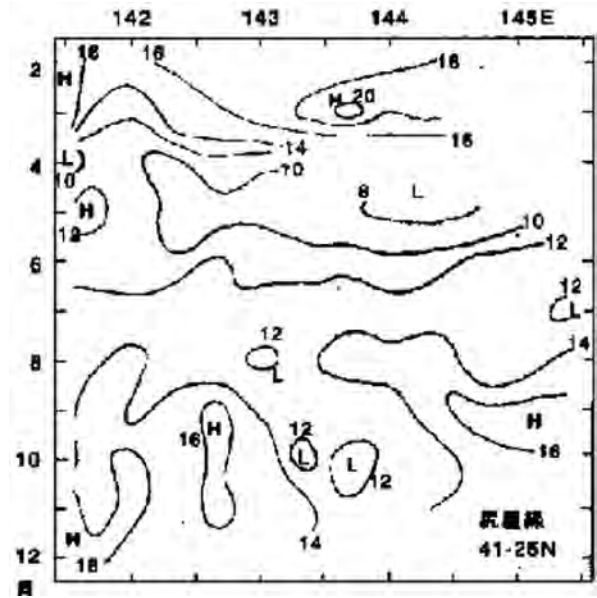


図8 各観測ラインごとの月平均透明度の季節変化（太平洋側）

となるのは8月から9月及び12月から2月であった(図6、図8)。

太平洋側では極小となるのは4月から6月(平均値の範囲は4.4~13.0m)であった。鯨角線では141度30分以西のごく沿岸部で周年低い値(平均値の範囲は4.4~11.3m)を示していた。極大は2~3月、8~9月及び11~12月にみられた。2~3月はごく沿岸側(平均値の範囲は17.4~21.8m)及び143度30分から144度30分(平均値の範囲は17.1~20.8m)が中心となっていた。8~9月は142度(平均値の範囲は16.1~17.3m)及び144度30分から145度(平均値の範囲は16.2~19.2m)が中心となっていた。また、11月から12月は141度30分から143度(平均値の範囲は16.0~20.3m)が中心となっていた。

尻屋線では2~3月に東経143度30分から144度30分で高く、鯨角線では11~3月に141度30分~143

度の沿岸側で高め、141度40分以西のごく沿岸部では周年低めとなっているのが特徴的であった。

(2) 一次式でみた経年変動

透明度の極小期と極大期について、観測地点別にデータ数、観測期間及び一次の長期変動傾向値をまとめて表2に示した。日本海は極小期として4~5月、極大期として8~9月、太平洋は極小期として4~6月、極大期として8~9月とした。

日本海の極小期のデータを使って傾向値を算出したところ、舳作線では-0.0139となり、透明度は低くなる傾向を示した(図9)。十三線でも-0.0231となり同様の傾向を示した(図10)。観測点ごとにみると、舳作線では全ての傾向値が負の値となり、東経138度40分から45分でその傾向が顕著であった。また、十三線でも傾向値に負の値がみられ、東経140度6分以東の沿岸側でその値

表2 観測地点別の長期変動傾向

○日本海(4~5月、極小期)

項目	データ数	期間	傾き
舳作線	839	1936.4~2003.5	-0.0139
138-59-139-00	84	1937.5~2003.5	-0.0065
139-38-139-40	99	1936.4~2003.5	-0.0272
139-44-45	85	1936.4~2003.5	-0.0217
139-49-51	85	1936.4~2003.5	-0.0165
十三線	372	1954.5~2003.5	-0.0231
139-39-40	43	1960.4~2003.5	0.0086
139-59-140-00	61	1960.4~2003.4	-0.0049
140-06-07	36	1971.4~2002.4	-0.0394

○日本海(8~9月、極大期)

項目	データ数	期間	傾き
舳作線	612	1935.8~2003.9	-0.0559
138-59-139-00	65	1937.9~2002.9	-0.0734
139-38-139-40	84	1935.8~2003.8	-0.0488
139-44-46	68	1935.8~2003.8	-0.0462
139-49-51	79	1935.8~2003.8	-0.0425
十三線	264	1959.9~2003.9	-0.0441
139-19-20	29	1959.9~2003.8	-0.1500
139-39-40	36	1959.9~2003.8	0.0122
139-57-140-00	44	1959.9~2003.9	0.0137

○太平洋(4~6月、極小期)

項目	データ数	期間	傾き
尻屋線	349	1957.6~2003.6	0.0260
141-34-35	33	1968.4~2003.6	-0.0103
141-39-42	41	1957.6~2003.6	-0.0282
141-59-142-02	36	1961.4~2002.6	0.0095
142-20	30	1962.4~1995.6	0.0384
142-59-143-02	30	1964.4~2003.6	0.0741
出戸線	154	1930.5~2003.6	0.0404
141-59-142-01	26	1969.6~2001.6	-0.0001
142-19-20	28	1970.5~2003.6	-0.0076
142-39-40	31	1960.4~2003.6	0.0038
鯨角線	676	1930.4~2003.6	-0.0078
141-35-37	53	1934.5~2003.6	0.0242
141-44-48	61	1934.5~2003.6	-0.0357
141-58-142-02	73	1930.4~2003.6	-0.0321
142-40-42	43	1930.4~2002.6	0.0076
143-59-144-00	39	1964.5~2003.6	0.0255

○太平洋(8~9月、極大期)

項目	データ数	期間	傾き
尻屋線	322	1933.8~2003.8	-0.0263
141-34-35	26	1968.8~2003.8	0.0129
141-39-42	28	1950.8~2003.8	-0.0629
142-59-143-02	28	1958.8~2002.8	0.0598
143-59-144-00	38	1964.9~2003.8	0.0219
出戸線	131	1932.8~2003.8	0.0055
142-19-20	24	1968.8~2003.8	-0.0577
142-39-40	30	1967.9~2003.8	-0.0126
鯨角線	620	1929.8~2003.8	-0.0168
141-35-37	43	1936.8~2003.8	0.0129
141-44-48	45	1934.8~2003.8	-0.0428
141-58-142-02	51	1929.8~2003.8	-0.0177
142-40-42	27	1929.8~2002.8	0.0379
143-59-144-00	26	1964.8~1999.8	-0.0247

※データ数の少ない地点、観測期間が短い地点や連続データがとられていない地点は削除した。

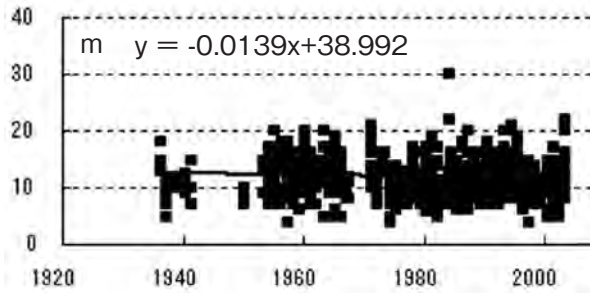


図9 透明度の経年変化（極小期・舳作線）

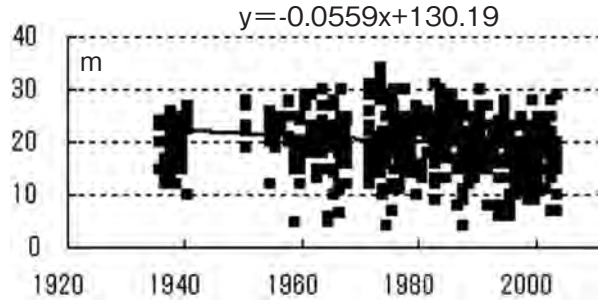


図11 透明度の経年変化（極大期・舳作線）

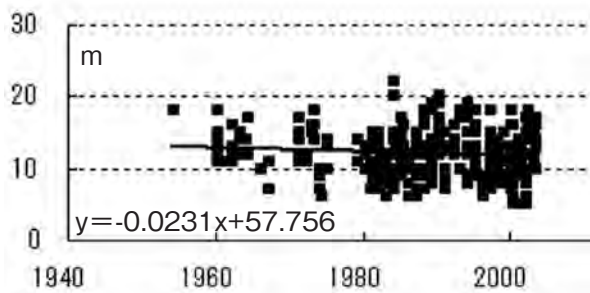


図10 透明度の経年変化（極小期・十三線）

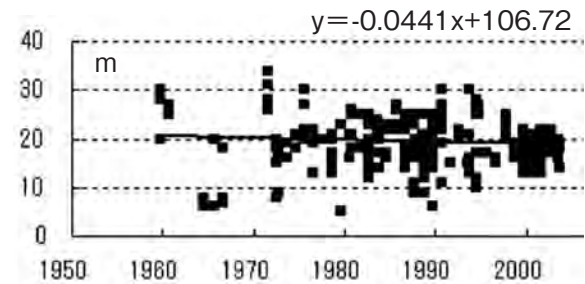


図12 透明度の経年変化（極大期・十三線）

が大きくなっていった。

また、極大期をみると、傾向値は舳作線で -0.0559 、十三線で -0.0441 となり、透明度のより強い低下傾向を示した（図11、12）。観測点ごとにみると、舳作線では全ての傾向値が負の値となり、沖側ほどその傾向が顕著であった。また、十三線でも傾向値に負の値がみられ、沖側ほどその傾向が顕著であった。

太平洋側では観測ラインごとの傾向値は極小期で尻屋線で 0.0260 、出戸線で 0.0404 、鮫角線で -0.0078 と北側で透明度が高くなる傾向がみられた（図13～15）。観測点ごとにみると、尻屋線では東経 141 度 40 分以西で負、 142 度以東では正の値を示した。出戸線では 142 度 20 分付近で負の値を示した。また、鮫角線では 141 度 45 分から 142 度で負の値をみせた。

また、極大期をみると、傾向値は尻屋線で -0.0263 、出戸線で 0.0055 、鮫角線で -0.0168 と尻屋線及び鮫角線で透明度が低くなる傾向がみられた（図16～18）。観測点ごとにみると、尻屋線では東経 141 度 40 分付近で負の値を示した。出戸線では 142 度 20 分付近で負の値を示した。また、鮫角線では 142 度以西及び 144 度付近で負の値をみせ

た。

(3) トレンドを除去した偏差でみた経年変動

表3には透明度の平均偏差時系列の長期変動傾向を観測線ごとにまとめて示した。この際、同年同月のデータは平均して1個のデータとして扱った（図19～23）。

日本海側では漸減傾向がみられ、透明度が低くなる傾向が認められた。周期性をみると、舳作線では1年、2年、3年、4年、5年、6年及び7年、十三線では1年、2年、3年、4年及び5年に有意差がみられた。

太平洋側では尻屋線及び出戸線で透明度が高くなる傾向がみられた。また、鮫角線では顕著な傾向はみられなかった。周期性をみると、尻屋線では1年、2年、3年、4年及び5年、鮫角線では1年、2年及び3年に有意な周期性がみられた。また、出戸線では61ヶ月までの各月に有意な周期性がみられた。

(4) レジームシフトとの対応

北太平洋の気候・海洋システムが急激に変わるレジームシフトは20世紀に1924/25年、47/48、76/77、88/89、98/99年の5回発生したことが報告

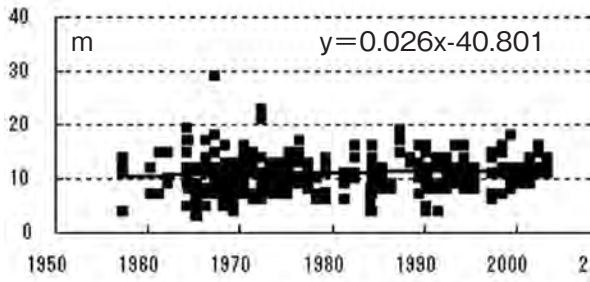


図13 透明度の経年変化（極小期・尻屋線）

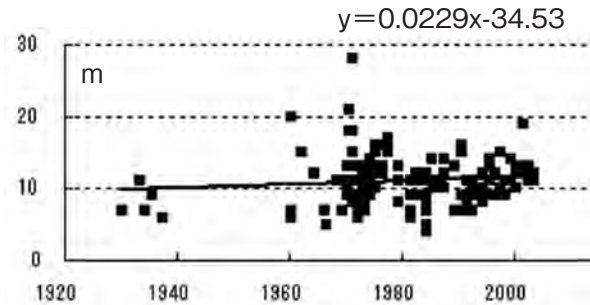


図14 透明度の経年変化（極小期・出戸線）

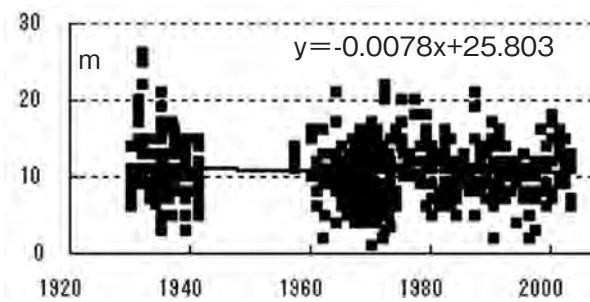


図15 透明度の経年変化（極小期・鮫角線）

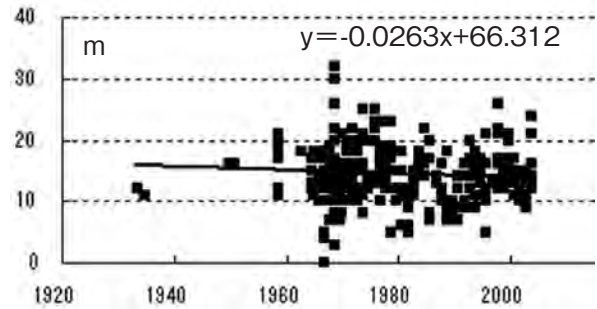


図16 透明度の経年変化（極大期・尻屋線）

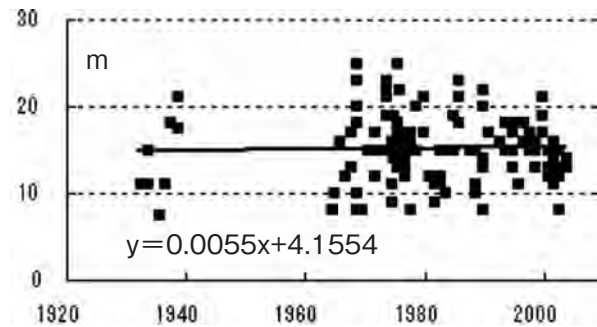


図17 透明度の経年変化（極大期・出戸線）

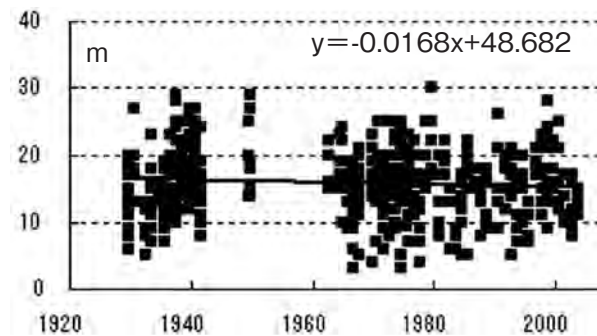


図18 透明度の経年変化（極大期・鮫角線）

されている (Minobe 1999,2000) . これらの期間に対応した透明度のトレンドを除去した偏差を観測線ごとに平均値を算出し、レジームシフトとの対応を検討した (図24~28) .

1924/25年のシフトについてはデータがなかったのでわからないが、これ以後の4回分についてみると、47/48年のシフトについては4測線で透明度の偏差が上昇する傾向がみられ、正偏差となった。76/77年のシフトでは太平洋側の出戸線及び鮫角線で偏差が大きく下降した。98/99年のシフトでは太平洋側の3測線で偏差の比較的大幅な上昇がみられた。

(5) クロロフィル a 量との関係

クロロフィル a 量は1998年から太平洋の観測時に測定を行っている。これに対応する透明度のデータがある場合を抜き出して両者の関係を検討した (図29) . なお、透明度は植物プランクトン量に大きく影響される時期と雪解けや豪雨など陸水の流入による濁りや夜光虫など植物色素を持たないペン毛虫の影響が大きい時期が考えられるため、植物プランクトンに起因するとみられる春のブルーム時期に限ったサンプルでクロロフィル a と透明度の関係を検討した。抽出時期は6月のみとなった。

クロロフィル a 量のデータは表面、20m層及びこれらの平均値を用いたが、いずれも傾向として

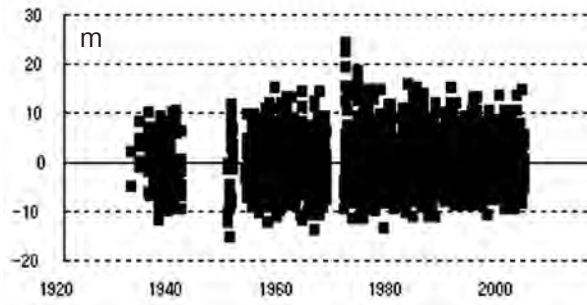


図19 透明度のトレンドを除去した時系列
(日本海 舳作線)

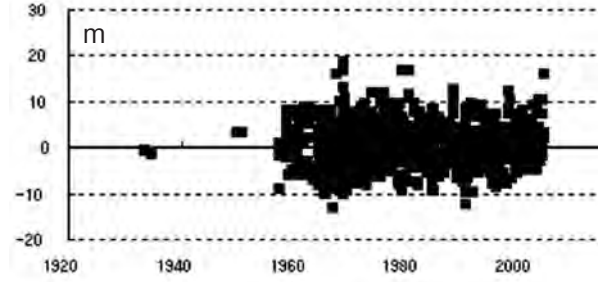


図21 透明度のトレンドを除去した時系列
(太平洋 尻屋線)

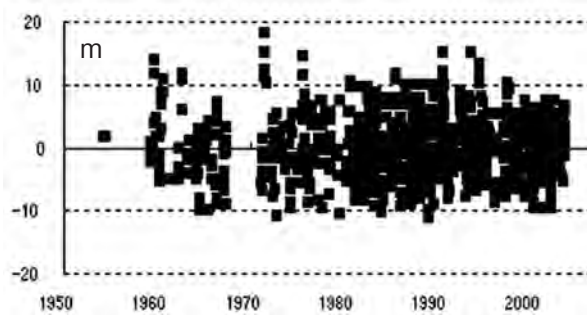


図20 透明度のトレンドを除去した時系列
(日本海 十三線)

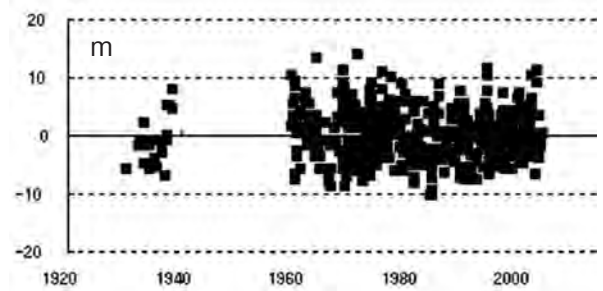


図22 透明度のトレンドを除去した時系列
(太平洋 出戸線)

は透明度が高いほどクロロフィル a 量は低くなっていた。相関は-0.6程度であった。

考 察

透明度の日本海側での季節変動は4月から5月に極小で、8月から9月に極大となった。4月から5月の極小は春のブルーミングの時期にあたるためと思われる。8月から9月の極大は沖合側に極大の中心があることから、対馬暖流の表層付近の水温が極大となる時期に近いためと考えられる。

太平洋側では4月から6月に極小となった。これも春のブルーミングと密接な関係にあるものと思

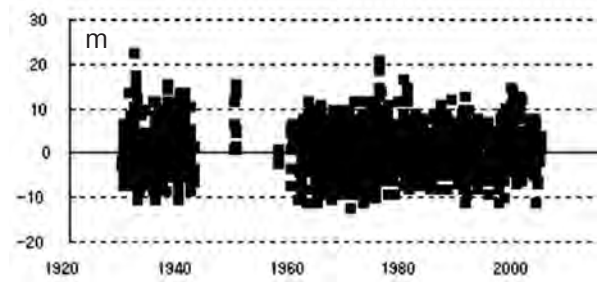


図23 透明度のトレンドを除去した時系列
(太平洋 鯨角線)

われる。また、鯨角線ではごく沿岸部で周年低い値を示した。この海域は水深100m以浅の遠浅の地形であることや人為的な汚染による影響と考えることもできる。

表3 トrendを除去した時系列の長期変動傾向（観測線ごと）

観測線	データ数	期 間	傾向線の式	周期性の特徴
日本海				
舳作	3,167	1932/6~2003/12	$y = -0.037x + 88.598$	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7年
十三	1,269	1954/5~2003/11	$y = -0.0394x + 93.429$	1, 2, 3, 4, 5年
太平洋				
尻屋	1,240	1933/8~2003/11	$y = 0.0187x - 23.611$	1, 2, 3, 4, 5年
出戸	610	1930/5~2003/11	$y = 0.0275x - 40.291$	61ヶ月までの毎月
鯨角	2,401	1929/7~2003/11	$y = -0.0063x + 25.916$	1, 2, 3年

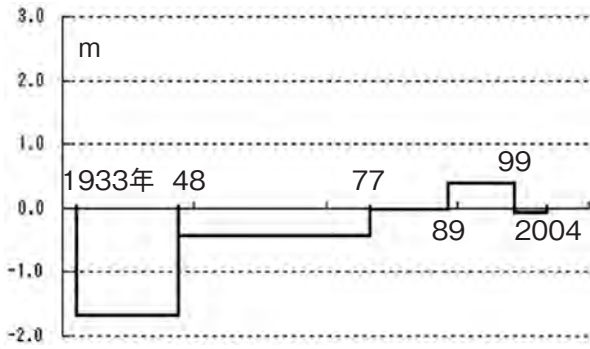


図24 レジームごとの平均偏差 (舳作線)

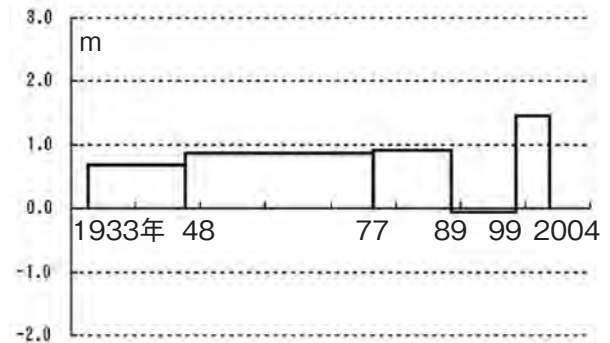


図26 レジームごとの平均偏差 (尻屋線)

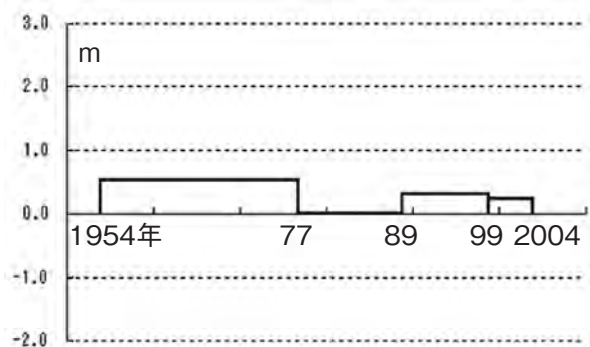


図25 レジームごとの平均偏差 (十三線)

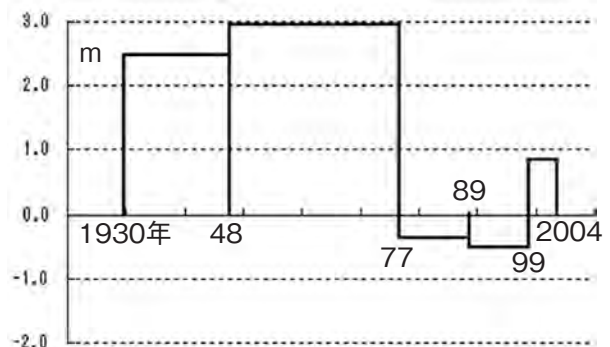


図27 レジームごとの平均偏差 (出戸線)

一方、極大となる時期は8月から9月と12月から3月に分散していた。鮫角線では8月から9月，東経143度から145度の沖合側で透明度が極大となった。この海域は親潮の沖合側にあたり，夏期の最も水温の上がる時期（表層では18～20℃台）にあたるためと考えられる。

鮫角線では12月から3月，142度30分以西の沿岸側で，出戸線では12月と3月に142度以西の沿岸側で極大となった。いずれも津軽暖流域で，鉛直混合期であるためと考えられる。

尻屋線では3月に143度30分付近で極大となった。この時期は親潮水の張り出しが最も顕著で，水温2℃台の水が数100メートルまで及ぶ時期のためと考えられる。

経年変動を一次の傾向値で見ると，日本海側では極小期，極大期ともに透明度が低くなる傾向を示したが，その傾向は極大期で顕著であった。地理的な分布をみると，極小期は津軽海峡西口付近で低下傾向をみせた一方，極大期では同海域の透明度は上昇する傾向をみせた。これは，この海域の透明度の変動幅が大きくなってきていることを

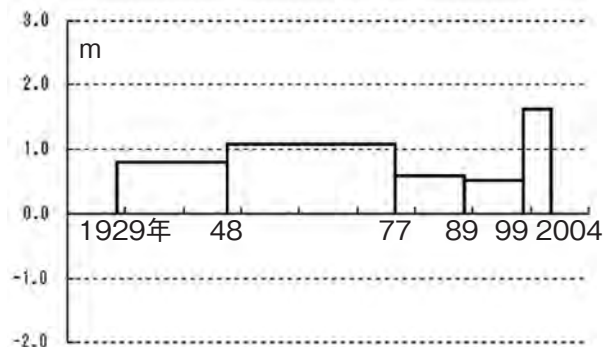


図28 レジームごとの平均偏差 (鮫角線)

クロロフィル (mg/l)

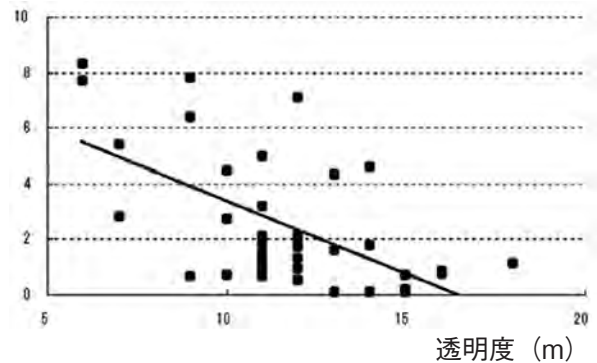


図 29 透明度とクロロフィル a 量の関係
(クロロフィル a 量は表面と 20 m 層の平均値)
(太平洋 1998、1999 年、2001～2003 年)

示すものと思われる。また、その沖側では逆の傾向を示し、対馬暖流の透明度の変動幅が小さくなってきていることを示すものと考えられる。

太平洋側の極小期では北側で透明度が上昇、極大期では尻屋線と鮫角線で下降する傾向をみせた。地理的な分布をみると、極小期は沿岸側の海域で透明度が低くなる傾向をみせ、極大期には同様の傾向は沿岸域から沖合域にまで広がっていた。津軽暖流の影響の及ぶ範囲では極小期、極大期ともに透明度が低くなってきているものと思われる。

透明度の傾向変動をみると、太平洋側の尻屋線及び出戸線を除いて低くなる傾向を示した。100年間に換算すると日本海側の舳作線及び十三線で4~5m透明度が低くなったことになり、太平洋側の尻屋線及び出戸線で2~3m透明度が高くなったことになる。この要因として、本県日本海側は対馬暖流の収束する海域であり、人為的な汚染が現れやすいことが原因と考えられ、太平洋側では温暖化による解氷水の増加により水温の下降傾向がより強く現れたことが考えられる。

トレンドを除去した時系列には1~7年ぐらいまでの周期性が認められた。1年周期は季節変動であるが、5~6年周期は対馬海峡や日本海中部において報告されている(磯田, 1995)。その間の周期性については不明であるが、データの欠測が多いことに問題があるのかもしれない。

レジームシフトとの対応では47/48年のシフトとの対応がよく現れていた。一方では、1925/26年、42/43、57/58、70/71、76/77年のレジームシフトも報告されている(花輪, 2004年)。これらについても同様の処理を行い、透明度の偏差との対応を調べてみた。その結果、25/26年はデータがないためわからないが、42/43年のシフトでは太平洋の3観測線で偏差の大幅な上昇がみられ、舳作線で偏差の大幅な下降がみられた。57/58年のシフトでは十三線、出戸線及び鮫角線で偏差の大幅な下降がみられ、鮫角線で偏差の大幅な上昇がみられた。70/71年のシフトでは尻屋線で偏差の大幅な下降、鮫角線で偏差の大幅な上昇がみられるという結果となった。

いずれにしても、1940年代のシフトとの対応が最もよくみられた。これはこの期を境に水温の高温期に入り、透明度も高くなったことを示していると考えられる。

ブルーム期のクロロフィル a 量と透明度との相関は-0.6程度となった。今後、データの蓄積がなされれば両者の相関は高まっていくものと期待される。透明度とクロロフィル a 量との関係がつかめられれば、より長い時系列をもつ透明度のデータを使って過去の表層クロロフィル a 量の推移を推定することができ、生態系モデルへの貢献なども期待できる。

要 約

1929年4月以降に青森県周辺海域で観測された透明度のデータを整理した。

透明度の日本海側での季節変動は4月から5月に極小で、8月から9月に極大となった。4月から5月の極小は春のブルーミングの時期にあたるためと思われた。8月から9月の極大は対馬暖流の表層付近の水温が極大となる時期に近いと考えられた。

太平洋側では4月から6月に極小となった。これも春のブルーミングと関係があるものと思われた。一方、極大となる時期は8月から9月と12月から3月にみられた。8月から9月は親潮の沖合側で、夏期の最も水温の上がる時期にあたるためと考えられた。12月から3月は沿岸側で極大となった。これは津軽暖流域で、鉛直混合期にあたるためと考えられた。3月の極大は親潮水の張り出しが最も顕著であるためと考えられた。

経年変動をみると、日本海側では極小期、極大期ともに透明度が低くなる傾向を示した。

太平洋側の津軽暖流水の影響の及ぶ範囲では極小期、極大期ともに透明度が低くなっていると思われた。

トレンドを除去した時系列には1~7年ぐらいまでの周期性が認められた。

レジームシフトとの対応では1940年代のシフトとの対応が最もよくみられた。これはこの期を境に水温の高温期に入り、透明度も高くなったこと

を示していると考えられた。

ブルーム期のクロロフィル a 量と透明度との相関は-0.6程度であった。

謝 辞

データ入力に当たっては青鵬丸尾鷺政幸甲板員に多大なる助力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 磯田 豊・是松弘志.1995.対馬暖流域における水温・塩分・溶存酸素の鉛直断面分布の経年変化. 海と空, 71 (2) : 47-47
- 気象庁編集・気象業務支援センター発行.1999.海洋観測指針, (第1部) : 9-10.
- 海洋調査要報 (水産庁, 44号-1929年前期から74号-1950年)
- 青森県水産試験場事業報告 (青森水試, 1929年から2003年)
- 海洋観測資料 (水産庁, 1963年から1985年)
- 定線観測結果表 (青森水試, 1986年から2003年)
- 杉本隆成.2004.海流と生物資源 成山堂書店, 268pp.
- 花輪公雄.2004.1998年に日本周辺でレジームシフトは起こったか? 水産海洋学会 主催 講演要旨集. 4-5pp.