

季節調整法を用いた博多湾の長期水質変動解析

有本圭佑・中山恵利・大平良一

福岡市保健環境研究所環境科学課

Long-term Fluctuation Analysis of Water Quality Using Seasonal Adjustment Methods in Hakata Bay

Keisuke ARIMOTO, Eri NAKAYAMA and Ryoichi OHIRA

Environmental Science Section, Fukuoka City Institute of Health and Environment

要約

福岡市保健環境研究所では博多湾の環境基準点における水質調査データに対し、ダミー変数を用いた重回帰分析によって水温等の経年変化を評価し、既報にて報告した。しかし、ダミー変数を用いた重回帰分析では、任意の期間の特徴的な傾向を掴むのが難しい。そこで、新たな長期変動傾向の解析手法として、季節調整法による長期変動傾向の把握を試みた結果、トレンドデータから長期的な水質の変動を可視化し、傾向を把握することができた。また、栄養塩等は湾奥部ほど下水処理による効果を反映し、海域や特定の期間に特徴的な傾向がみられる結果となった。

Key Words : 博多湾 Hakata Bay, 気温 air temperature, 温暖化 global warming, 季節調整法 seasonal adjustment methods, 気候変動 climate change

1 はじめに

世界の年平均気温は、100年間（1891～2022年）で0.74℃の割合で上昇している¹⁾。福岡においては、100年間で平均気温は2.49℃上昇しており²⁾、博多湾の年平均水温も上昇傾向であることが報告されている³⁾。気候変動適応計画（環境省）では、「水環境については、気候変動によって、水温の変化、水質の変化、流域からの栄養塩類等の流出特性の変化が生じることが想定される。」⁴⁾と報告されており、今後の環境施策検討のための基礎データとして長期的な水質の変動傾向を把握することは重要である。

水温のような季節変化が大きい時系列データを解析する際には年平均値で評価する方法が簡便であり、よく用いられている。しかし、年平均値で評価する方法について、安藤らは、欠測値や異常値が含まれている場合などにはその影響を受けやすく、大局的な変動傾向を的確に把握することが難しいと述べている⁵⁾。

他の手法として、福岡市保健環境研究所ではダミー変数を用いた重回帰分析によって水温等の経年変化を評価し、既報⁶⁾にて報告した。これは、重回帰分析によって算出された傾向変動に関する傾き成分（以下、「トレンド成分」とする。）の偏回帰係数から温度上昇率を推定し、

トレンド成分のP値から上昇傾向を評価している。このように、ダミー変数を用いた重回帰分析では、解析対象期間の傾向について評価できる。しかし、解析対象期間内の任意の期間の傾向については特徴的な傾向を掴むのが難しい。

そこで、新たな長期変動傾向の解析手法として、季節調整法による長期変動傾向の把握を試みた。この季節調整法は、観測された時系列データから1年を周期とする季節変動を取り除くことで時系列データの傾向等を明らかにする手法である。今回は、時系列データを季節ごとに变化する季節成分、長期的な傾向を示すトレンド成分、それら以外の変動を示すノイズ成分に分ける季節調整を行い、トレンド成分を抽出することで博多湾の水質に関する長期変動傾向を把握することを検討したので報告する。

2 調査方法

2.1 解析対象データ

福岡市では、公共用水域の常時監視として、月1回の頻度で博多湾内の環境基準点（8地点）において調査を行っている（図1）。本調査では、各環境基準点を調査対

象地点とし、1981年4月～2022年3月までの表層及び底層の水温、pH、COD、全窒素、全りん、底層DOを解析項目とした。また、評価の際にはダミー変数を用いた重回帰分析を行い、モデルは既報のものを使用した。

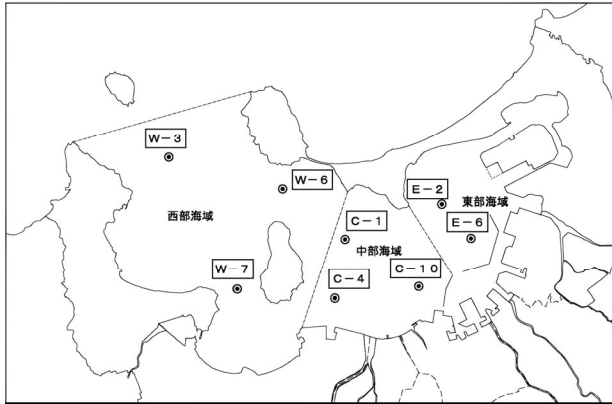


図1 調査地点

2.2 解析ソフト

統計解析ソフト R (ver3.6.2) によりデータ処理を行った。統計解析には統計数理研究所で開発提供された時系列解析プログラムパッケージ TIMSAC for R package ver.1.3.7 に含まれる DECOMP を用いてデータ処理を行い、原数値をトレンド成分、季節成分、ノイズ成分の3成分に分離し、トレンド成分を抽出することで行った。DECOMP は統計数理研究所によって開発された状態空間モデルに基づく季節調整のためのプログラムである⁷⁾。

3 結果及び考察

3.1 季節調整法による長期水質変動解析

図2～7に博多湾の各環境基準点におけるトレンド成分を示す。

3.1.1 水温

水温の解析結果は、地点別にみると水温は西部海域のW-3が他の地点に比べ最も高く、これは外洋に最も近いため湾外を流れる暖流の影響を受けたものと推測された。また、西部海域(W-3, W-6, W-7)、中部海域(C-1, C-4, C-10)、東部海域(E-2, E-6)ともに上昇傾向を示し、表層と同様に底層でも上昇傾向を示し、地点や海域毎に特徴的な傾向はみられなかった。

3.1.2 pH

pHの解析結果は、地点別にみると外洋に面した地点である西部海域のW-3表層では大きな変化はなく底層のみが下降傾向、他の地点では表層、底層ともに下降傾向と

なり、内湾の酸性化が示唆された。

3.1.3 底層DO

底層DOの解析結果は、全地点で2000年頃までは明確な方向性を示さなかったが、西部及び東部海域の地点では近年緩やかな下降傾向であり、特に中部海域の地点において2009年頃から顕著な下降傾向を示した。

3.1.4 COD

CODの解析結果は、地点別にみると外洋に面した地点である西部海域のW-3が他の地点に比べ低値を示した。また、西部海域、中部海域及び東部海域いずれの海域の地点においても表層及び底層ともに1993年頃をピークに下降傾向で近年は概ね横ばい傾向を示し、地点や海域毎に特徴的な傾向はみられなかった。

1980(S55)年度から2021(R3)年度までの本市における行政人口(推計人口)、下水処理区域人口及び下水道人口普及率の推移⁸⁾は、本市の行政人口(推計人口)が年々増加する中で、下水道の人口普及率は1981(S56)年度時点では46.4%であり海域への負荷が大きいと考えられたが、1993(H5)年度には人口普及率は94.7%に上昇しほとんどの市民が下水道を利用できる状況となり、海域への負荷も大幅に減少し、CODも1993年頃をピークに減少か横ばいの傾向に転じたと推察された。

3.1.5 全窒素

全窒素の解析結果は、全ての地点で1993年以降概ね横ばい傾向を示したが、特に湾奥部に近い地点ほど1993年頃がピークになる傾向がみられた。

1992年度から2013年度までの全窒素の負荷量と処理人口の推移³⁾は、処理人口は増加しているものの全窒素の負荷量はやや減少しており、1993年以降の窒素の傾向と概ね同様の傾向を示した。

3.1.6 全りん

全りんの解析結果は、海域別にみると西部海域の地点では緩やかな減少傾向であったが中部海域及び東部海域の地点では1993年頃から2000年頃にかけて顕著な下降傾向を示し、特に湾奥部に近い地点ほどその傾向が強くみられた。

1992年度から2013年度までの全りんの負荷量と処理人口の推移³⁾は、処理人口は増加しているものの全りんの負荷量は約半分に減少している。本市では1993年より、下水の高度処理でりんの削減を行っており、さらに博多湾においては、全りん流入量の約7割が下水処理水に由来すると試算されており³⁾、全りんの下降傾向は、本市で1993年から順次導入された下水の高度処理の効果と推察された。

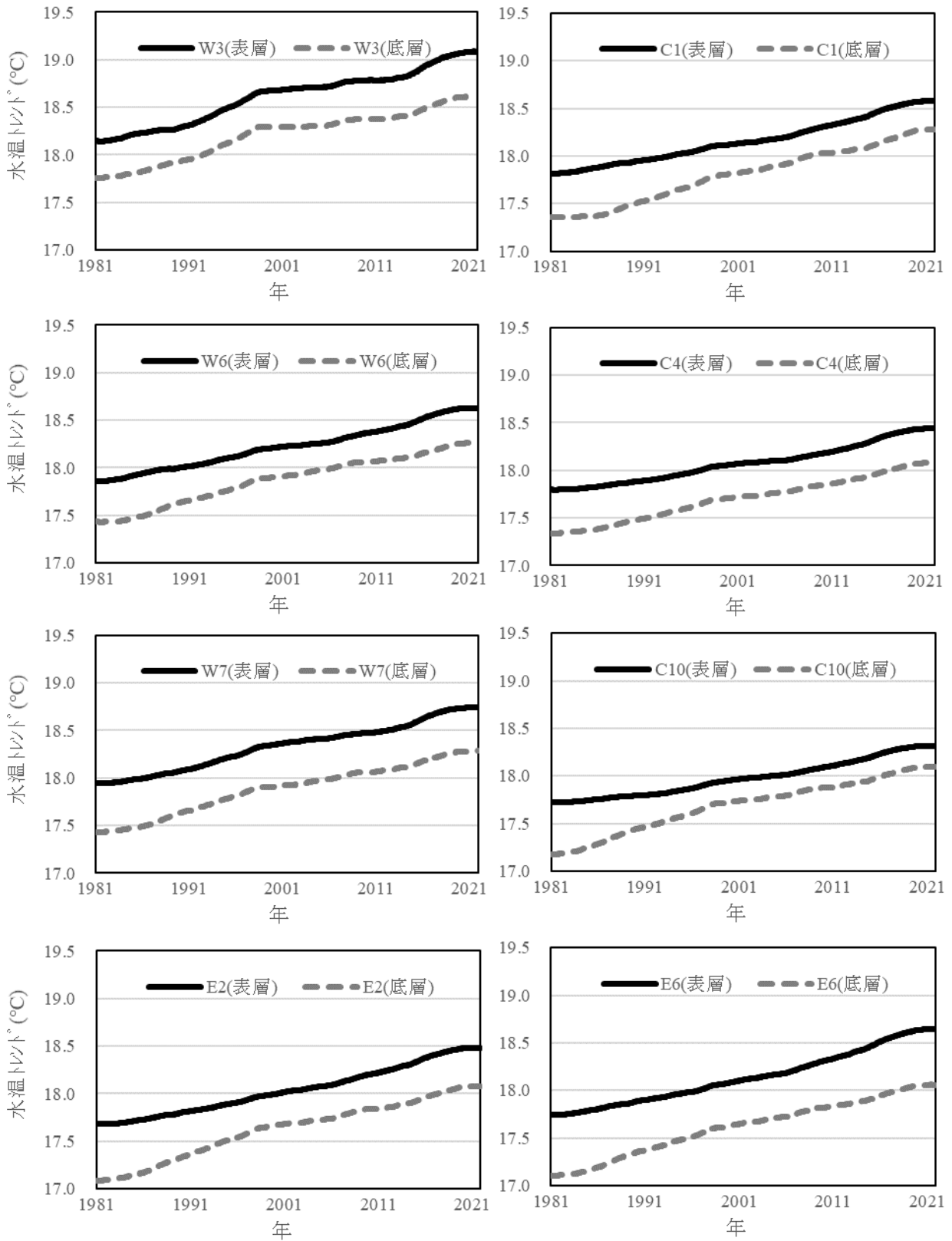


図2 水温トレンド成分

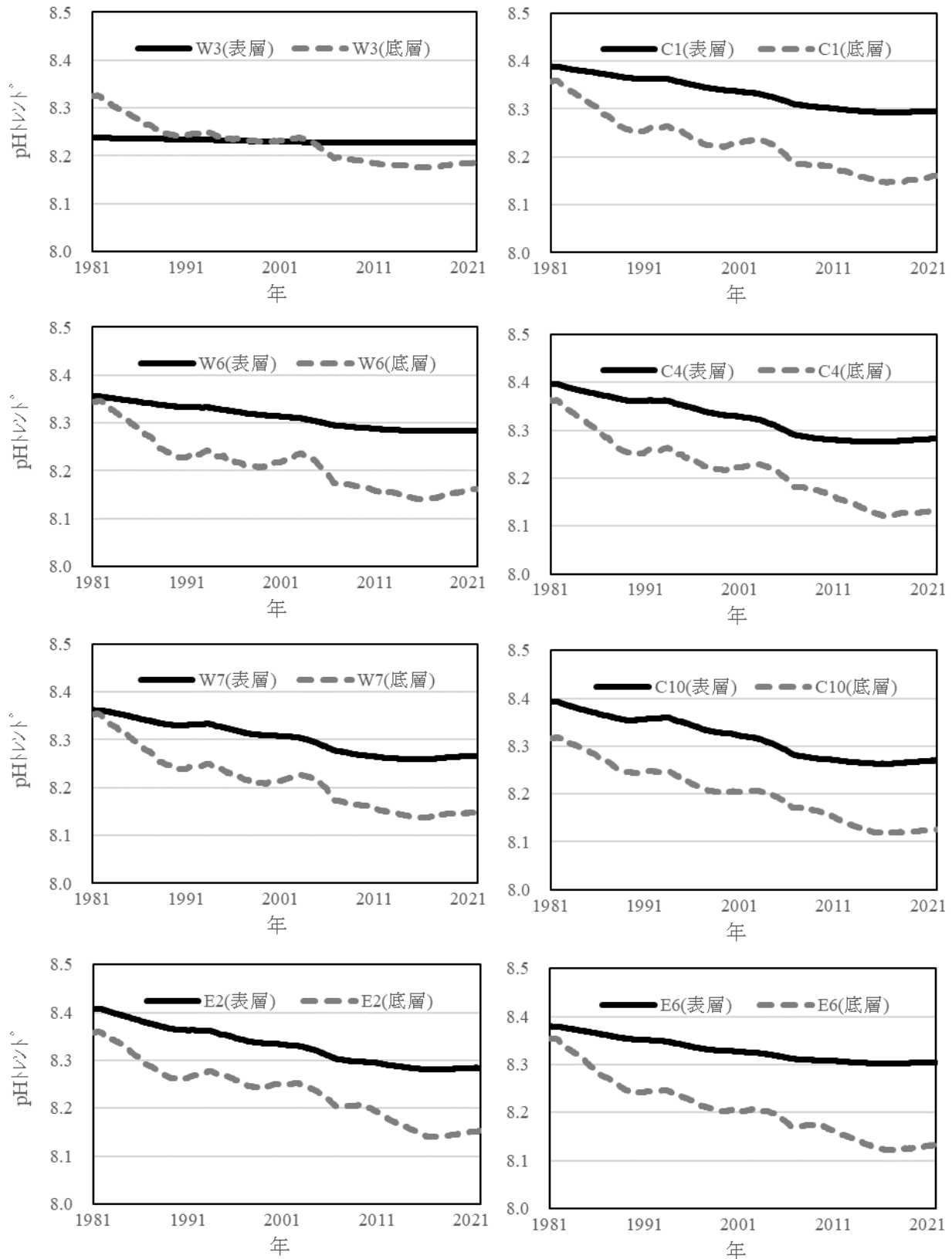


図3 pHトレンド成分

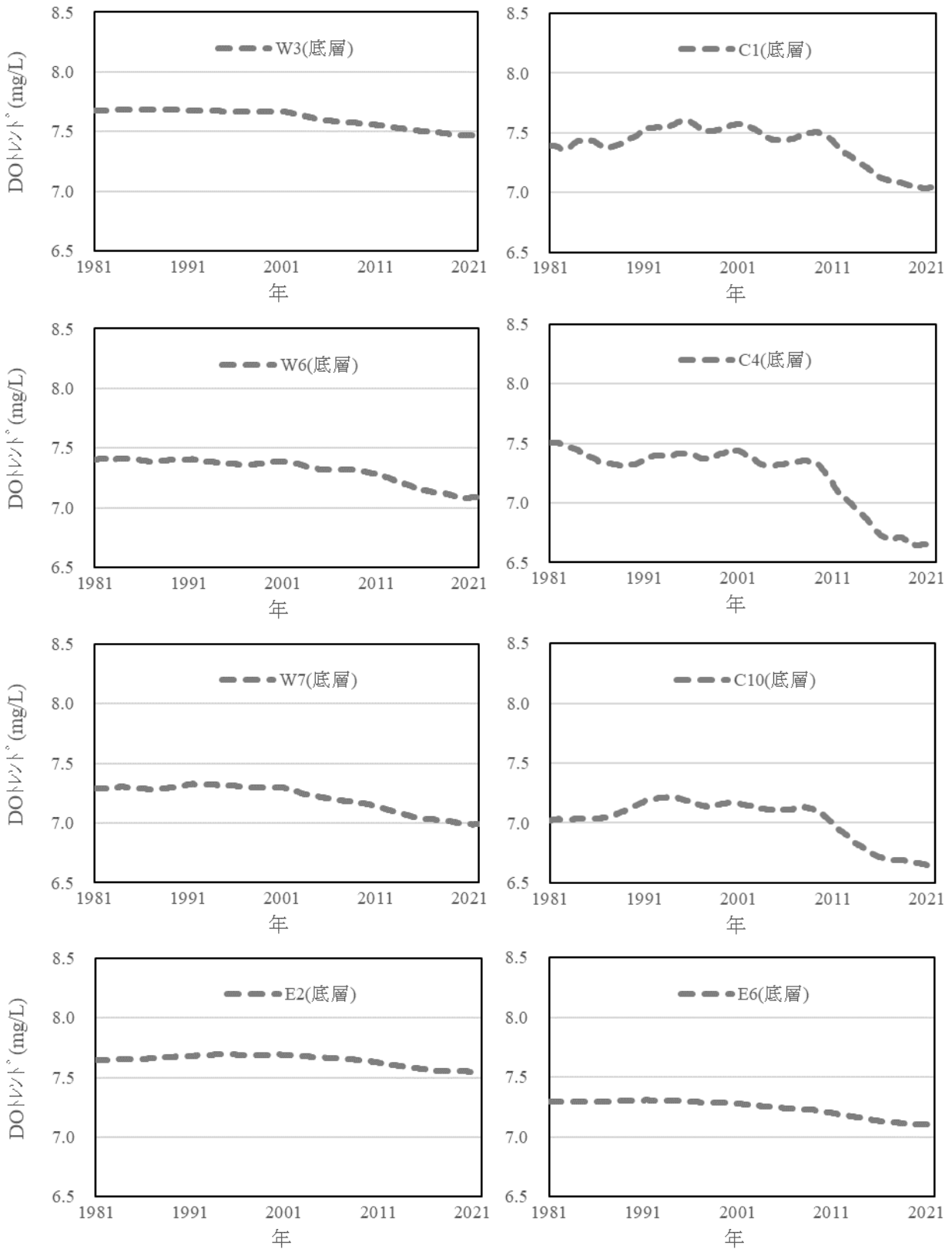


図4 DOトレンド成分

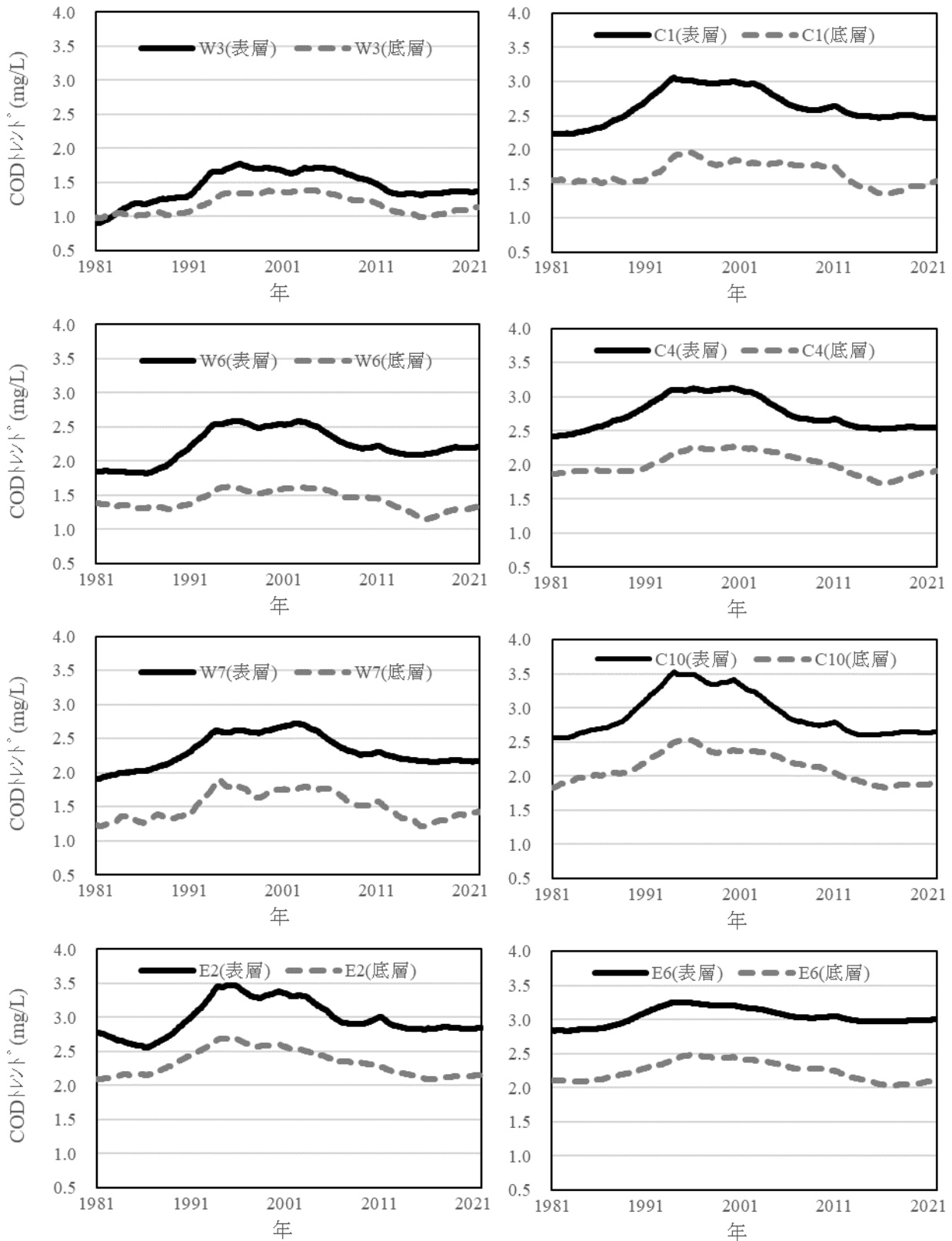


図5 CODトレンド成分

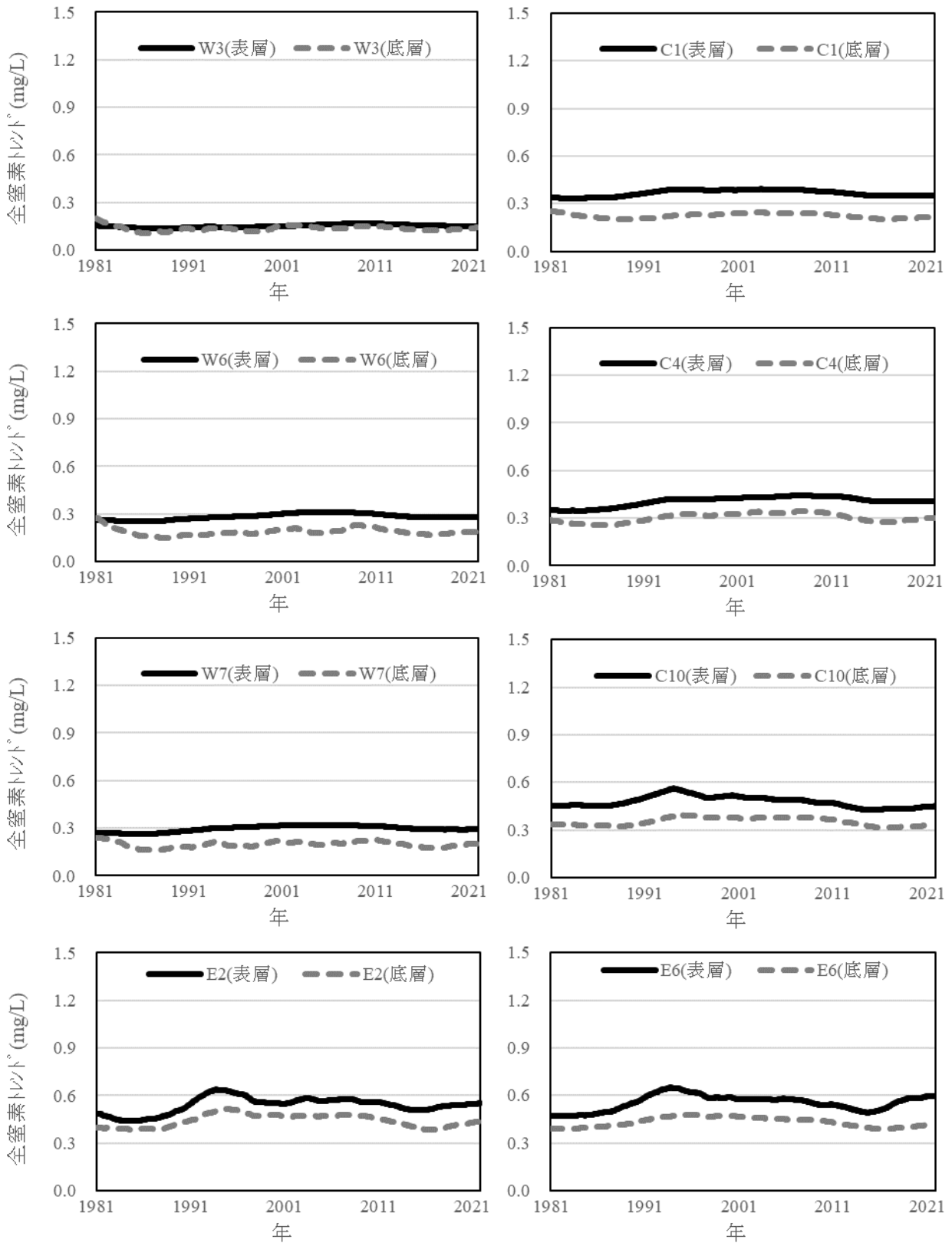


図6 全窒素トレンド成分

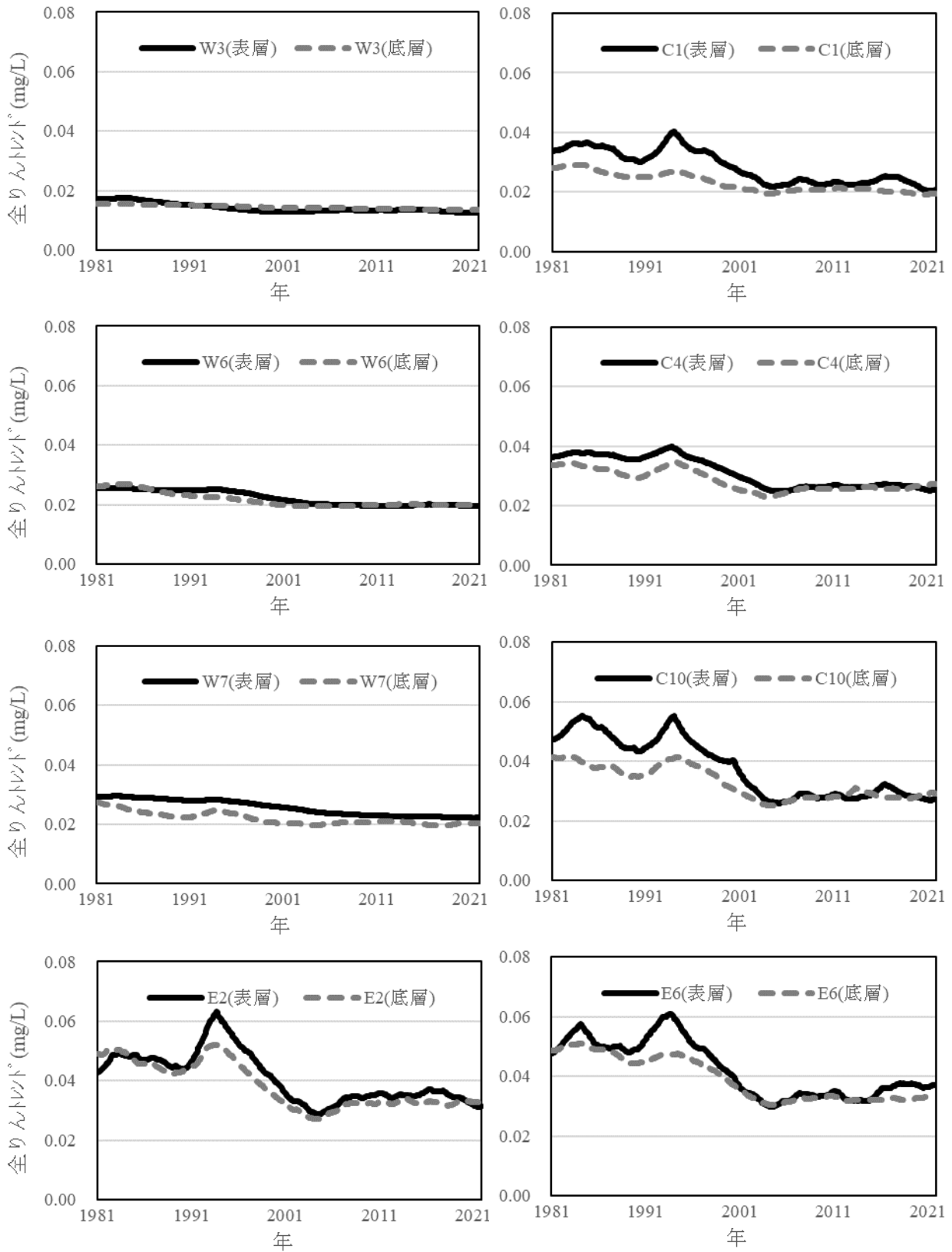


図7 全りトレンド成分

3.2 ダミー変数を用いた重回帰分析による統計的評価

1981年4月から2022年3月までの表層及び底層の水温のうち、それぞれの海域よりW-3, C-1, E-2の地点について、トレンド成分の傾向とダミー変数を用いた重回帰分析を併せて評価を行った。表1にダミー変数を用いた重回帰分析の結果を示す。全ての地点で表層、底層ともに傾き成分の偏回帰係数は正の値となり水温は概ね同様の上昇傾向となった。また、全ての地点で表層、底層ともにP値が0.01以下となり水温の上昇傾向は1%危険率で統計的に有意となった。

季節調整法によるW-3の水温のトレンド成分は、2000年頃から2014年頃まで上昇が鈍化していることから、解析期間を1981年4月から2000年3月と2000年4月から2022年3月の2つに分け、それぞれにダミー変数を用いた重回帰分析を行った。その結果を表2に示す。W-3では表層、底層では解析期間を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り、P値は0.01以下となり水温の上昇傾向は1%危険率で統計的に有意となったが、解析期間を2000年4月から2022年3月とした場合では傾き成分の偏回帰係数は正の値であるが数値は減少し、P値も0.01以上0.05以下となり5%危険率で統計的に有意という結果となった。このことから解析期間を2000年4月から2022年3月までとした場合、解析期間を1981年4月から2000年3月までとした場合と比べて傾きが緩やかになったことが示

され、季節調整法によるW-3の水温のトレンド成分の傾向と概ね一致した。また、C-1とE-2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以上となり水温の上昇傾向は5%危険率で統計的に有意とならなかったが、解析期間を2000年4月から2022年3月とした場合では傾き成分の偏回帰係数は正の値であり、P値も0.01以下となり水温の上昇傾向は1%危険率で統計的に有意となった。しかし、C-1とE-2の底層では解析期間を1981年4月から2000年3月とした場合と解析期間を2000年4月から2022年3月までとした場合の両方に場合においても傾き成分の偏回帰係数は正の値であり、P値も0.01以下もしくは0.01以上0.05以下となり水温の上昇傾向は1%もしくは5%危険率で統計的に有意となった。このことからC-1とE-2では解析期間を1981年4月から2000年3月とした場合では底層のみが有意に上昇傾向を示す結果となった。

これらのことから、季節調整法を用いた長期水質変動解析では長期的な変動傾向をグラフで適切に可視化することが可能であり、期間内の特徴的な傾向を把握することが可能であることが示された。さらに、可視化されたグラフにおいて特徴的な傾向を示す期間に着目し、ダミー変数を用いた重回帰分析を併せて行うことで、傾向についての統計的な評価をより詳細に行うことが可能であると示唆された。

表1 水温（表層、底層）の重回帰分析結果

解析期間	調査地点	W-3		C-1		E-2	
		表層	底層	表層	底層	表層	底層
1981.4~	傾き成分P値	7.2E-08	4.7E-08	2.2E-05	9.1E-08	1.4E-05	1.4E-05
2022.3	傾き成分の偏回帰係数(°C/月)	0.0021	0.0019	0.0019	0.0022	0.0021	0.0021

表2 水温（表層、底層）の解析期間毎の重回帰分析結果

解析期間	調査地点	W-3		C-1		E-2	
		表層	底層	表層	底層	表層	底層
1981.4~	傾き成分P値	4.5E-04	1.0E-04	5.6E-02	6.7E-03	1.1E-01	1.6E-03
2000.3	傾き成分の偏回帰係数(°C/月)	0.0042	0.0044	0.0028	0.0037	0.0025	0.0048
2000.4~	傾き成分P値	1.5E-02	1.5E-02	2.1E-03	7.3E-03	5.7E-03	3.2E-02
2022.3	傾き成分の偏回帰係数(°C/月)	0.0024	0.0020	0.0034	0.0026	0.0032	0.0023

4 まとめ

博多湾の常時監視データに対して季節調整法による長期変動傾向の把握を試みた結果、トレンドデータから長期的な水質の変動を可視化し、傾向を把握することができた。また、栄養塩等は湾奥部ほど下水処理による効果を反映し、海域や特定の期間に特徴的な傾向がみられる結果となった。さらに、ダミー変数を用いた重回帰分析を併せて行うことで、全体の傾向だけでなくトレンドデータより可視化されたグラフから特徴的な傾向を示す期間に着目し、統計的な評価をより詳細に行うことが可能であると示唆された。

文献

- 1) 気象庁：気候変動監視レポート 2022, 令和 5 年 3 月
- 2) 福岡管区气象台：九州・山口県の気候変動監視レポート, 令和 5 年 3 月
- 3) 福岡市：博多湾環境保全計画（第二次）, 平成 28 年 9 月
- 4) 環境省：気候変動影響評価報告書（総説）, 令和 2 年 12 月
- 5) 安藤晴夫, 他：東京都内湾の水質の長期変動傾向について, 東京都環境科学研究所年報, 60～67, 1999
- 6) 野中研一, 他：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, 福岡市保健環境研究所報, 36, 64～72, 2010
- 7) 北川源四郎：季節調整プログラム DECOMP とその後の展開, 統計数理第 45 巻・第 2 号, 217～232, 1997
- 8) 福岡市：博多湾環境保全計画推進委員会資料, 令和 3 年 8 月