

和歌山市毛見崎における 1981 年から 2011 年までの表層海水温の変化¹⁾

Sea surface temperatures recorded from 1981 to 2011 at Kemi, Wakayama City,
central Japan.

揖 善継²⁾・平嶋健太郎³⁾

YOSHITSUGU KAJI・KENTAROU HIRASHIMA

Abstract

Daily sea surface temperatures were recorded from 1981 to 2011 at Kemi, Wakayama City. The annual average temperature significantly increased for 30 years, with 0.035 °C per year. The annual average temperature during of warm period significantly increased for 30 years, with 0.07 °C per year. On the contrary no clear trends were observed in the annual average temperature during cool period.

はじめに

和歌山県立自然博物館では、飼育展示に使用する海水の品質管理と周辺環境の変化の把握のため、館周辺および和歌浦湾における定点観測を行ってきた。1982 年 7 月の開館以前である開設準備室の時代にあたる 1981 年 10 月より、毎日の毛見崎定置観測（天候、雲形・雲量、風向・風力、気温、水温、比重）（和歌山県立自然博物館、1983 ほか）を、また、1983 年 4 月より和歌浦湾内に 9 定点を設け（後に 5 定点に変更）、月に 1 回の和歌浦湾定点観測（天候、雲形・雲量、風向・風力、気温、透明度、水色、水温、pH、比重、溶存酸素量、プランクトン）（和歌山県立自然博物館学芸課、1984 ほか）を行った。このうち、和歌浦湾定点観測は 2004 年 10 月に終了した。毛見崎定置観測は津波防潮堤のかさ上げに伴い、毛見崎への立ち入りが容易でなくなった 2011 年末までの約 30 年間継続された。その後はマリーナシティ北側、水深約 5 m に位置する当館の海水取水口に水温データロガーを設置し、モニタリングを継続している。各年のデータについては、和歌山県立自然博物館報（和歌山県立自然博物館、1983 ほか）において報告されているが、長期間の水温変動についてデータを解析、報告したことはない。本報告では、それらの蓄積された情報の中から、毛見崎における表層水温の 1981 年から 2011 年までの約 30 年間の変動をとりまとめた。

観測場所と方法

観測場所は和歌山市毛見に位置する毛見崎に設けた定点（図 1）である。観測当時、結晶片岩の岩盤間隙まで汀線が迫り、潮位に関係なく表層水を採集することができた（図 2）。観測は自然博物館学芸課の職員

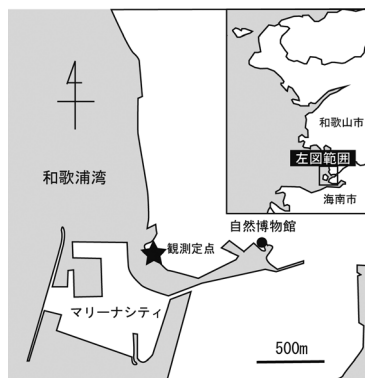


図 1 観測定点の位置



図 2 干潮時の観測定点(2009 年 4 月 30 日撮影)

1) 和歌山県立自然博物館業績 No. 126

2) 〒 642-0001 和歌山県海南市船尾 370-1 和歌山県立自然博物館 kaji_y0001@pref.wakayama.lg.jp

3) 〒 642-0001 和歌山県海南市船尾 370-1 和歌山県立自然博物館

が行い、観測時刻は午前 9 時 30 分と定められていた。自然博物館の開館日および、年末年始に給餌のため飼育担当の職員が出勤している日には測定を行ったが、悪天候や業務の都合上やむを得ず欠測となった日もあった。

柄杓やひも付きバケツを用いて表層の海水を採集し、ただちに水銀、もしくはアルコール棒状温度計を用いて、0.1℃の精度で水温を測定し野帳に記録した。

得られた結果のうち、年途中より計測が始まった 1981 年を除き、1982 年から 2011 年までの 30 年分のデータについて、年別平均水温、年別高温期平均水温、年別低温期平均水温の長期変動の傾向を Mann-Kendall 検定により分析した。Mann-Kendall 検定はノンパラメトリック法の一つであり、時系列が単調な上昇傾向、または下降傾向にあるかどうかを判定するのに使用され、気温や水温などの長期変動の傾向解析に使用される検定である(上村・宮本, 2018)。 $p < 0.01$ を有意とみなした。なお、本論文では年間の観測結果のうち、上位および下位およそ 5% に当たるデータを高温期、低温期とした。

結果

各月と年毎の平均、最大、最低水温および各年の観測回数を表 1 に、全期間の水温変化を図 3 に示した。1981 年 10 月 1 日から 2010 年 12 月 30 日までの間、9275 点の水温データが得られた。1981 年を除く各年の観測回数の平均は 306.7 回であった。期間中の最高水温は 32.6℃ (1998 年 8 月 5 日)、最低水温は 5.6℃ (1984 年 2 月 9 日) であった。

各年の平均水温および 5 年間毎の移動平均の変化を図 4 に示した。平均水温は年毎の増減があるものの 30 年間で緩やかであるが有意に増加し (Mann-Kendall test; $p = 0.0004$)、年間 0.035℃、30 年間で 1.06℃ の上昇が認められた。

各年の最高水温、最低水温は表 1 に示した通りであったが、その日の気象状況などに強く影響される表層水温の 1 回 1 日分のサンプリングデータをその年の代表値とするのは不安定な要素が多いため、1 年間のデータのうち、上位 5% と下位 5% を高温期、低温期のデータとした。各年の平均サンプリング数は 306.7 点で、およそ 5% となる各年 15 点を抽出して解析した。高温期の平均水温変化を図 5、低温期の平均水温変化を図 6 に示した。高温期の年別平均水温は有意に上昇傾向にあり (Mann-Kendall test; $p = 0.003$)、年間 0.07℃、30 年間で 2.1℃ の上昇が認められた。一方、低温期は 1990 年から 2000 年頃がやや高く、その後やや低くなるものの、調査期間全体を通して明確な上昇、下降傾向は認められなかった (Mann-Kendall test; $p = 0.617$)。

考察

海水温はそこに生息する生物にとって大きな影響を与え、各生物種の分布域や、その地域の生物相を決定する重要な要素である (Tait, 1980)。世界レベルでの地球温暖化が進み、各地で生物に対する影響が報告されているなか (田所ほか, 2008, 美山, 2024 など)、地道な観測活動の結果、和歌山市毛見という局所的な環境でも 30 年で平均水温が 1.06℃ 上昇 (+ 3.54℃ / 100 年) という生物にとっては大きな変化が起きていることが明らかになった。これは日本近海で起こっている平均海面水温の変化 (+ 1.28℃ / 100 年; 気象庁, 2024) や世界全体で平均した変化 (+ 0.61℃ / 100 年; 気象庁, 2024) よりもはるかに高い。

観測地点付近では過去に複数の生物相調査が行われており (今原, 1984, 1986; 中谷, 1991 など)、今後同様の調査を継続して行うことにより、長期的な生物相の変化と水温変化の関係を明らかにすることが可能である。しかし観測地点を取り巻く状況はこの 30 年間で大きく変化し、観測開始当初にはなかった人工島「マリーナシティ」の埋め立て工事が 1989 年より開始された (和歌山県土木港湾課, 1996)。観測開始時には和歌浦湾に直接面していた観測地点は、人工島と本来の海岸との間にできた水路のような環境に変化した。2024 年現在、観測地点の毛見崎は多くの砂が堆積し、岩礁海岸であった場所が、干潮時には広大な砂干潟が現れるようになり、水温以外の変化も著しい。ただし、変化する環境要因の一つとして、水温の変化が明らかになった意義は大きい。

高水温期と低水温期の水温変化を解析することにより、夏場の高水温期の平均水温が上昇した半面、冬の低水温期は大きな水温上昇が認められなかった。このことは年平均海水温の上昇傾向が、寒冷期の水温ではなく温暖期の水温の上昇により作られてきたことを示唆する。本研究による水温測定は表層水に限ったもののため、気温や日照、風雨の影響を強く受けると考えられる。水温躍層が発生する水深より下の層との水温変化の比較や、外気の影響、夏と冬の海水循環の違いなどを通して、この現象の要因を明らかにする必要がある。

本研究によって、和歌山県立自然博物館の立地する和歌浦湾における 1981 年以降の水温の長期変動が明らかになった。この結果を議論のベースとして、今後も地域の自然の移り変わりについての研究が発展することを強く望む。残念ながら、同一地点、同一手法を用いたモニタリングは 2011 年末をもって終了したが、前述のとおり水温データロガーを用いて、1 時間ごとの水温データを新たにモニタリングしている。今後はそちらの結果も併せて考察を行いたい。

謝辞

長期間におけるモニタリングは多くの人の努力により成り立っている。本研究にかかわる観測及び解析にかかわったすべての自然博物館職員に謝意を表する。

引用文献

- 今原幸光. 1984. 和歌浦湾の海岸生物 1. 琴の浦海岸潮間帯の付着生物. 和歌山県立自然博物館館報, 2: 46–57.
- 今原幸光. 1986. 和歌浦湾の海岸生物 2. 毛見崎と海南市北部海岸の潮間帯動物. 和歌山県立自然博物館館報, 4: 50–71.
- 気象庁. 2024. 海面水温の長期変化傾向 (日本近海) 令和 6 年 3 月 5 日気象庁発表. 気象庁ホームページ (https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/shindan/a_1/japan_warm/japan_warm.html) 2024 年 7 月 2 日参照.
- 美山 透. 2023. 変わりゆく海洋環境：黒潮大蛇行と温暖化. 消防防災の科学, 153: 40–44.
- 中谷義信. 1991. 琴ノ浦の砂浜で採集された魚類. 和歌山県立自然博物館館報, 9: 37–40.
- 田所和明・杉本隆成・岸道郎. 2008. 海洋生態系に対する地球温暖化の影響. 海の研究, 17(6): 404–420.
- Tait R. V. 1980. Elements of Marine Ecology An Introductory Course Third Edition. Butterworths and Co. (Publishers) Ltd., London (テイト R. V. 三栖寛 (訳). 1990. 原著第 3 版 海洋生態学入門. 430pp. 九州大学出版会, 福岡市).
- 上村晃平・宮本仁志. 2018. Mann-Kendall 検定による日本での年平均平衡水温の長期経年変化の傾向分析, 土木学会論文集 B1(水工学), 74(4): I_577–I_582.
- 和歌山県土木港湾課. 1996. 和歌山マリーナシティの建設 - 自然と共生した新たな海洋空間の創造, 土木技術, 51(1): 73–80.
- 和歌山県立自然博物館. 1983. 和歌山県立自然博物館館報, 1. 117pp.
- 和歌山県立自然博物館学芸課. 1984. 和歌浦湾定点観測. 和歌山県立自然博物館館報, 2: 142–147.

表1 調査期間全体の月別平均, 最高, 最低水温および観測回数

年/(観測回数)	Jan.	Feb.	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	年間
1981 平均	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21.95	17.53	13.37	17.62
1981 最高	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24.6	19.1	16.3	24.6
1981 (73) 最低	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.2	15.3	12.0	12.0
1982	10.74	10.70	12.54	14.84	20.51	22.50	25.03	26.20	24.33	21.86	18.74	14.53	18.54
1982 (293)	13.4	13.6	15.1	17.8	22.5	25.8	27.9	28.4	27.8	23.5	21.1	18.2	28.4
	8.8	8.6	10.3	11.4	18.2	20.1	23.5	23.7	22.3	18.6	15.4	12.1	8.6
1983	11.43	10.18	11.67	17.07	19.81	22.35	26.15	28.44	26.38	22.24	17.66	13.32	18.89
1983 (310)	13.8	11.4	14.2	20.2	23.0	24.6	29.3	30.4	30.4	26.5	19.8	16.7	30.4
	8.8	7.5	8.3	13.0	17.0	21.0	24.1	26.4	23.4	19.2	13.5	10.3	7.5
1984	9.18	7.56	9.10	14.50	19.49	23.75	27.35	28.84	24.87	21.33	18.31	13.79	18.17
1984 (311)	11.4	9.6	13.4	19.0	23.5	25.6	30.6	30.6	29.2	25.2	21.2	17.2	30.6
	6.5	5.6	6.4	10.6	16.0	22.2	24.6	27.6	22.1	17.9	14.6	9.1	5.6
1985	9.39	8.67	10.12	16.95	19.96	22.12	26.75	29.00	27.16	22.43	17.74	12.42	18.56
1985 (312)	11.5	10.9	13.5	19.8	22.0	24.3	30.1	30.3	29.6	25.8	21.6	15.4	30.3
	6.6	6.1	8.4	14.3	18.9	19.7	23.6	27.7	23.9	19.1	14.4	9.3	6.1
1986	9.07	8.64	10.52	16.77	20.28	22.66	25.09	27.94	26.78	22.31	17.67	14.36	18.50
1986 (312)	10.0	10.4	12.7	19.7	21.9	24.1	29.1	29.8	28.8	25.0	19.7	16.8	29.8
	7.8	7.1	8.0	12.1	18.5	20.5	21.5	24.1	22.5	18.5	14.5	11.8	7.1
1987	10.88	10.73	11.46	14.49	19.35	23.02	26.60	28.33	25.81	22.50	18.98	14.37	18.88
1987 (310)	13.4	14.5	14.0	17.9	21.8	25.9	28.7	29.9	28.3	24.3	22.2	16.7	29.9
	8.8	8.4	9.3	10.9	16.4	21.2	24.1	26.4	23.2	19.9	16.8	12.8	8.4
1988	12.10	11.32	13.01	16.97	20.11	22.66	25.84	27.68	26.67	22.25	18.92	14.49	19.33
1988 (309)	15.1	13.3	15.6	21.2	22.3	24.9	27.7	28.5	28.3	24.6	22.4	16.5	28.5
	10.0	7.7	10.7	13.8	18.3	21.3	22.8	26.3	25.0	19.0	15.6	12.0	7.7
1989	12.29	10.55	11.61	15.36	18.52	22.77	24.84	26.72	25.14	22.05	17.81	13.14	18.40
1989 (310)	14.4	11.9	13.4	18.4	20.3	25.3	27.0	29.4	26.5	24.5	21.1	16.3	29.4
	10.6	8.4	9.1	11.9	16.2	19.5	22.3	24.7	23.7	18.9	14.1	9.5	8.4
1990	11.77	12.24	13.16	16.10	19.18	23.26	26.38	28.50	26.51	22.33	18.48	14.19	19.34
1990 (309)	14.4	15.2	15.3	19.4	21.9	26.6	29.4	29.6	29.5	24.6	20.8	17.9	29.6
	9.2	10.2	10.5	13.8	16.2	20.4	21.1	26.7	23.5	19.0	15.3	11.0	9.2
1991	10.46	10.01	12.30	17.26	19.65	23.39	26.85	27.00	26.46	22.20	18.20	15.19	19.08
1991 (310)	13.4	12.3	15.0	21.1	25.6	26.3	29.5	29.6	29.6	24.9	20.4	18.0	29.6
	9.3	7.3	10.0	11.1	16.1	20.2	24.5	25.3	24.0	18.8	15.4	11.5	7.3
1992	11.91	11.50	13.04	17.25	20.20	22.83	26.28	27.64	26.23	22.40	18.99	14.63	19.41
1992 (310)	13.3	14.3	15.0	20.6	22.5	24.7	30.5	29.3	29.6	25.8	22.1	19.0	30.5
	10.0	9.5	11.6	14.0	17.6	20.1	21.5	25.2	23.6	20.4	14.4	11.0	9.5
1993	12.22	11.39	12.74	15.38	18.86	21.93	24.16	26.73	24.91	21.79	18.78	13.94	18.57
1993 (310)	13.8	15.0	15.2	18.5	20.7	24.7	27.4	28.6	27.3	24.7	20.7	18.8	28.6
	10.6	9.3	9.7	12.2	16.7	9.8	21.5	24.2	22.3	18.3	14.1	10.3	9.3
1994	11.30	10.71	12.79	17.38	21.52	24.41	27.45	30.10	27.64	23.52	19.17	14.70	20.06
1994 (311)	13.9	12.2	14.3	20.8	22.9	26.1	30.5	31.9	30.4	26.2	21.8	18.8	31.9
	8.9	9.6	11.0	14.3	19.2	22.3	22.5	27.8	24.8	19.6	15.8	11.8	8.9
1995	10.61	10.35	14.35	17.38	20.03	22.59	26.13	30.04	25.37	23.08	17.82	13.00	19.23
1995 (309)	12.9	12.5	17.0	19.9	22.0	25.0	29.2	32.0	27.9	26.8	21.1	15.5	32.0
	8.2	8.2	11.3	15.2	17.9	21.0	22.6	27.7	22.8	20.0	14.3	9.2	8.2
1996	10.15	9.40	11.74	15.47	20.37	24.16	27.24	29.24	25.93	22.70	19.31	13.76	19.12
1996 (310)	12.8	11.8	14.9	17.8	24.5	26.4	30.6	30.7	28.9	24.2	23.3	18.6	30.7
	8.5	7.3	8.1	11.2	16.7	21.5	23.4	27.5	23.3	21.0	14.8	10.6	7.3
1997	11.29	10.48	13.43	17.30	21.08	23.92	26.66	28.53	26.70	22.35	18.40	14.04	19.51
1997 (307)	13.3	12.4	17.7	19.7	23.1	28.0	28.7	30.6	29.3	24.2	21.8	16.2	30.6
	9.1	9.1	11.0	14.0	18.3	21.8	24.2	26.8	23.6	19.3	14.7	12.1	9.1
1998	12.39	12.23	13.66	18.26	22.60	24.36	28.06	29.63	26.22	23.64	19.10	15.36	20.46
1998 (310)	14.6	14.6	16.3	21.5	24.1	26.8	30.0	32.6	28.1	26.1	22.1	17.6	32.6
	10.0	10.4	12.5	14.1	20.7	23.0	25.9	27.8	25.3	21.3	16.1	13.5	10.0
1999	11.55	10.57	12.78	15.45	21.00	24.80	26.94	28.79	28.17	23.39	17.90	14.04	19.61
1999 (306)	13.5	12.3	14.7	19.2	23.1	27.2	30.1	30.4	29.8	27.2	21.2	16.3	30.4
	8.8	8.5	10.8	12.5	18.7	22.0	24.2	28.1	26.4	20.0	14.0	11.5	8.5
2000	11.88	10.14	11.99	15.66	20.64	23.27	27.39	29.08	26.66	22.48	18.32	14.31	19.32
2000 (307)	14.0	12.4	14.4	18.5	24.2	25.7	30.0	31.5	29.4	24.9	22.4	16.7	31.5
	9.8	8.7	8.9	13.2	18.3	20.3	23.5	27.8	23.5	19.3	15.5	11.2	8.7
2001	9.79	10.51	11.83	15.73	20.05	23.38	28.63	28.78	25.90	22.58	17.33	13.11	18.97
2001 (304)	13.3	13.0	14.7	19.2	23.3	28.1	30.8	31.0	28.1	25.0	21.4	15.6	31.0
	7.8	8.2	7.1	12.0	16.5	19.9	26.6	25.2	23.2	21.0	14.8	11.5	7.1
2002	9.80	9.83	12.60	16.79	21.52	24.72	28.28	28.80	26.69	22.38	16.23	13.00	19.22
2002 (302)	13.4	11.6	14.7	19.2	24.2	26.5	32.0	31.9	29.7	25.4	19.3	16.0	32.0
	7.0	7.4	9.6	14.3	18.5	22.2	25.8	26.0	23.4	17.8	12.4	9.5	7.0
2003	9.25	9.62	11.91	17.46	20.78	24.33	25.53	28.20	27.64	22.01	19.68	14.14	19.21
2003 (307)	11.6	10.8	16.9	21.2	23.9	26.4	28.6	30.8	30.6	24.6	22.3	18.0	30.8
	7.4	8.2	9.2	13.8	18.7	20.7	24.3	24.1	22.5	18.9	16.9	11.1	7.4
2004	10.68	10.44	12.67	17.44	21.64	24.77	28.66	28.03	27.16	22.63	18.98	15.07	19.85
2004 (302)	12.5	13.9	15.5	20.4	24.2	26.9	30.8	30.2	29.3	25.3	21.2	17.2	30.8
	9.1	8.0	9.3	13.8	18.7	22.1	25.0	24.8	24.4	19.9	15.8	11.5	8.0
2005	11.38	10.64	12.43	16.73	19.86	24.63	26.10	27.57	26.58	22.93	18.86	11.95	19.14
2005 (297)	13.1	12.4	14.6	21.0	22.1	27.6	28.9	30.8	29.5	26.1	21.2	17.6	30.8
	10.0	8.3	10.0	13.9	18.0	20.3	23.8	25.5	23.1	19.2	17.0	8.8	8.3
2006	8.31	9.53	11.18	15.61	20.76	24.29	27.61	30.10	26.46	23.27	19.61	14.94	19.30
2006 (310)	10.2	12.0	15.4	18.0	23.7	26.9	30.3	31.4	29.0	25.0	22.8	18.1	31.4
	6.3	7.4	9.0	11.7	18.0	22.3	25.0	28.1	24.8	21.8	16.6	9.8	6.3
2007	11.52	11.70	13.33	17.32	20.80	24.31	25.83	28.93	29.10	23.39	18.84	14.68	19.98
2007 (300)	13.0	13.6	16.6	20.0	22.8	28.4	29.4	31.6	31.2	26.7	21.6	17.8	31.6
	9.8	9.5	11.3	14.7	19.0	21.5	23.5	25.0	26.8	19.0	14.7	12.2	9.5
2008	10.70	9.76	13.39	16.44	20.61	24.18	29.04	28.66	26.62	22.96	18.26	14.14	19.56
2008 (300)	13.4	12.0	16.4	19.0	24.3	26.2	32.3	31.8	29.0	25.4	21.7	16.8	32.3
	9.3	8.0	10.1	13.3	16.3	21.0	25.0	25.1	22.9	21.0	12.2	11.0	8.0
2009	10.57	10.94	12.70	16.72	19.74	24.45	27.37	28.08	26.00	22.70	18.71	14.72	19.39
2009 (304)	11.6	14.4	15.8	18.7	23.5	27.2	29.9	29.2	27.9	26.3	23.8	18.1	29.9
	9.2	9.2	10.7	13.4	17.5	21.7	24.2	25.9	23.4	20.3	16.0	11.5	9.2
2010	10.30	10.90	13.77	15.63	20.15	24.28	27.41	30.45	28.21	22.75	17.44	13.70	19.58
2010 (303)	12.8	13.7	15.3	18.6	23.2	26.6	29.9	32.2	32.2	25.5	20.0	17.5	32.2
	8.9	7.8	12.4	14.0	17.7	21.0	25.0	27.9	23.5	19.0	16.0	10.7	7.8
2011	8.71	9.62	12.04	16.00	20.45	23.88	27.21	29.67	27.32	23.48	20.38	15.12	19.49
2011 (307)	11.2	12.0	14.8	18.4									

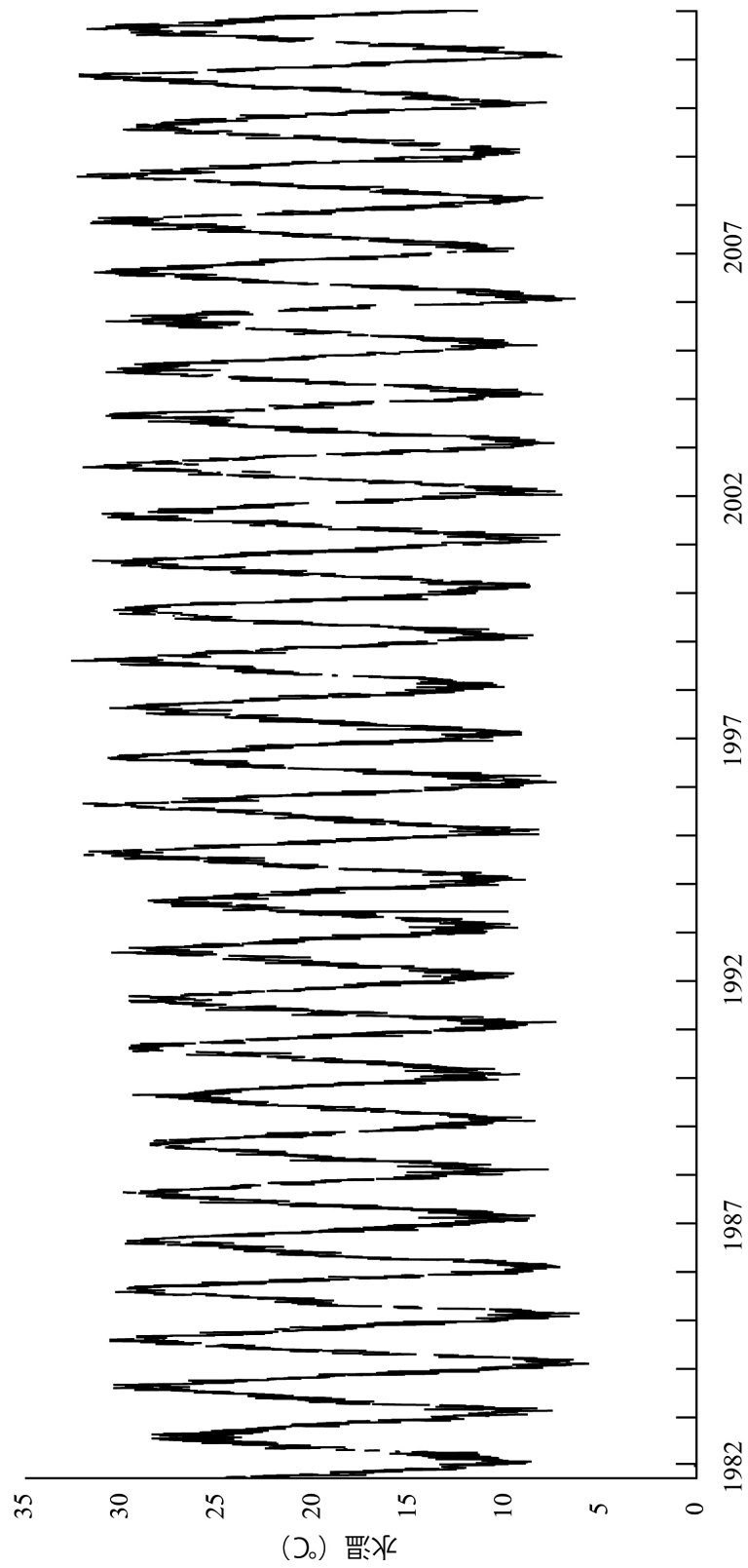


図3 和歌山市崎に毛見崎における調査期間全体の水温変化.

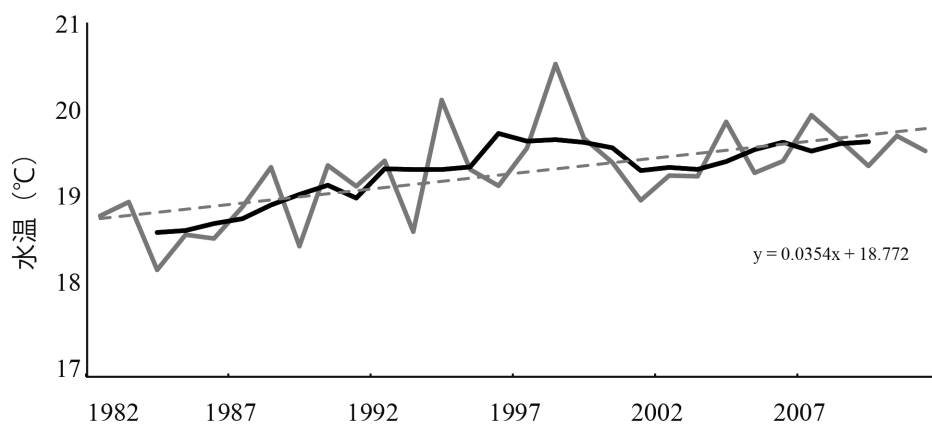


図4 和歌山市毛見崎における1982年より2011年の表層水温変化。
灰色；年平均，黒；5年間移動平均，破線；年平均線形近似。

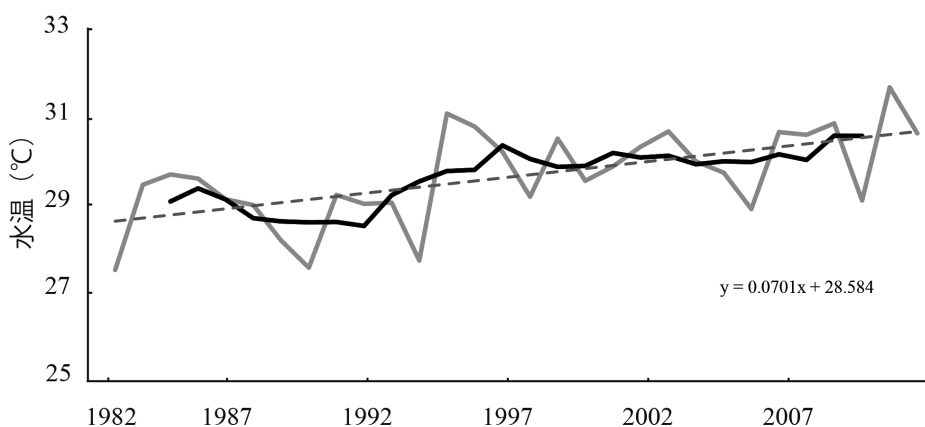


図5 和歌山市毛見崎における1982年より2011年の高水温期表層水温変化。
灰色；年平均，黒；5年間移動平均，破線；年平均線形近似。

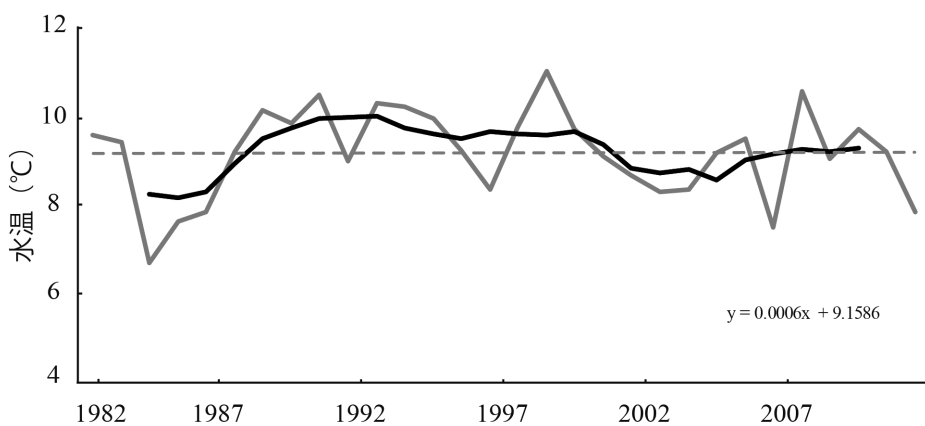


図6 和歌山市毛見崎における1982年より2011年の低水温期表層水温変化。
灰色；年平均，黒；5年間移動平均，破線；年平均線形近似。