

# 宮城県沿岸域における表層水温のトレンド

— ダミー変数を用いた重回帰分析による推定 —

Trend of Surface Water Temperature  
at the Coastal Area in Miyagi Prefecture  
- Estimation of Trend by using Multiple Regression Analysis  
Containing Dummy Variables -

福地 信一 阿部 郁子  
佐々木久雄\*1 藤原 秀一  
Shinichi FUKUCHI, Ikuko ABE  
Hisao SASAKI, Syuuichi FUJIWARA

季節変動を有する時系列データの解析手法としてダミー変数を用いた重回帰分析の適用が有効であることから、県内沿岸域の表層水温に当該手法を適用したところ、松島湾桂島西において危険率 1%で有意な結果が得られ、トレンドは 0.0033 (°C/月) で年間 0.0396°C となり、観測が始まって以来 34 年間で約 1.35°C 上昇という結果が得られた。

また、12 ヶ月移動平均法や Web-decomp による解析でも同様の結果が得られ、松島湾桂島西では明確な表層水温の上昇トレンドが確認された。

キーワード：トレンド；水温；重回帰分析；ダミー変数

Key words：Trend；Water temperature；

Multiple regression analysis；Dummy variables

## 1 はじめに

地球温暖化が沿岸域の水環境に及ぼす影響を把握するためには、海水温の上昇率を正確に評価することが重要と考えられる。

沿岸域における水温については、公共用水域水質測定計画に基づき観測しているデータが昭和 40 年代から 30 年以上にわたり集積されている。しかし、観測頻度が月 1 回であり、採水日や採水時刻が不規則であるため、そのまま解析し水温上昇率を求めると、偏りの発生が懸念される。

平成 20 年度から行われている、国立環境研究所と地方公共団体環境研究機関との C 型共同研究「地球温暖化がもたらす日本沿岸域の水質変化とその適応策に関する研究」において、これらの問題を解決すべく季節変動を有する時系列データの解析手法を種々検討したところ、ダミー変数を用いた重回帰分析の適用が最も有効であるとの検討結果が得られたことから、全国規模で海水温上昇率の調査を実施することになった。

本報告は、宮城県沿岸域における海水温上昇率の結果を取りまとめたものである。

## 2 解析方法

### 2.1 使用データ

表 1 に示すとおり、公共用水域環境基準点及び補助点から、気仙沼湾大島北沖（河口に近い）、鮎川湾御番所崎沖（外洋に面している）及び松島湾桂島西（内湾）の 3 地点を選定し、毎月観測している表層水温（海面下 0.5m）のデータを使用し解析を行った。

なお、気仙沼湾及び松島湾は、環境省が定めた閉鎖性海域 88 海域に含まれている。

表 1 使用したデータ一覧

地点名 データ	気仙沼湾 大島北沖 (河口)	鮎川湾 御番所崎沖 (外洋)	松島湾 桂島西 (内湾)
基準点番号	606-01	624-01	603-55
水深 (m)	30	25	5
観測期間	1979.4～ 2010.11	1980.5～ 2010.11	1977.4～ 2010.11
観測数	379	307	404

\*1 現 東北大学大学院工学研究科

図1に観測地点を示す。



図1 観測地点

## 2.2 解析方法

### 2.2.1 ダミー変数を用いた重回帰分析

表2に示すとおり、目的変数と説明変数の表を作成し、エクセル2007に付属しているデータ分析ツールの回帰分析により解析した。

傾き効果には連番を入力する。御番所崎沖については3月及び4月は欠測月となっており、このような場合は欠番とする。季節効果に該当する月に1を入力し、それ以外の月に0を入力する。また、年度末に-1を入力し、年度毎の季節成分の和を0とする。

( $Y = \text{トレンド成分} + \text{季節変動成分} + \text{残差}$ )<sup>1)</sup>

表2 目的変数と説明変数（桂島西の例）

測定年月	目的変数		説明変数												
	水温実測値	傾き効果	季節効果												
			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月		
1977.04	10.9	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1977.05	13.0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1977.06	17.0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1977.07	25.9	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1977.08	23.8	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1977.09	21.0	6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1977.10	16.8	7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1977.11	18.0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1977.12	8.0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1978.01	4.3	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1978.02	3.2	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1978.03	4.7	12	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
1978.04	11.6	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2010.11	14.8	404	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

### 2.2.2 12ヶ月移動平均法

季節調整の一般的な手法である12ヶ月移動平均法による解析を行った。

### 2.2.3 Web-decompによる解析

Web-decompとは、統計数理研究所が開発した、季節変動を含む時系列データの解析に使用するツールである。

下記HPにアクセスし、データをWeb上で直接入力することにより、統計数理研究所のコンピュータが解析し、結果を返してくれるシステムである。

( $Y = \text{トレンド成分} + \text{季節変動成分} + \text{短期循環変動} + \text{曜日効果} + \text{ノイズ}$ )<sup>2)</sup>

<http://ssnt.ism.ac.jp/inets2/japaneseVersion/title.html>

### 2.2.4 気温のトレンド

C型共同研究では、参考として沿岸域近傍の気温トレンドを把握することとしているため、気象庁気象統計情報により宮城県女川町江ノ島を選定し、気温の解析を行った。

### 2.2.5 公共用水域データと連続測定データの比較

月1回の公共用水域水温データ（桂島西）と、2010年6月に設置した24時間連続測定データ（水温ロガー）の比較検討を行った。

図2に水温ロガー（HOBO Pendant Temperature Logger）の写真を示すが、5cmx3cmx1cmで30m耐圧性を有し、光通信によりパソコンへデータ転送を行うものである。



図2 水温ロガー

図3に松島湾における水温ロガーの設置地点を示す。

（桂島西：N38°20'18"，E141°04'19"）

（水温ロガー：N38°19'48"，E141°03'20"）

24時間連続測定用の水温ロガーは、環境基準補助点である桂島西から西へ1km離れた地点に、塩釜市漁業協同組合が設置した航路表示用ブイを借用し取り付けたものである。水深は5mで、表層から1m地点と底層から1m地点の2カ所で1時間に1回の頻度で連続測定を実施している。

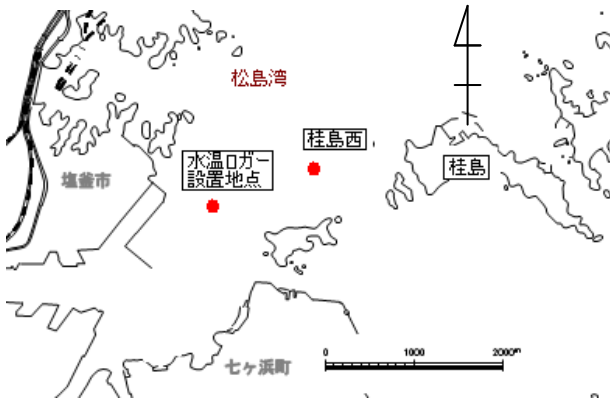


図3 松島湾における水温ロガー設置地点

2.2.6 水温連続測定結果の推移

水温ロガー設置地点における2010年6月から12月までの、水温連続測定結果の推移をまとめた。

3 結果および考察

3.1 ダミー変数を用いた重回帰分析結果

表3にダミー変数を用いた重回帰分析結果を示す。傾き効果(°C/月)は、月あたりの水温上昇率を示し、各月の値は、重回帰分析で得られた季節効果の係数である。

気仙沼湾大島北沖は統計的に有意な結果は得られず、海水温のトレンドはみられなかった。この基準点は、大川の河口に近いことから、陸水の影響を直接受けていることが原因と考えられる。

外洋に面している鮎川湾御番所崎沖は、3月と4月は毎年欠測となっており、10ヶ月分の解析結果となっている。有意な値ではないが、0.0012(°C/月)という僅かなトレンドが得られた。

松島湾桂島西における傾き効果については、危険率1%で有意な結果が得られ、トレンドは0.0033(°C/月)で年間0.0396°Cとなり、観測が始まって以来34年間で約1.35°C上昇という結果が得られた。内湾のため気温の影響を受けやすいことが原因と考えられる。

表2 ダミー変数を用いた重回帰分析結果

地点名	気仙沼湾 大島北沖	鮎川湾 御番所崎沖	松島湾 桂島西
傾き効果 (°C/月)	-0.0003	0.0012	0.0033**
4月(°C)	-4.0086	-	-3.1360
5月(°C)	-1.1365	-3.4822	0.6695
6月(°C)	2.9481	0.1715	4.7456
7月(°C)	5.0046	4.1929	8.3953
8月(°C)	8.3736	6.6660	11.0449
9月(°C)	7.5052	6.6970	8.6681
10月(°C)	4.1835	3.5894	4.0795
11月(°C)	0.8403	0.0463	-1.1032
12月(°C)	-2.8304	-2.7247	-5.7693
1月(°C)	-6.4463	-7.0626	-9.5878
2月(°C)	-7.2654	-	-9.1911

\*\*危険率1%で有意

3.2 12ヶ月移動平均法による解析結果

図4-1~3に、12ヶ月移動平均法により季節調整を行った単回帰分析結果を示す。

緑線は過去30数年間における水温実測値を示しており、季節変動の振幅が顕著に確認できる。

青線は季節調整として12ヶ月移動平均した値を示しており、その線形分析(単回帰分析)結果を赤線で示した。その結果、

大島北沖:  $Y=7E-05X+13.694$

御番所崎沖:  $Y=0.0011X+15.376$

桂島西:  $Y=0.0032X+13.593$

となり、重回帰分析とほぼ同様の結果が得られた。

桂島西の水温トレンドは0.0032(°C/月)であり、重回帰分析結果の0.0033(°C/月)とほぼ同様の値を示した。ただし、季節変動を含む時系列データに単回帰分析を適用すると、季節変動が誤ってトレンドと認識されることがあるため、避けた方が望ましい<sup>3)</sup>との報告がある。

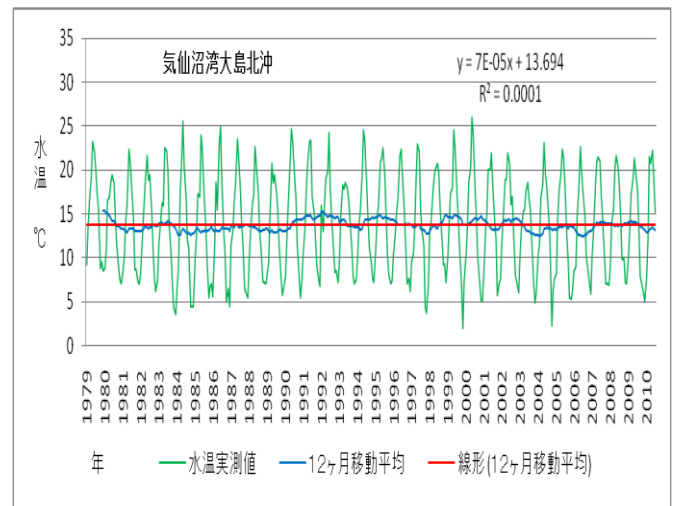


図 4-1 12 ヶ月移動平均(大島北沖)

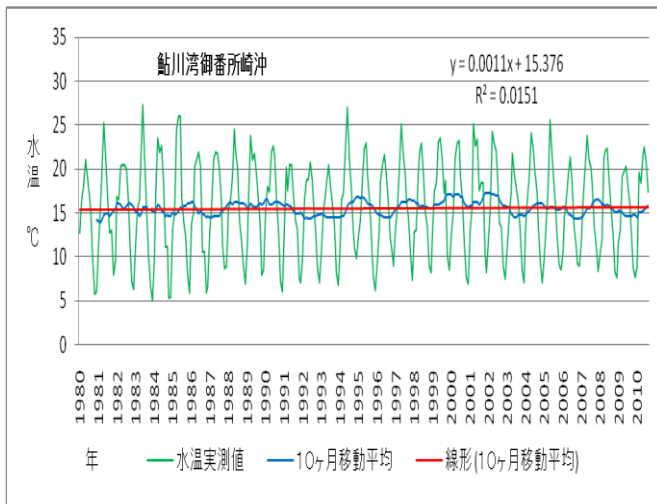


図 4-2 12 ヶ月移動平均(御番所崎沖)

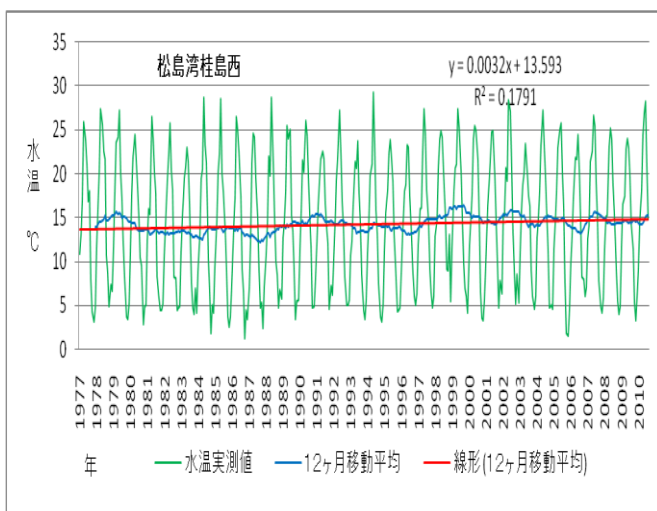


図 4-3 12 ヶ月移動平均(桂島西)

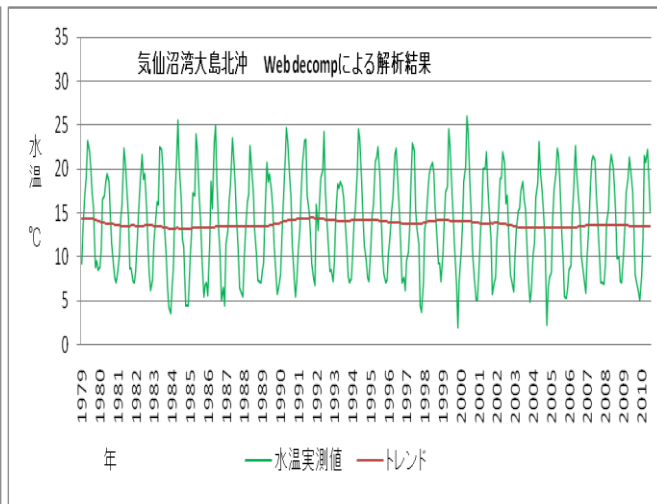


図 5-1 Web-decomp(大島北沖)

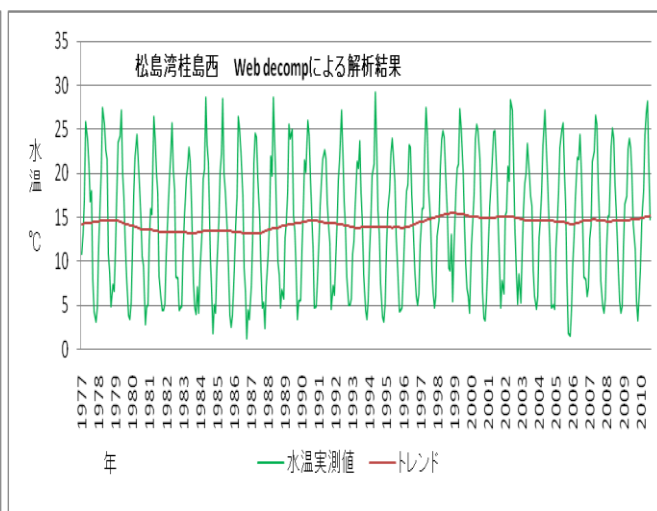


図 5-2 Web-decomp(桂島西)

### 3.3 Web-decomp による解析結果

図 5-1～2 に統計数理研究所の Web-decomp による海水温トレンドの解析結果を示す。

緑線は水温実測値で、振幅は季節変動である。赤線が解析結果であり、大島北沖についてはトレンドがほぼ水平であるが、桂島西では 1980 年代は 13℃、2000 年代では 15℃をキープしており、明確な海水温度の上昇トレンドが確認できる。

なお、御番所崎沖については欠測月を有しているため解析対象から除外した。

### 3.4 気温のトレンド

図 6 に江ノ島における年平均気温の推移を示す。

気象庁気象統計情報のデータによると、江ノ島における年平均気温のトレンドは、0.0348(℃/年)であり、最近 27 年間で 0.94℃上昇という結果が得られた。<sup>4)</sup>

なお、仙台管区気象台では、東北地方の年平均気温は 100 年あたりで 1.64℃上昇したと報告している。<sup>5)</sup>

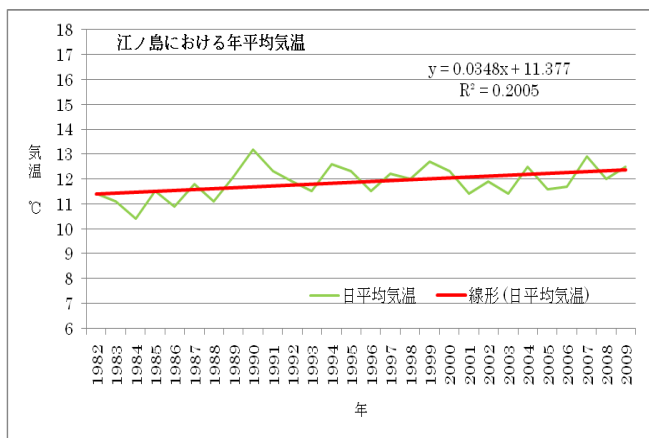


図6 江ノ島における年平均気温（気象統計情報）

3.5 公共用水域データと連続測定データの比較

表4に、公共用水域データと連続測定データの比較結果を示す。

公共用水域データは松島湾桂島西のデータで、月1回測定した瞬時値であり、連続測定データは水温ロガーデータで1日24時間毎正時のデータである。比較には月1回の採水測定時間に最も近いロガーの正時データを使用した。

データは5件であるが、両地点では平均0.38℃の水温差があるという結果が得られた。相関係数は0.999と非常に高く、1km離れていることを考慮しても、ほぼ同様の測定結果が得られたものと考えられる。

表4 公共用水域データと連続測定データの比較

測定日	公共用水域 (桂島西)		連続測定 (水温ロガー)		水温差 (℃)
	測定時間	水温(℃)	測定時間	水温(℃)	
2010/7/5	6:22	24.4	6:00	25.1	0.7
2010/8/4	5:54	26.9	6:00	27.3	0.4
2010/9/6	9:05	28.2	9:00	28.2	0.0
2010/10/6	11:07	20.8	11:00	21.4	0.6
2010/11/8	6:56	14.8	7:00	15.0	0.2

相関係数=0.999

水温差平均=0.38

3.6 水温連続測定結果の推移

図7に松島湾における2010年6月24日から12月21日までの水温連続測定結果(1時間値)の推移を示す。赤線は表層水温、青線は底層水温で、短い振幅は日変動である。

2010年の夏は猛暑に見舞われ、松島湾の表層水温は30℃を超える日もあった。5m程度の水深でも夏期は表層と底層に温度差が出現し成層を確認できるが、10月以降は対流期に入り温度差が消滅している。

9月下旬に台風12号が通過し、それ以降海水温は5℃低下している。

水温ロガーは連続データが収集可能なので、詳細な温度変化の解析には有用な測定機器であることから、C型共同研究参加機関に広く設置を呼びかけ、データは国環研に集約しHPにより公開する予定となっている。

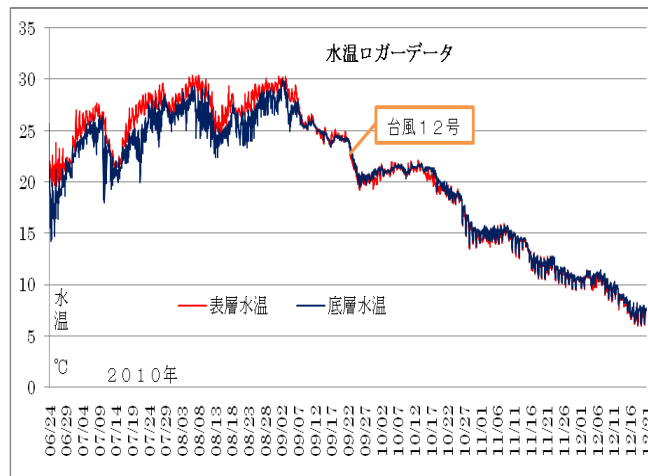


図7 水温連続測定結果の推移

4 まとめ

宮城県内の沿岸域3地点において、30年以上にわたり集積された公共用水域水質測定結果を使用し、海水温の解析を行ったところ、以下の結果が得られた。

①ダミー変数を用いた重回帰分析結果によると、松島湾桂島西については、危険率1%で有意な結果が得られ、トレンドは0.0033(℃/月)で年間0.0396℃となり、観測が始まって以来34年間で約1.35℃上昇という結果が得られた。なお、大島北沖、御番所崎沖については有意な結果は得られなかった。

②12ヶ月移動平均法により季節調整を行った単重回帰分析結果についても、重回帰分析結果と同様の結果が得られた。

③統計数理研究所のWeb-decompにより解析したところ、大島北沖についてはトレンドが明確ではないが、桂島西では明確な海水温上昇トレンドが確認された。

④江ノ島における年平均気温のトレンドは、0.0348(℃/年)であり、最近27年間で0.94℃上昇という結果が得られた。

⑤環境基準補助点である桂島西における月1回の測定データと、近隣に設置した24時間連続測定データ5件分を比較したところ、両地点では平均0.38℃の水温差があるという結果が得られた。相関係数は0.999と非常に高く、1km離れていることを考慮しても、ほぼ同様の測定結果が得られたものと考えられる。

⑥松島湾における2010年6月から12月までの水温連続測定結果によると、9月下旬に台風が通過し、それ以降海水温が5℃低下し、その後対流期に入ったものと考えられる。

本報告は県内沿岸域3地点のみの解析結果であるが、C型共同研究に参加している26機関により、全国規模で海水温のトレンドを把握することとしており、今後全国的な傾向が明らかになる予定となっている。

## 5 参考文献

1) 二宮勝幸, 柏木宣久他: 東京湾生部海域における

表層水温のトレンド: 横浜市環境科学研究所所報第34号2010

2) Web-decomp: 統計数理研究所 HP

<http://ssnt.ism.ac.jp/inets2/japaneseVersion/title.html>

3) 二宮勝幸, 柏木宣久: 単回帰分析による季節時系列のトレンド推定の問題点: 横浜市環境科学研究所所報第34号2010

4) 宮城県江ノ島の気温: 気象庁気象統計情報

5) 地球温暖化による東北地方の気候への影響: 仙台管区气象台