

# 博多湾における海水温等の経年変化と 水温ロガーによる海水温の連続観測

野中研一・岩佐有希子・藤代敏行

福岡市保健環境研究所環境科学課

## Long-term Transition of Seawater Temperature and Continuous Observation of Seawater Temperature by Temperature Logger in Hakata Bay

Kenichi NONAKA, Yukiko IWASA and Toshiyuki FUJISHIRO

Environmental Science Division, Fukuoka City Institute for Hygiene and the Environment

### 要約

福岡市では博多湾における水質調査を1974年度から実施している。気温や海水温は調査時の気象状況などと関連する基本的な項目として毎回測定しており、膨大なデータが蓄積されている。そこで、湾内環境基準点のうち3地点（東部、中部、西部各海域から1地点）における1981年度から2008年度まで28年間の海水温データを整理し、ダミー変数を用いた重回帰分析により海水温の変動傾向を確認した。その結果、全ての地点で海水温は上昇傾向にあり、中部、東部海域の表層を除き海水温の上昇傾向は1%危険率で有意であったが、2000年4月以降の傾向は5%危険率で統計的に有意とはならなかった。

2010年3月、博多湾内に水温ロガーを設置し、表層、中層、底層での連続的な海水温の計測を開始した。設置後、海水温は徐々に上昇し8月中旬に最高となり、その後徐々に低下し1月下旬に最低となった。また海域での成層の形成は、4月以降に始まり7月下旬にかけて徐々に強化され、その後9月下旬まで成層の形成は続いたのち解消された。

**Key Words :** 温暖化 global warming, 公共用水域の水質測定結果 result of water quality survey in public water area, 博多湾 Hakata Bay, 海水温 sea water temperature, 気温 air temperature, COD chemical oxygen demand, 水温ロガー temperature logger

## 1 はじめに

福岡市では、博多湾における水質調査を1974年度から実施している。その際、気温や海水温は調査時の気象状況などと関連する基本的な項目として毎回測定しており、膨大なデータが蓄積されている。

日本沿岸の水環境について、地球温暖化による影響としてはサンゴ礁の白化、生息域の変化（北上など）があげられ、日本近海の海水温上昇も気象庁の「海洋の健康診断表（海洋の総合情報）」（<http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/shindan/>）等で報告されている。また、外洋に面するA類型に指定されているような非汚濁海域でのCODの漸増傾向も報告されている。そこで、本市でこれまで蓄積してきた博多湾における気温、海水温をはじめとした水質調査データを活用・解析し、水環境からみた

温暖化の影響について検証したので報告する。

また、2010年3月、博多湾内に水温ロガーを設置し、表層、中層、底層での連続的な海水温の観測を開始した。約1年間のデータが得られたので、その結果を併せて報告する。

なお、本報告は国立環境研究所と地方環境研究所とのC型共同研究の成果の一部を使用した。

## 2 データ解析および海水温の観測方法

### 2.1 解析地点の選定

#### 2.1.1 調査地点

福岡市では、現在博多湾内環境基準点（8地点）および補助地点（3地点）において水質調査を行っている。

博多湾における調査地点の位置を図 1，また水質調査データの保有状況について表 1 にまとめた。



図 1 博多湾水質調査地点位置図（環境基準点）

表 1 水質調査データの保有状況など

|                            |                                                                                                                                                 |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 頻度                         | 環境基準点：12回/年，補助地点：4回/年                                                                                                                           |
| 水深                         | 表層(0.5m)，中層(2.5m)，底層(水深より1m上)                                                                                                                   |
| 過去の水質データの蓄積，整備状況，データの電子化状況 | ・電子データ：1995年度～2008年度<br>・紙データ：1974年度～（一部を除く）                                                                                                    |
| 測定項目                       | 環境基準項目，水温，透明度，DO(中・底層)，<br>(頻度：月1回) SS，塩化物イオン，NO <sub>2</sub> -N，NO <sub>3</sub> -N，NH <sub>4</sub> -N，<br>PO <sub>4</sub> -P，ケイ酸，クロロフィル，溶解性COD |
| 委託化の状況                     | ・採水，現場観測：1990年度～<br>・分析：2007年度～                                                                                                                 |

水温測定方法：全期間バケツ等に試料を採取後に測定  
・平成元年度まで：棒状温度計による測定  
・平成2年度（委託化）以降：デジタル式温度計による測定

### 2.1.2 データの収集・電子化

博多湾環境基準点における水質調査データについて，1981年4月から2008年3月までを解析の対象期間とし，データの電子化および整理を行った。

### 2.1.3 重点的解析地点の選定

水質調査地点のなかから，過去からのデータの蓄積状況（可能な限り長期間のデータが存在する），整備状況（欠測がない，もしくは少ない），調査地点の地理的特性（開発による地形の変化や陸域からの流入水による影響を受けにくい）などの観点から西部海域の W3 地点，中部海域の C1 地点の 2 地点を選定した。また，参考として東部海域の E2 地点もあわせて解析した。各調査地点の位置を表 2 に示した。

## 2.2 海水温変動状況の解析

### 2.2.1 ダミー変数を用いた重回帰分析

公共用水域における常時監視時の月データのように時

表 2 重点解析地点等の位置

| 海域 | 地点名 | 世界測地系     |            | 備考      |
|----|-----|-----------|------------|---------|
|    |     | 緯度(北緯)    | 経度(東経)     |         |
| 東部 | E2  | 33°38'37" | 130°22'43" | -       |
| 中部 | C1  | 33°37'40" | 130°19'52" | 重点的解析地点 |
| 西部 | W3  | 33°39'38" | 130°15'11" | 重点的解析地点 |

間軸の上で一定の間隔で得られるデータのことを時系列データといい，この時系列データには，傾向変動，循環変動，季節変動，不規則変動など複数の変動要因が含まれている。傾向変動（Trend）とは，時間とともに上昇もしくは下降していくというように，一方的な傾向を持続する長期的，系統的な変動のことで，時間軸上で単純な線形の関数などで表される。循環変動（Cyclical）とは，トレンドの周りで上下する，一般的には周期が定まっていない循環的な変動（景気変動など）のこと，季節変動（Seasonal）とは，季節によって左右される 1 年を周期として規則的に繰り返される変動のこと，不規則変動（Irregular）とは，これら以外の説明が付かない不規則かつ短時間の上下におこる小さな変動（ランダムノイズ）のことである<sup>1)</sup>。このような時系列データを用いて，過年度からの海水温や気温の上昇傾向（傾向変動）についての解析を試みる場合，傾向変動以外の季節変動，不規則変動などの変動要素を取り除く必要がある。その手法として，ダミー変数を用いた重回帰分析法がある。ダミー変数とは，説明変数が 0 か 1 かいずれかの値をとるもので，例えば 0 の場合は効果なし，1 の場合は効果ありという使い方で活用される<sup>2)</sup>。

### 2.2.2 不規則変動要因の確認

ダミー変数を用いた重回帰分析を行うにあたり，通常説明変数として季節変動を用いるが，それ以外の変動要因として採水日，採水時刻による海水温への影響について確認した。

## 2.3 水温口ガーによる海水温の連続観測

### 2.3.1 経緯

地球温暖化による海水温の変動状況について気温変動との関連から解析を行うにあたり，より詳しく気温の変動状況を把握するための気温データとして気象庁の連続観測データがある。この気象庁の気温データに対応する海水温の連続観測データを得るため，博多湾内に水温口ガーを設置した。

設置場所の選定にあたり 重点的解析地点 W3 に比較的近い場所，陸域からの流入水による影響が少ない場所，波の影響等による破壊や紛失などの恐れがない場所として検討した結果，唐泊漁港（福岡市西区唐泊）の防波堤内側に決定し，2010 年 3 月下旬に設置した。設置

地点は図 2 に示すとおりで、W3 地点までの距離は直線にして約 3km である。

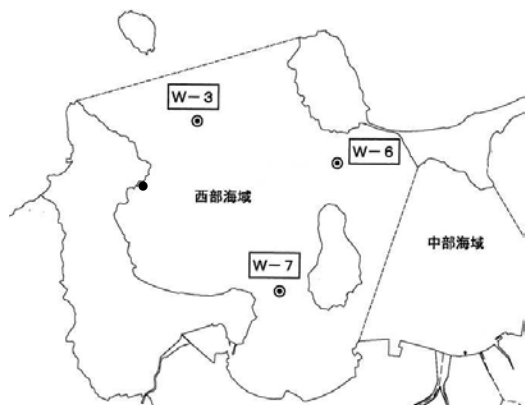


図 2 水温ロガー設置位置（●：唐泊）

### 2.3.2 水温ロガーの仕様と設置状況

図 3 に水温ロガーの写真，図 4 に設置状況の概要，表 3 に主な仕様を示した。漁港内の筏に 2 本のロープを吊し，表層用は海面下 0.5m，中層用は海面下 3～4m，底層用は，海底から 1m のところに取り付けた。また藻類，イガイなど海生生物等の付着を防止するため水温ロガーを銅網で覆った。なお，データ採取は 10 分間隔とした。

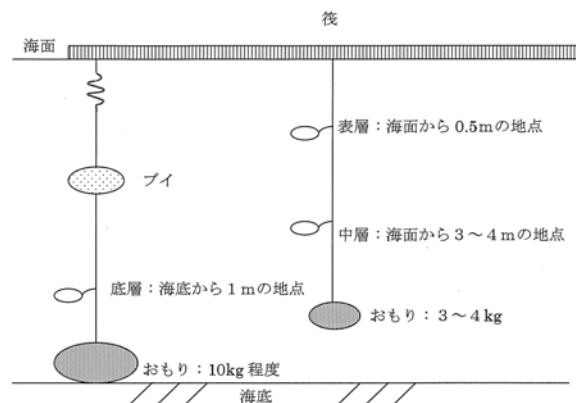


図 4 水温ロガー設置状況

## 3.1 海水温変動状況の解析

### 3.1.1 不規則変動要因の確認

#### 1) 採水日による影響

通常海水温は，春季から夏季にかけて気温の上昇に伴い上昇し，秋季から冬季にかけて気温の低下に伴い低下する傾向がある。水質調査時のデータは各地点各月 1 個のデータであるが，その月を代表するものとして取り扱われる。しかし，通常月初めに行われる採水が荒天など天候の影響により月の後半に延期されることがある。このような場合，気温の上昇時期であれば採水日の遅れは気温や海水温の上昇に繋がり，逆に気温の低下時期であれば採水日の遅れは気温や海水温の低下に繋がると考えられる。図 5 に 1981 年度から 2007 年度までの 4 月の水質調査実施日の状況を示したが，4 日から 27 日の間で不規則に変動しており，この傾向は他の月についても同様であった。このことから採水日による海水温への影響は，不規則変動要因として考慮する必要があると推定された。

図 3 水温ロガー

表 3 水温ロガーの主な仕様

| 名称      | HOB0ペンダント温度/照度データロガー                                 |
|---------|------------------------------------------------------|
| 温度 計測範囲 | 水中：0～50，空气中：-20～70                                   |
| 精度      | 0.47 at25                                            |
| 分解能     | 0.1 at25                                             |
| 応答速度    | 水中：5分，空气中(流速1m/S)：10分                                |
| 寸法/重量   | 寸法：58×33×23mm，重量：18g                                 |
| 材質      | ポリプロピレン                                              |
| メモリ     | UA-002-64 温度+照度：28,975点<br>温度のみ：52,155点，照度のみ：65,194点 |
| 時間精度    | ±1分/月 at25                                           |
| バッテリー寿命 | 1年（一般的使用条件）                                          |

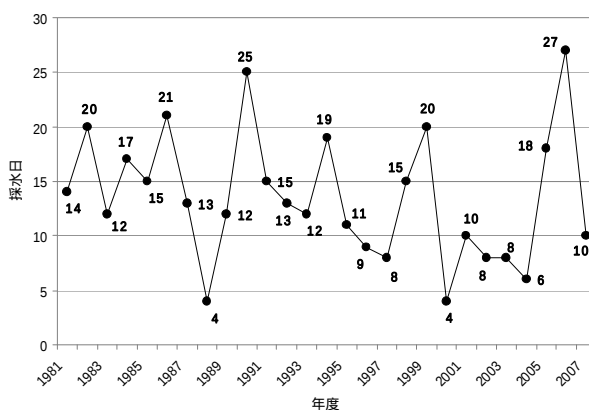


図 5 水質調査採水日の状況(1981 年度～2007 年度：4 月)

## 3 結果および考察

### 2) 採水時刻による影響

一日の海水温の変化について図 6 に 7 月，図 7 に 12

月の状況を示した。これらの図は後ほど記述する水温ロガーによる海水温の連続観測（10分間隔）データ（2010年4月から2011年1月）を用いて月毎に正時の平均海水温を算出したものの一部で、これらの図から夏季の海水温は9時頃から上昇を始め18時頃最大となり、冬季の海水温は9時頃から上昇を始め16時頃最大になると推定された。従って水質調査で通常採水を行う午前中は、海水温の上昇する時間帯となる。

また表4に先程記した2010年4月から2011年1月までの月毎の毎正時（8時から13時）の平均海水温を示した。この表から2010年4月から2011年1月までを平均すると9時から10時まで、10時から11時までの1時間ではともに0.10℃、海水温が上昇していることになる。

参考として1981年度から2007年度までのW3地点における水質調査の採水時刻（4月）を図8に示した。採水時刻は、9時46分から10時52分の間で不規則に変動しており、このような変動の傾向は他の月においても同様であったが、なかには通常採水を行う時間帯から数時間ずれて採水を行っている場合もあった。

以上のことから採水時刻の遅れによる影響については、不規則変動要因として考慮する必要があると推定された。

### 3.1.2 最適モデルの確認

ダミー変数を用いた重回帰分析を行うにあたり、様々な説明変数の組み合わせにより複数のモデルを作成したのち各モデルに実測データをあてはめ、そのなかから最適なモデルを決定した。

説明変数としては、傾向変動に関する傾き成分、季節変動に関する季節成分、不規則変動に関するものとして採水日の遅れによる日遅れ成分、採水時刻の遅れによる時刻成分の2つ、合わせて4成分を選定し、それらを組み合わせた表5に示す5つのパターン（モデル）について検討した。傾き成分は、採水年月に対応しており、その偏回帰係数（傾き効果）が海水温変化率（℃/月）となる。季節成分は、各月の季節効果を表す成分で、ダミー変数として季節効果に該当する月を1、それ以外の月を0とした<sup>2)</sup>。また、日遅れ成分としては、採水日が16日以降であった場合を1、それ以外を0とし、時刻成分としては、採水時刻が当該採水地点における解析期間（1981年度～2008年度）内の平均時刻から1時間以上前

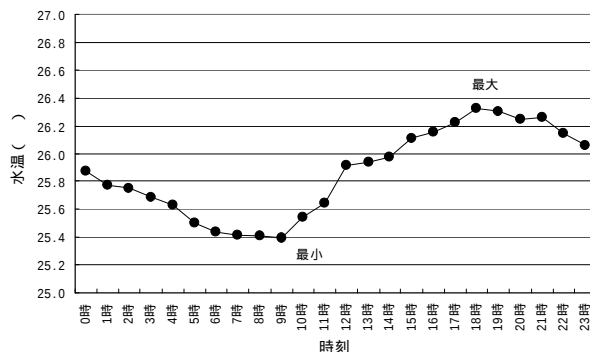


図6 海水温変動パターン(7月)

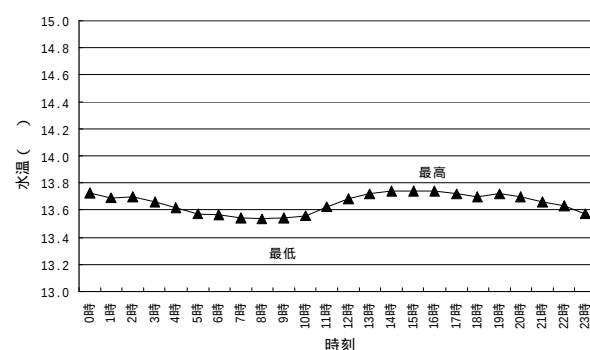


図7 海水温変動パターン(12月)

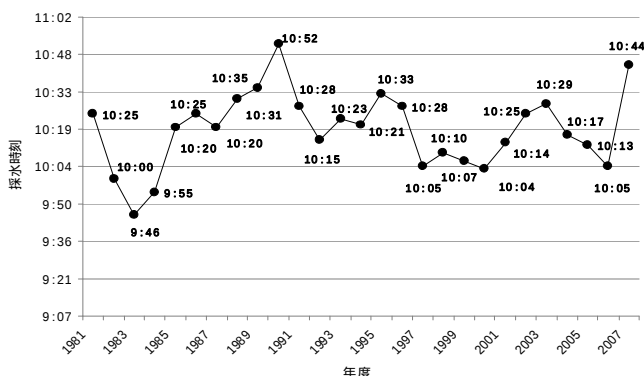


図8 水質調査採水時刻  
(W3地点、1981～2007年度：4月)

表5 説明変数の組み合わせモデル

|      | 傾き成分 | 季節成分 | 日遅成分 | 時刻成分 |
|------|------|------|------|------|
| モデル1 | ○    |      |      |      |
| モデル2 | ○    | ○    |      |      |
| モデル3 | ○    | ○    | ○    |      |
| モデル4 | ○    | ○    |      | ○    |
| モデル5 | ○    | ○    | ○    | ○    |

表4 正時の海水温データ（水温ロガーによる月平均値）

| 採水時刻 | 4月   | 5月   | 6月   | 7月   | 8月   | 9月   | 10月  | 11月  | 12月  | 1月  | 平均    | Δ(℃) |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-------|------|
| 8時   | 14.1 | 17.9 | 21.8 | 25.4 | 28.5 | 27.2 | 22.5 | 17.1 | 13.5 | 9.0 | 19.70 | -    |
| 9時   | 14.2 | 17.9 | 21.8 | 25.3 | 28.5 | 27.2 | 22.5 | 17.1 | 13.5 | 9.0 | 19.70 | 0.00 |
| 10時  | 14.3 | 18.0 | 21.9 | 25.5 | 28.6 | 27.3 | 22.6 | 17.2 | 13.5 | 9.1 | 19.80 | 0.10 |
| 11時  | 14.4 | 18.1 | 22.0 | 25.6 | 28.8 | 27.4 | 22.7 | 17.2 | 13.6 | 9.1 | 19.89 | 0.10 |
| 12時  | 14.5 | 18.2 | 22.2 | 25.9 | 29.0 | 27.5 | 22.7 | 17.3 | 13.6 | 9.1 | 20.00 | 0.11 |
| 13時  | 14.7 | 18.4 | 22.3 | 25.9 | 29.1 | 27.6 | 22.8 | 17.4 | 13.7 | 9.2 | 20.11 | 0.11 |

1時間前の平均温度との差

表6 AIC のモデルによる比較結果

| 解析地点    | モデル             |  | モデル1     | モデル2     | モデル3     | モデル4     | モデル5        |
|---------|-----------------|--|----------|----------|----------|----------|-------------|
|         | 説明変数            |  | 傾き       | 傾き+季節    | 傾き+季節+日遅 | 傾き+季節+時刻 | 傾き+季節+日遅+時刻 |
| W3地点 表層 | A I C           |  | 2124     | 1075     | 1071     | 1075     | 1071        |
|         | 傾き成分P値          |  | 0.549371 | 0.000021 | 0.000081 | 0.000022 | 0.000088    |
|         | 傾き成分の偏回帰係数( /月) |  | 0.0018   | 0.0028   | 0.0026   | 0.0028   | 0.0026      |
|         | 底層 A I C        |  | 2059     | 1055     | 1053     | 1055     | 1053        |
|         | 傾き成分P値          |  | 0.489210 | 0.000015 | 0.000042 | 0.000015 | 0.000044    |
|         | 傾き成分の偏回帰係数( /月) |  | 0.0020   | 0.0028   | 0.0027   | 0.0028   | 0.0027      |

表7 海水温の重回帰分析結果( C1 地点, E2 地点 )

| 調査地点            | C1地点     |          | E2地点     |          |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|
|                 | 表層       | 底層       | 表層       | 底層       |
| 傾き成分P値          | 0.075719 | 0.000887 | 0.144747 | 0.002434 |
| 傾き成分の偏回帰係数( /月) | 0.0014   | 0.0025   | 0.0012   | 0.0025   |

表8 海水温重回帰分析結果の解析期間による比較

| 解析期間            | 調査地点            | W3地点     |          | C1地点     |          | E2地点     |          |
|-----------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                 |                 | 表層       | 底層       | 表層       | 底層       | 表層       | 底層       |
| 1981.4 ~ 2009.3 | 傾き成分P値          | 0.000081 | 0.000042 | 0.075719 | 0.000887 | 0.144747 | 0.002434 |
|                 | 傾き成分の偏回帰係数( /月) | 0.0026   | 0.0027   | 0.0014   | 0.0025   | 0.0012   | 0.0025   |
| 1981.4 ~ 2000.3 | 傾き成分P値          | 0.000454 | 0.000175 | 0.055666 | 0.006722 | 0.107478 | 0.001597 |
|                 | 傾き成分の偏回帰係数( /月) | 0.0042   | 0.0045   | 0.0028   | 0.0037   | 0.0025   | 0.0048   |
| 2000.4 ~ 2009.3 | 傾き成分P値          | 0.288397 | 0.889898 |          |          |          |          |
|                 | 傾き成分の偏回帰係数( /月) | 0.0038   | 0.0005   |          |          |          |          |

または後に行われた場合を1, それ以外の月を0とした。各パターンについてダミー変数を用いた重回帰分析を行い, さらに赤池情報量基準(AIC)を求め, その値が最も小さくなるモデルを選定した。なおAICは, 統計モデルの良さを評価するための指標であり, 最小の値をもつモデルが良いモデルと判断される<sup>2)3)</sup>。

表6に重点的解析地点W3における1981年4月から2009年3月までの28年間の表層および底層の海水温についてモデル毎にダミー変数を用いた重回帰分析を行った結果とAICの結果を示した。AICが最小となったモデルは, 表層, 底層いずれにおいてもモデル3(傾き成分+季節成分+日遅れ成分)とモデル5(傾き成分+季節成分+日遅れ成分+時刻成分)で, 同じ値であった。また, 傾き成分P値(以下, 「P値」という。)はともに0.01以下となり1%危険率で統計的に有意であった。モデル3とモデル5の違いは, 時刻成分の有無のみで, 時刻成分を説明変数に加えてもAICが変わらないことからモデル3を最適モデルとし, 以降のダミー変数を用いた重回帰分析(海水温)にはモデル3を用いることとした。なお, C1地点についてもモデル3が最適であった。

### 3.1.3 ダミー変数を用いた重回帰分析の結果

#### 1) 海水温

W3地点以外の重点的解析地点であるC1地点と今回参考として解析を行った東部海域のE2地点についてもW3地点と同様に1981年4月から2009年3月までの28年間の海水温(表層, 底層)データを用いてモデル3により重回帰分析を行った。その結果を表7に示す。両地点と

もに表層, 底層において傾き成分の偏回帰係数は正の値となり海水温は上昇傾向となった。また両地点ともに底層ではP値が0.01以下となり海水温の上昇傾向は1%危険率で統計的に有意となった。しかし, W3地点とは異なりC1地点, E2地点の表層ではP値が0.05以上となり海水温の上昇傾向は5%危険率で統計的に有意とはならなかった。

また, W3地点の海水温は2000年以降, ほぼ横ばいの傾向にある<sup>4)</sup>ことから解析期間を1981年4月から2000年3月と2000年4月から2009年3月の2つに分け, それぞれについてダミー変数を用いた重回帰分析を行った。その結果を表8に示した。C1地点とE2地点の表層では, 解析期間を1981年4月から2000年3月とした場合においても傾き成分の偏回帰係数は正の値であるが, P値は0.05以上となり海水温の上昇傾向は5%危険率で統計的に有意とはならなかった。その他の地点(W3(表層, 底層), C1(底層), E2(底層))について傾き成分の偏回帰係数の値を解析期間1981年4月から2009年3月までと解析期間1981年4月から2000年3月までとで比較すると, いずれの地点においても解析期間1981年4月から2000年3月の方が1981年4月から2009年3月までよりも大きくなった。このことから, 海水温の上昇傾向は2000年3月までの方が強かったものと推定された。また, 解析期間1981年4月から2000年3月までにおける海水温の上昇傾向は, P値が0.01以下となり1%危険率で統計的に有意であった。

なお, 解析期間2000年4月から2009年3月までにおけるW3地点でのダミー変数を用いた重回帰分析結果

表9 W3 地点気温重回帰分析結果の解析期間による比較

| 解析期間            | 1981.5～2009.3 | 1981.5～2000.3 | 2000.4～2009.3 |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| 傾き成分P値          | 0.1363        | 0.0099        | 0.4071        |
| 傾き成分の偏回帰係数( /月) | 0.0020        | 0.0065        | -0.0056       |

表10 W3 地点における COD 重回帰分析結果の解析期間による比較

| 調査地点 | 解析期間               | 1981.4～2009.3 | 1981.4～1996.3 | 1996.4～2009.3 |
|------|--------------------|---------------|---------------|---------------|
| 表層   | 傾き効果P値             | 1.39717E -15  | 4.5665E -10   | 0.430040747   |
|      | 傾き成分の偏回帰係数(mg/L・月) | 0.0026        | 0.0047        | -0.00077      |
| 底層   | 傾き効果P値             | 5.17142E -10  | 0.000400239   | 0.451457327   |
|      | 傾き成分の偏回帰係数(mg/L・月) | 0.0014        | 0.0023        | -0.00039      |

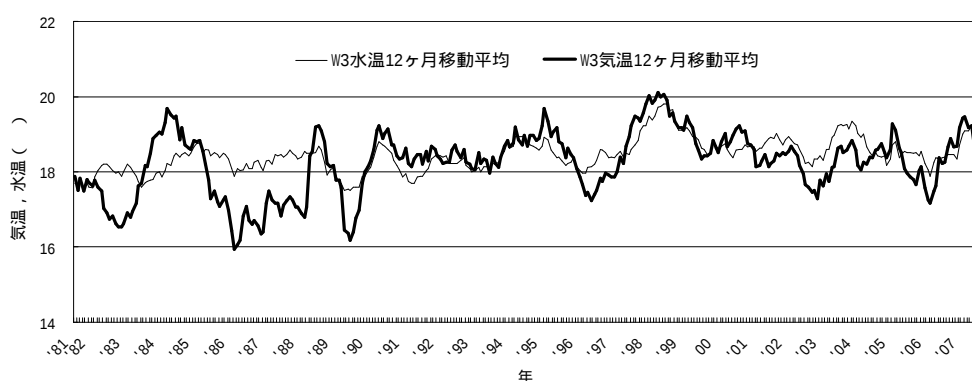


図9 W3 地点表層水温と気温データの12ヶ月移動平均(1981年5月～2008年3月)

は、P 値が 0.2 以上となり危険率も 20%以上となったことから統計的な有意性が低いと判断し、他の地点について重回帰分析を行わなかった。

## 2) 気温

W3 地点における 1981 年 5 月(4 月は欠測)から 2009 年 3 月までの気温の実測値を用いてダミー変数を用いた重回帰分析を行った。モデルには、気温の変動は海水温の変動と類似した傾向を示すものと推定されたことから海水温と同じモデル 3 を使用した。また、解析期間を 1981 年 5 月から 2000 年 3 月までと 2000 年 4 月から 2009 年 3 月までの 2 つに分け、それぞれについてもモデル 3 により重回帰分析を行った。その結果を表 9 に示した。解析期間を 1981 年 5 月から 2009 年 3 月までと 1981 年 5 月から 2000 年 3 月までとした場合、いずれの期間においても傾き成分の偏回帰係数は正の値となり気温は上昇傾向を示した。しかし、解析期間 1981 年 5 月から 2009 年 3 月まででは、P 値が 0.05 以上となり気温の上昇傾向は 5% 危険率で統計的に有意とはならなかった。傾き成分の偏回帰係数の値を比較すると、解析期間が 1981 年 5 月から 2000 年 3 月までの方が 1981 年 5 月から 2009 年 3 月までに比べ 3 倍以上大きな値となり、気温の上昇傾向は 2000 年 3 月までの方が強かったものと推定された。

なお解析期間 2000 年 4 月から 2009 年 3 月までは、傾き成分の偏回帰係数は負の値を示し気温は低下傾向となったが、P 値が 0.05 以上となり気温の低下傾向は 5% 危

険率で統計的に有意とはならなかった。

さらに、1981 年 5 月から 2008 年 3 月までの W3 地点における表層海水温と気温データを 12 ヶ月移動平均化法により平準化したグラフを図 9 に示した。気温と海水温の変動の傾向を比較すると 1980 年代の当初では異なるところもあるが、それ以降は気温と海水温の上昇と低傾向は双方で類似していた。また、気温と海水温ともに一次回帰解析の結果では、回帰直線の傾きは正の値となった。

## 3) COD

W3 地点の解析期間 1981 年 4 月から 2009 年 3 月までにおける COD の推移について、ダミー変数を用いた重回帰分析を行った。COD は海水温や気温と異なり、採水日や採水時刻などの不規則変動要因による影響は少ないと推定されることからモデル 2(傾き成分と季節成分)を使用した。また、W3 地点における COD の上昇傾向が 1990 年代前半で変化している<sup>4)</sup>ことから解析期間を 1981 年 4 月から 1996 年 3 月までと 1996 年 4 月から 2009 年 3 月までの 2 つに分け、それぞれについてもモデル 2 により重回帰分析を行った。その結果を表 10 に示した。解析期間を 1981 年 4 月から 2009 年 3 月まで、および 1981 年 4 月から 1996 年 3 月までとした場合、傾き成分の偏回帰係数はいずれも正の値となり COD は上昇傾向を示し、また P 値も 0.01 未満となり 1% 危険率で統計的に有意となった。また傾き成分の偏回帰係数の値を比較すると解

析期間 1981 年 4 月から 1996 年 3 月までの方が、1981 年 4 月から 2009 年 3 月までよりも大きな値となったことから、1981 年 4 月から 1996 年 3 月までの方で COD の上昇傾向が強かったと推定された。なお期間 1996 年 4 月から 2009 年 3 月では、傾き成分の偏回帰係数は負の値を示し COD は減少傾向となったが、P 値も 0.05 以上となり、COD の減少傾向は 5%危険率で統計的に有意とはならなかった。

### 3.2 水温ロガーによる海水温の連続観測

#### 3.2.1 気温、海水温の変動状況

図 10 に気象庁（福岡管区気象台）による 10 分毎の気温データをもとに求めた日平均気温および唐泊に設置した水温ロガーによる 10 分毎の海水温データをもとに求めた日平均海水温（表層、中層、底層）の変動状況についてグラフで示した。気温と海水温の変動幅は異なるが、温度の上昇と低下の時期はほぼ同じであった。水温ロガーによる海水温の観測を開始した 3 月下旬以降、気温と海水温はいずれも徐々に上昇し、8 月中旬に最高となった。その後徐々に低下し 1 月下旬に最低となり、再び上昇した。また 3 月下旬から 6 月上旬までは気温の変動範囲内を海水温が変動したが、その後 8 月下旬までは気温が海水温を上回り推移した。8 月下旬から 9 月下旬までの約 1 か月間は再び気温の変動範囲内を海水温が変動したが、それ以降は気温が海水温を下回り推移した。また海域での成層の形成は 4 月下旬に始まり、7 月下旬にかけて徐々に強化された。その後 9 月下旬まで成層の形成は続いたが、それ以降解消され表層から底層までほぼ同じ温度となった。

図 11 に最も海水温の日変動の大きかった 7 月について 7 月 1 日から 31 日までの正時の気象庁による気温データと水温ロガーによる海水温データ（各層）、気象庁による 1 時間あたりの降水量データ、1 時間あたりの日照時

間、全天日射量の変動状況（<http://www.jma-net.go.jp/fukuoka/>）を示した。表層海水温は気温変動と連動してほぼ同様のパターンで大きく変動しながら推移した。中層海水温は表層海水温と底層海水温の間を表層ほど気温の影響を受けることなく推移したが、7 月 10 日前後、20 日前後、27 日前後には大きな変動があった。唐泊漁港は水深が 7～8m 程度であるため中層水温ロガーは、表層から 3～4m のところに取り付けているが、潮位変動などによる影響の可能性も考えられた。底層海水温は、7 月下旬にやや上昇したが日変動はあまり大きくなかった。

また比較的まとまった降雨のあった時期（7 月上旬、中旬）は、日照時間、全天日射量ともに少なく、気温と表層海水温の上昇も少なかった。7 月中旬に海水温の上昇変動があったが、この時期は日照時間の多い日が続き、また気温が連続的に上昇し、かつ全天日射量も多い日が続いたことから海水への蓄熱が多くなったことなどが海水温上昇の可能性として考えられた。

さらに表 11 に 2010 年 4 月から 2011 年 1 月までの気象庁による気温データの日格差と水温ロガーによる表層海水温の日格差について、月毎の最高、最低、平均の値を示した。また図 12 に気温日格差のグラフ、図 13 に表層海水温日格差のグラフを示した。気温の日格差（最高）は春季（4、5 月）に大きく、夏季（7 月）に小さくなったが、表層海水温の日格差（最高）は春季から夏季にかけて大きくなり 7 月に最も大きくなった。また日格差の変動幅（最高と最低の差）についても同様の傾向があった。気温の日格差の変動は、1.5 から 15.0 の範囲（平均：6.9）であったのに対し、表層海水温の日格差の変動は、0.2 から 3.0 の範囲（平均：1.0）であり、表層海水温の日格差の平均値は、気温の日格差の平均値の約 7 分の 1 程度であった。

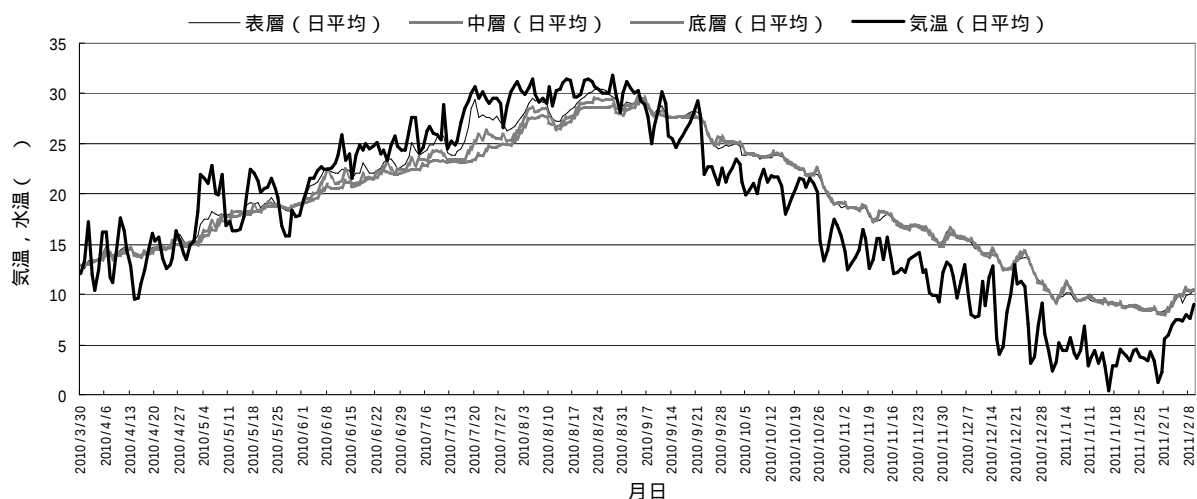
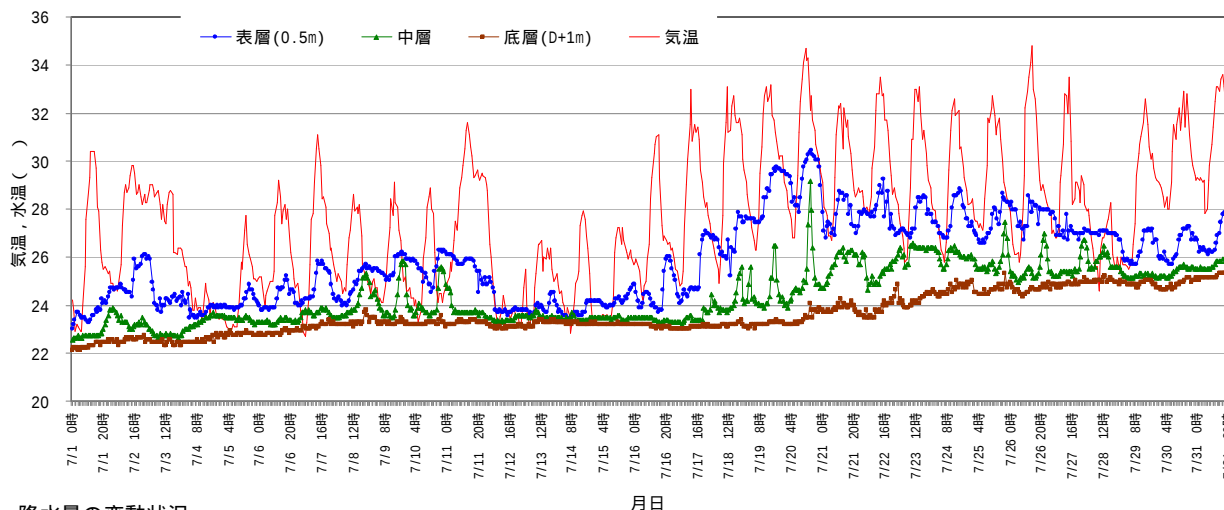
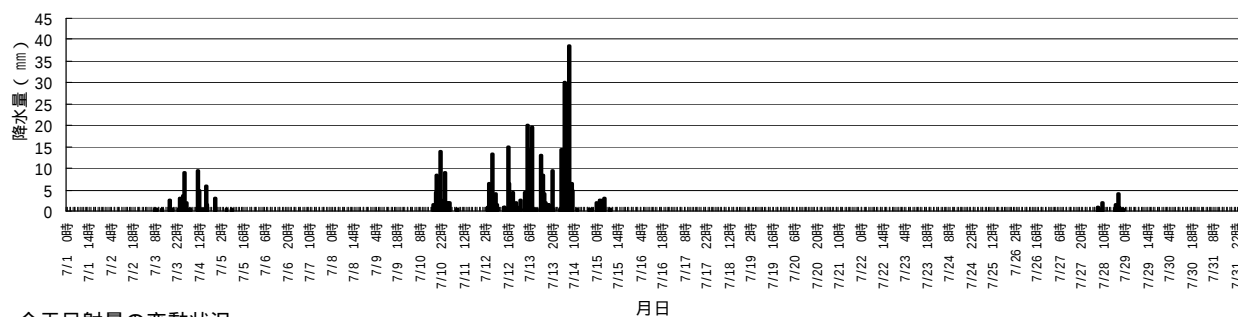


図 10 気温、海水温の変動状況（日平均データ：2010 年 3 月～2011 年 2 月）

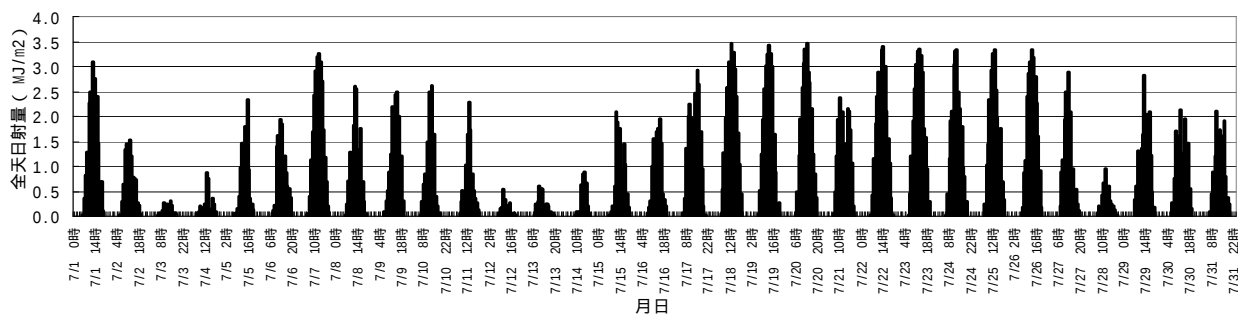
気温，水温の変動状況



降水量の変動状況



全天日射量の変動状況



日照時間の変動状況

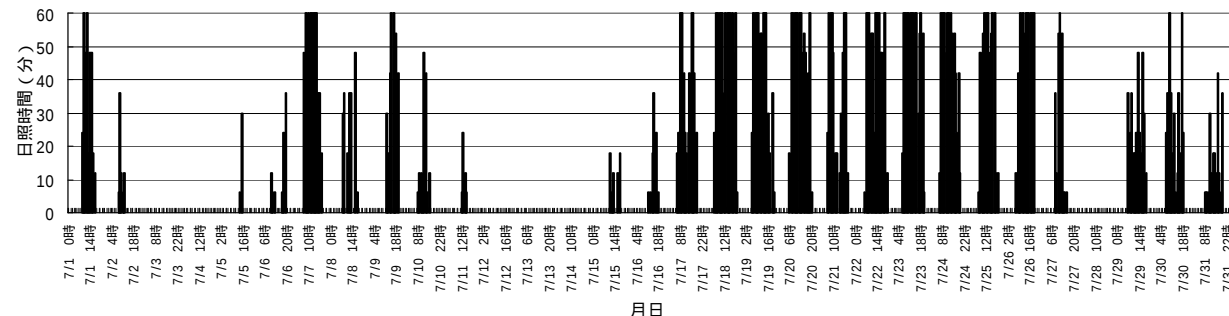


図 11 気温，海水温，降水量，日照時間，全天日射量の変動状況（正時データ：2010 年 7 月 1 日～7 月 31 日）

表 11 気温，海水温日格差の比較（2010 年 4 月～2011 年 1 月）

|            | 4月   | 5月   | 6月   | 7月  | 8月   | 9月   | 10月  | 11月  | 12月  | 1月  |
|------------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|-----|
| 気温日格差（最高）  | 13.4 | 15.0 | 10.7 | 9.0 | 10.2 | 10.4 | 11.0 | 12.0 | 11.7 | 9.6 |
| 気温日格差（最低）  | 2.5  | 3.9  | 2.7  | 2.3 | 3.7  | 2.1  | 1.5  | 2.4  | 2.6  | 1.8 |
| 海水温日格差（最高） | 2.1  | 2.1  | 2.2  | 3.0 | 1.8  | 1.7  | 1.3  | 2.0  | 1.6  | 1.7 |
| 海水温日格差（最低） | 0.2  | 0.4  | 0.6  | 0.9 | 0.6  | 0.4  | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.2 |
| 気温日格差（平均）  | 7.4  | 7.6  | 6.5  | 6.4 | 7.7  | 6.9  | 6.6  | 7.7  | 6.7  | 5.1 |
| 海水温日格差（平均） | 0.9  | 1.1  | 1.2  | 1.8 | 1.2  | 1.0  | 0.6  | 0.7  | 0.8  | 0.6 |

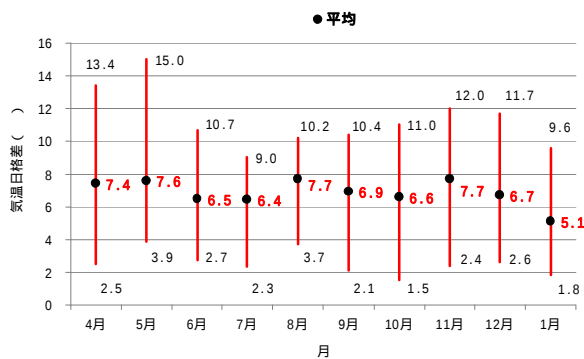


図 12 気温日格差（月毎の推移）

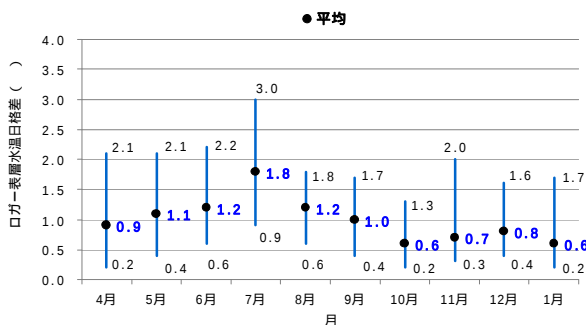


図 13 海水温（表層）日格差（月毎の推移）

## 4 まとめ

### 4.1 ダミー変数を用いた重回帰分析

1981 年度から 2008 年度までの博多湾の水質調査データのうち西部海域の W3 地点、中部海域の C1 地点および東部海域の E2 地点について海水温等の経年的な変動についてダミー変数を用いた重回帰分析を用いて解析した結果、海水温は、全ての地点の表層、底層で上昇傾向となったが、C1 地点表層と E2 地点表層での上昇傾向は、5%危険率で統計的に有意とはならなかった。また両地点以外での上昇傾向は 1981 年 4 月から 2000 年 3 月までで強かったものと推定された。なお、2000 年 4 月以降の傾向は、P 値が 0.2 以上で危険率も 20%以上のため統計的に有意性が低く、変動傾向を確認できなかった。

W3 地点での気温は、上昇傾向となり、その傾向は解析期間 1981 年 5 月から 2000 年 3 月までにおいて 1%危険率で統計的に有意であった。また、気温の上昇傾向は 1981 年 5 月から 2000 年 3 月までで強かったものと推定され、2000 年 4 月以降は 5%危険率で統計的に有意とはならなかったが、減少傾向であった。さらに、気温と海水温の変動傾向は 1980 年代半ば以降で類似していた。

W3 地点での COD は上昇傾向となり、その傾向は 1%

危険率で統計的に有意であった。また COD の上昇傾向は 1981 年 4 月から 1996 年 3 月までで強かったものと推定された。なお、1996 年 4 月以降は 5%危険率で統計的に有意とはならなかったが、減少傾向であった。

### 4.2 水温ロガーによる海水温の観測

3 月末以降、気温と海水温はいずれも徐々に上昇し、8 月中旬に最高となったのち徐々に低下し 1 月下旬に最低となった。海域での成層の形成は 4 月下旬に始まり、7 月下旬にかけて徐々に強化され、その後 9 月下旬まで続いて解消された。

海水温の日変動が最も大きかった 7 月において、水温ロガーによる表層海水温は気温変動と連動してほぼ同様のパターンで大きく変動しながら推移した。中層海水温は表層海水温と底層海水温の間を表層ほど気温の影響を受けることなく推移した。底層海水温の日変動はあまり大きくなかった。

2010 年 4 月から 2011 年 1 月までにおいて、気温の日格差は春季に大きく、夏季に小さくなったが、表層海水温の日格差は春季より夏季に大きくなり 7 月に最大となった。また当該期間における表層海水温の日格差の平均（1.0）は、気温の日格差の平均（6.9）の約 7 分の 1 程度であった。

水温ロガーによる海水温の連続観測は、2011 年度も継続して行うこととしている。2011 年度のデータについても気象庁のデータを用いた変動状況の解析を行い、また 2010 年度のデータとの比較なども行いたいと考えている。

## 文献

- 1) 渡辺美智子，神田智弘：Excel 徹底活用 統計データ分析（改訂新版），p101，株式会社 秀和システム，2008
- 2) 二宮勝幸，柏木宣久，岡敬一，岩淵美香，飯島恵：東京湾西部海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 -，横浜市環境科学研究所所報，第 34 号，p46-51，2010
- 3) 坂本慶行，石黒真木夫，北川源四郎：情報量統計学，p42-62，共立出版，1982
- 4) 環境科学課水質担当：博多湾の海水温の変化および水質変化，福岡市保健環境研究所所報，vol. 34，p149-151，2008