

## 香川県海域における水質評価について

## Survey of Water Quality in the Seas of Kagawa Prefecture

多田 薫      多田 千鶴子      土取 みゆき  
 Kaoru TADA      Tiduko TADA      Miyuki TUTITORI

## 要 旨

1990～2000年度の11年間における香川県海域の広域総合水質調査結果を統計解析すると、次のようなことがわかった。T-Nについては、東讃海域東部の3地点の底層は、類似した経年変化を示し、燧灘海域の3地点の底層は、類似した経年変化を示した。PO<sub>4</sub>-Pにおいては、St36底層を除く備讃瀬戸海域及び東讃海域の7地点は類似した経年変化を示し、燧灘海域の2地点 (St43・51) は類似した経年変化を示した。T-Pについては、備讃海域の3地点の表・底層は類似した経年変化を示し、東讃海域東部の3地点の底層は、類似した経年変化を示した。St36底層では、夏期～秋期におけるNH<sub>4</sub>-N・PO<sub>4</sub>-Pの底泥からの溶出が、NH<sub>4</sub>-N・PO<sub>4</sub>-Pの経年変化に大きく寄与しているものと考えられる。St43底層では、NO<sub>3</sub>-N・T-Pの経年変化に陸水・河川水が寄与している可能性がある。St57表層における栄養塩類等の経年変化は、内部生産よりも物質輸送により支配されていると考えられる。

キーワード：相関係数，経年変化，主成分分析，潮流

## I はじめに

瀬戸内海水質における窒素・燐等の測定結果については、環境省が毎年実施している広域総合水質調査により知ることができる。<sup>1～3)</sup>

小山ら<sup>4～5)</sup>は、1978～1994年度の17年間の上記データを統計解析し、瀬戸内海の灘毎の比較・検討を行った。

そこで我々は、1990～2000年度の11年間の上記データを解析し香川県海域の10地点間の比較・検討を行ったのでここに報告する。

## 2 調査地点及び調査部位

地点は図1に示す10地点であり、各地点とも0.5m (表層) 及び底層で採水を行った。

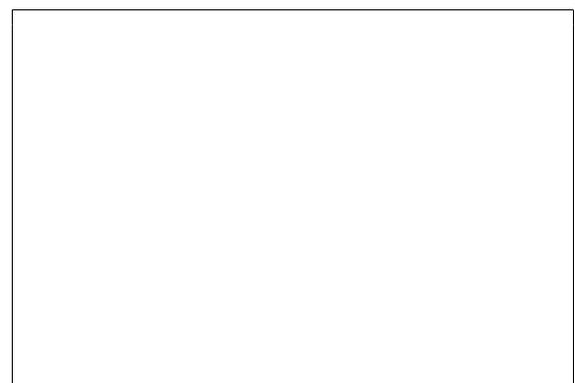


図1 調査地点

## II 調査方法

## 1 調査期間

1990～2000年度まで、5月、7月、10月、1月の年4回計44回調査した。

### 3 分析項目及び分析方法

分析項目及び分析方法は以下の通りである。

pH：ガラス電極法

DO：ウインクラー・アジ化ナトリウム変法

COD・ろ過COD：酸性過マンガン酸カリウム法

塩分：誘導型サリノメーター法

Ch-a：95%アセトンで抽出後、蛍光光度法

NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, T-N, PO<sub>4</sub>-P,

T-P：ブラン・ルーベ社 TRAACCS 2000型で測定した。

懸濁態窒素 (PN) + 溶存態有機窒素 (DON)：

T-NからNH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-Nを引いて算出

懸濁態リン (PP) + 溶存態有機リン (DOP)：T-PからPO<sub>4</sub>-Pを引いて算出

## III 結果と考察

### 1 各項目間の相関

各項目間の因果関係を明確にする為に、地点毎に各項目間の単相関を取り、その結果を表1に示す。

#### (1) St 2

St 2 表層における各項目間の相関で、高い相関を示したのは次のとおりである。COD (生) とCOD (ろ過), PO<sub>4</sub>-PとNO<sub>2</sub>-N, T-NとPN+DONとは危険率1%で有意であり、相関係数はそれぞれ0.7368, 0.7173, 0.8988である。St 2 底層における各項目間の相関で、高い相関をしたのは次のとおりである。PO<sub>4</sub>-PとNO<sub>2</sub>-N, T-PとPO<sub>4</sub>-P, T-NとPN+DONとは危険率1%で有意であり、相関係数はそれぞれ0.7453, 0.7187, 0.9392である。

#### (2) St 9

St 9 表層における各項目間の相関で、高い相関を示したのは次のとおりである。COD (生) とCOD (ろ過), PO<sub>4</sub>-PとNO<sub>2</sub>-N, PO<sub>4</sub>-PとNO<sub>3</sub>-N, T-PとNO<sub>2</sub>-N, T-PとPO<sub>4</sub>-P, T-NとPN+DONとは危険率1%で有意であり、相関係数はそれぞれ0.8001,

0.8466, 0.7368, 0.8147, 0.8558, 0.8348である。St 9 底層における各項目間の相関で、高い相関を示したのは次のとおりである。PO<sub>4</sub>-PとNO<sub>3</sub>-N, T-PとNO<sub>3</sub>-N, T-PとPO<sub>4</sub>-P, T-NとPN+DONとは危険率1%で有意であり、相関係数はそれぞれ0.7276, 0.7531, 0.8107, 0.8417である。

#### (3) St 18

St 18 表層における各項目間の相関で、高い相関を示したのは次のとおりである。COD (生) とCOD (ろ過), T-NとNO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-PとPP+DOPとは危険率1%で有意であり、相関係数はそれぞれ0.8665, 0.7809, -0.8773である。St 18 底層における各項目間の相関で、高い相関を示したのは次のとおりである。PO<sub>4</sub>-PとNO<sub>3</sub>-N, T-NとNO<sub>3</sub>-N, T-PとNO<sub>2</sub>-N, T-PとPO<sub>4</sub>-Pとは危険率1%で有意であり、相関係数はそれぞれ0.7764, 0.7594, 0.7034, 0.7860である。

#### (4) St 31

St 31 表層における各項目間の相関で、高い相関を示したのは次のとおりである。COD (生) とCOD (ろ過), T-PとPO<sub>4</sub>-P, T-NとPN+DONとは危険率1%で有意であり、相関係数はそれぞれ0.8157, 0.7158, 0.8263である。St 31 底層における各項目間の相関で、高い相関を示したのは次のとおりである。T-PとPO<sub>4</sub>-P, T-NとPN+DONとは危険率1%で有意であり、相関係数は0.7787, 0.8274である。

#### (5) St 34

St 34 表層における各項目間の相関で、高い相関を示したのは次のとおりである。COD (生) とCOD (ろ過), PO<sub>4</sub>-PとNO<sub>3</sub>-N, T-NとPN+DON, T-PとPP+DOPとは危険率1%で有意であり、相関係数はそれぞれ0.7408, 0.8207, 0.8790, 0.7632である。St 34 底層における各項目間の相関で、高い相関を示したのは次のとおりである。PO<sub>4</sub>-PとNO<sub>3</sub>-N, T-PとNO<sub>3</sub>-N, T-PとNO<sub>2</sub>-N, T-PとPO<sub>4</sub>-P, T-NとPN+DONとは危険率

1%で有意であり、相関係数はそれぞれ0.8147, 0.7492, 0.7987, 0.7879, 0.8139である。

(6) St36

St36表層における各項目間の相関で、高い相関を示したのは次のとおりである。COD(生)とCOD(ろ過), PO<sub>4</sub>-PとNO<sub>3</sub>-N, T-NとPN+DON, T-PとPP+DOPとは危険率1%で有意であり、相関係数はそれぞれ0.7460, 0.8080, 0.8893, 0.9730である。St36底層における各項目間の相関で、高い相関を示したのは次のとおりである。PO<sub>4</sub>-PとNH<sub>4</sub>-N, PO<sub>4</sub>-PとPN+DON, NH<sub>4</sub>-NとPP+DOP, PP+DOPとPN+DON, PP+DOPとPO<sub>4</sub>-Pとは危険率1%で有意であり、相関係数はそれぞれ0.9569, -0.7900, -0.9718, 0.7997, -0.9798である。

(7) St40

St40表層における各項目間の相関で、高い相関を示したのは次のとおりである。COD(生)とCOD(ろ過), PO<sub>4</sub>-PとNO<sub>2</sub>-N, PO<sub>4</sub>-PとNO<sub>3</sub>-N, T-PとPO<sub>4</sub>-P, T-NとPN+DONとは危険率1%で有意であり、相関係数はそれぞれ0.7778, 0.7574, 0.7318, 0.7508, 0.8690である。St40底層における各項目間の相関で、高い相関を示したのは次のとおりである。T-PとPO<sub>4</sub>-P, T-NとPN+DONとは危険率1%で有意であり、相関係数はそれぞれ0.7395, 0.7992である。

(8) St43

St43表層における各項目間の相関で、高い相関を示したのは次のとおりである。COD(生)とCOD(ろ過), chl-aとPP+DOPとは危険率1%で有意であり、相関係数はそれぞれ0.7838, 0.7898である。St43底層における各項目間の相関で、高い相関を示したのは次のとおりである。NO<sub>3</sub>-Nと塩分量, T-PとNO<sub>3</sub>-N, T-NとPN+DONとは危険率1%で有意であり、相関係数はそれぞれ-0.7015, 0.7013, 0.7100である。

(9) St51

St51表層における各項目間の相関で、高い

相関を示したのは次のとおりである。COD(生)とCOD(ろ過), T-NとPN+DON, PP+DOPとT-Pとは危険率1%で有意であり、相関係数はそれぞれ0.8116, 0.9305, 0.9639である。St51底層における各項目間の相関で、高い相関を示したのは次のとおりである。T-NとPN+DONとは危険率1%で有意であり、相関係数は0.9700である。

(10) St57

St57表層における各項目間の相関で、高い相関を示したのは次のとおりである。COD(生)とCOD(ろ過), NH<sub>4</sub>-NとCOD(生), NH<sub>4</sub>-NとCOD(ろ過), T-NとCOD(生), T-NとCOD(ろ過), T-NとNH<sub>4</sub>-N, T-NとPO<sub>4</sub>-P, PO<sub>4</sub>-PとCOD(生), PO<sub>4</sub>-PとCOD(ろ過), PO<sub>4</sub>-PとNH<sub>4</sub>-N, T-PとCOD(生), T-PとCOD(ろ過), T-PとNH<sub>4</sub>-N, T-PとT-N, T-PとPO<sub>4</sub>-P, PN+DONとCOD(生), PN+DONとCOD(ろ過), PN+DONとNH<sub>4</sub>-N, PP+DOPとCOD(生), PP+DOPとCOD(ろ過), PP+DOPとNH<sub>4</sub>-N, PP+DOPとPN+DON, PP+DOPとT-N, PP+DOPとPO<sub>4</sub>-P, T-PとPN+DON, T-PとPP+DOPとは高い相関を示し、危険率1%で有意であり、相関係数はそれぞれ0.9257, 0.9197, 0.8505, 0.9003, 0.8649, 0.9711, 0.8922, 0.8018, 0.9688, 0.9549, 0.9206, 0.8364, 0.9771, 0.9684, 0.9885, 0.8764, 0.8595, 0.9348, 0.9281, 0.8507, 0.9664, 0.9397, 0.9623, 0.9608, 0.9473, 0.9917である。St57底層における各項目間の相関で、高い相関を示したのは次のとおりである。PO<sub>4</sub>-PとNO<sub>2</sub>-N, T-NとPN+DON, T-PとPP+DOPとは危険率1%で有意であり、相関係数は0.7115, 0.9155, 0.9857である。以上のことから次のことが考えられる。

- ① St36底層においては、PO<sub>4</sub>-PとNH<sub>4</sub>-Nが高い相関係数(0.9569)を示し、PO<sub>4</sub>-PとDO, NH<sub>4</sub>-NとDOとの相関係数が、それぞれ-0.5367, -0.4359と危険率1%で有意で

ある。このことから、夏期から秋期における底泥からの $\text{PO}_4\text{-P}$ と $\text{NH}_4\text{-N}$ の溶出が、これらの経年変化の大きな要因と考えられる。

- ② St43底層においては、 $\text{NO}_3\text{-N}$ と塩分量、 $\text{T-P}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ とは高い相関を示し、塩分量と $\text{T-P}$ との相関係数は $-0.5944$ である。この地点の近くに下水処理場の排水口・財田川及び柞田川河口が存在することから、これらからの流入水の影響が考えられる。
- ③ St57表層では、大多数の項目間で高い相関が得られているが、chl-aとは高い相関がみられない。また燧灘東部では、大きな物質輸送能力を持つ反時計回りの恒流がみられる<sup>9)</sup>。これらのことより、この地点の上層では、栄養塩類等の経年変化は、内部生産よりも物質輸送に支配されていると考えられる。

## 2 多変量解析による検討

各項目毎の各地点間における経年変化の類似性を詳細に検討する為に、主成分分析を用いた。

### (1) pH

pHにおける地点間の主成分分析の結果を図2に示した。St31表・34表・36表がグループを形成していることから、東讃東部海域表層のpHの経年変化は類似していると考えられる。またSt2表・2底・9表・9底・18表・18底・40表・40底がグループを形成していることから、備讃瀬戸海域から志度地先の4地点におけるpHの経年変化は類似していると考えられる。

### (2) DO

DOにおける地点間の主成分分析の結果を図3に示した。St2表・2底・9表・9底・18表・18底・31表・34表・36表・40表・43表・51表・57表がグループを形成していることから、荘内半島西海岸から内海町大角鼻沖合までの表層のDOの経年変化は、類似している。また備讃瀬戸海域の3地点 (St2・9・18) については表層、底層ともに類似していると考えられる。

### (3) COD (生)

COD (生) における地点間の主成分分析の結果を図4に示した。St2表・2底・43表・43底・51表・51底・57底がグループを形成していることから、荘内半島西海岸の表層を除いて粟島北方から燧灘東部海域にかけての4地点の経年変化は、類似していると考えられる。31表・31底・34表・34底・36表・36底がグループを形成していることから、東讃東部海域の3地点の経年変化は、類似していると考えられる。

### (4) 塩分量

塩分における地点間の主成分分析の結果を図5に示した。St2底・36表・43表・57底がグループからはずれており、その他の地点・採水部位はグループを形成している。ゆえにSt2底・36表・43表・57底以外の採水部位の経年変化は、類似していると考えられる。

### (5) chl-a

chl-aにおける地点間の主成分分析の結果を図6に示した。St18表・18底・40表・40底がグループを形成していることから、直島南東沖合から庵治沖合にかけての経年変化は、類似していると考えられる。

### (6) $\text{NH}_4\text{-N}$

$\text{NH}_4\text{-N}$ における地点間の主成分分析の結果を図7に示した。St2底・9底・18底・31底・34底・40底がグループを形成していることから粟島北方から大内町地先の底層の経年変化は、類似していると考えられる。

### (7) $\text{NO}_2\text{-N}$

$\text{NO}_2\text{-N}$ における地点間の主成分分析の結果を図8に示した。St9底・36底・40底・43表・43底・57底がグループからはずれており、その他の採水部位はグループを形成している。このことから、の経年変化は、類似している。St9底・36底・40底・43表・43底・57底以外の採水部位の経年変化は、類似していると考えられる。

### (8) $\text{NO}_3\text{-N}$

$\text{NO}_3\text{-N}$ における地点間の主成分分析の結

果を図9に示した。St2表・2底・9表・9底・18表・18底がグループを形成していることから備讃海域の3地点のNO<sub>3</sub>-Nの経年変化は、類似していると考えられる。またSt31表・31底・34表・34底・36表・40表・40底がグループを形成していることから内海町大角鼻沖合の底層を除く東讃海域4地点のNO<sub>3</sub>-Nの経年変化は、類似していると考えられる。

#### (9) T-N

T-Nにおける地点間の主成分分析の結果を図10に示した。St18表・31表・34表・36表・40表がグループを形成していることから、直島南東沖合地点から東讃海域にかけての5地点における表層のT-Nの経年変化は、類似していると考えられる。St9底・18底・40底がグループを形成していることから、備讃瀬戸東部から庵治地先にかけての3地点の底層のT-Nの経年変化は、類似していると考えられる。St31底・34底・36底・51底・57底がグループを形成していることから、東讃東部海域における3地点及び燧灘海域における2地点の底層のT-Nの経年変化は、類似していると考えられる。

#### (10) PO<sub>4</sub>-P

PO<sub>4</sub>-Pにおける地点間の主成分分析の結果を図11に示した。St2表・2底・9表・9底・18底・31表・31底・34表・34底・36表・40表・40底がグループを形成していることから、18表・36底を除く備讃海域から東讃海域にかけての7地点のPO<sub>4</sub>-Pの経年変化は、類似していると考えられる。St43表・43底・51表・51底がグループを形成していることから、燧灘海域における2地点のPO<sub>4</sub>-Pの経年変化は、類似していると考えられる。

#### (11) T-P

T-Pにおける地点間の主成分分析の結果を図12に示した。St31表・31底・34底・36底・40表・40表・43底・51底がグループを形成していることから、東讃海域における4地点及び燧灘海域における2地点のT-Pの経年変化は、類似していると考えられる。St2表

・2底・9表・9底・18表・18底がグループを形成していることから、備讃瀬戸海域の3地点におけるT-Pの経年変化は、類似していると考えられる。

これらの主成分分析の結果より、次のことが考えられる。

- イ 備讃瀬戸海域及び庵治地先の4地点(St2・9・18・40)は、表層及び底層ともにpH・DO・塩分・PO<sub>4</sub>-Pの4項目において、経年変化が類似している。
- ロ 備讃瀬戸海域の3地点(St2・9・18)は、表層及び底層ともにNO<sub>2</sub>-N・NO<sub>3</sub>-N・T-Pの3項目において、経年変化が類似している。
- ハ 東讃海域東部の3地点(St31・34・36)は、St36底層を除くとCOD(生)・塩分・NO<sub>2</sub>-N・NO<sub>3</sub>-N・PO<sub>4</sub>-Pの5項目において、経年変化が類似している。
- ニ 東讃海域東部の3地点(St31・34・36)の表層は、pH・DOの2項目において、経年変化が類似している。
- ホ 東讃海域東部の3地点(St31・34・36)の底層は、T-N・T-Pの2項目において、経年変化が類似している。
- ヘ 燧灘海域の2地点(St43・51)は、表層及び底層ともにCOD(生)・PO<sub>4</sub>-Pの2項目において、経年変化が類似している。
- ト 燧灘海域の3地点(St43・51・57)の底層は、DO・T-Nの2項目において、経年変化が類似している。

これらの結果は以下の理由により、瀬戸内海における潮流・恒流が大きな要因であると考えられる。肥後ら<sup>7)</sup>によると、備讃瀬戸海域及び東讃海域には上げ潮・下げ潮にかかわらず速い潮流が存在する。武岡らによると燧灘海域は、瀬戸内海のほぼ中央に位置しているため潮流の会離点に近く、全体的に潮流は弱く東部海域には反時計回りの恒流が存在し、この恒流が水層的な物質輸送に大きな役割を果たしている。<sup>6)</sup>

## IV まとめ

1990~2000年度の11年間における香川県海域の広域総合水質調査結果を統計解析すると、次のようなことがわかった。

- ① CODにおいては、東讃海域東部の3地点は類似した経年変化を示した。燧灘海域の2地点(St43・51)は類似した経年変化を示した。
- ②  $\text{NO}_2\text{-N}$ 及び $\text{NO}_3\text{-N}$ においては、備讃海域の3地点は類似した経年変化を示した。St36底層を除く東讃海域は類似した経年変化を示した。
- ③ T-Nについては、東讃海域東部の3地点の底層は、類似した経年変化を示した。燧灘海域の3地点の底層は、類似した経年変化を示した。
- ④  $\text{PO}_4\text{-P}$ においては、備讃瀬戸海域及び庵治地先の4地点は類似した経年変化を示した。St36底層を除く東讃海域の3地点は、類似した経年変化を示した。燧灘海域の2地点(St43・51)は類似した経年変化を示した。
- ⑤ T-Pについては、備讃瀬戸海域の3地点表・底層は類似した経年変化を示した。東讃海域東部の3地点の底層は、類似した経年変化を示した。
- ⑥ St36底層では、夏期~秋期における $\text{NH}_4\text{-N}$ ・ $\text{PO}_4\text{-P}$ の底泥からの溶出が、 $\text{NH}_4\text{-N}$ ・ $\text{PO}_4\text{-P}$ の経年変化に大きく寄与しているものと考えられる。
- ⑦ St43底層では、 $\text{NO}_3\text{-N}$ ・T-Pの経年変化に下水処理場の排水・河川水が寄与している可能性がある。
- ⑧ St57表層では、栄養塩類等の経年変化は、内部生産よりも物質輸送により支配されていると考えられる。

## 文 献

- 1) 昭和63年度広域総合水質調査結果, 環境庁水質保全局
- 2) 平成元年度広域総合水質調査結果, 環境庁水質保全局
- 3) 平成3年度広域総合水質調査結果, 環境庁水質

保全局

- 4) 小山武信, 猿棒康量: 最近の瀬戸内海水質評価について(その1) 経年変化, 和歌山県衛生公害研究センター年報, 43, 87-119, (1997)
- 5) 小山武信, 猿棒康量: 最近の瀬戸内海水質評価について(その2) 多変量解析, 和歌山県衛生公害研究センター年報, 44, 56-90, (1998)
- 6) 武岡英隆: 瀬戸内海全体から見た燧灘の流動と成層の特性, 「環境科学」研究報告集, B210-R01-3, 9-16, (1984)
- 7) 肥後竹彦, 高杉由夫: 瀬戸内海全域の潮流について, 中国工業技術試験所報告, 12, 81-120, (1980)

表1 各項目間の相関行列

St2 表層

--

St2 底層

--

St9 表層

--

St9 底層

--

St18 表層

--

St18 底層

--

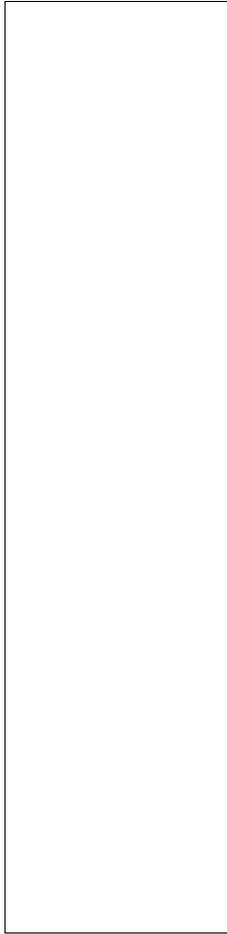
St31 表層

--

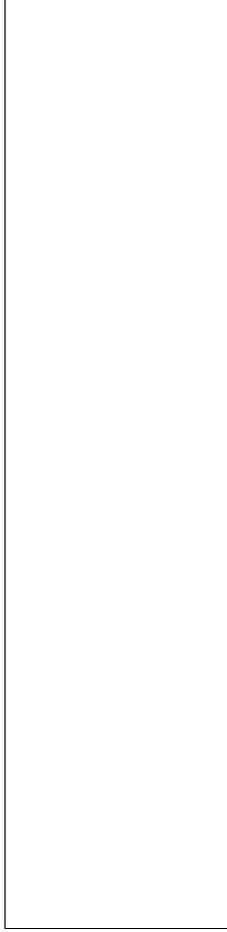
St31 底層

--

St34 表層

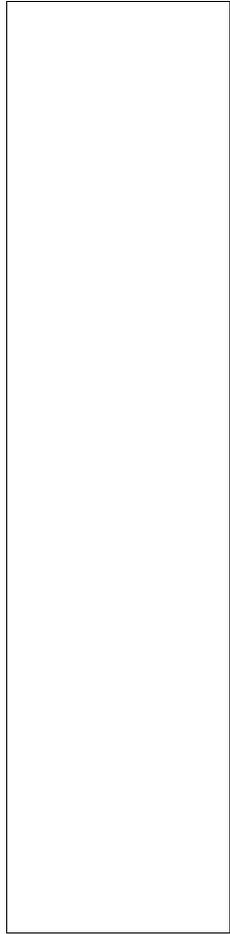


St34 底層

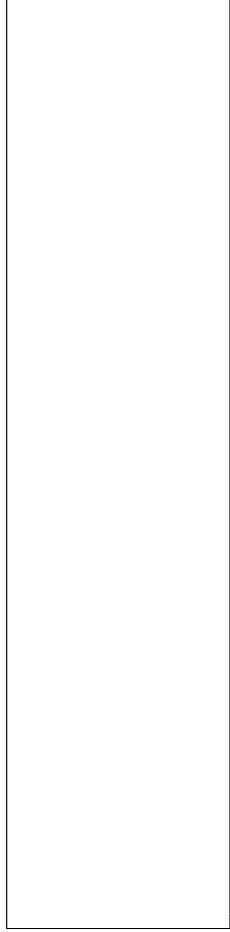


1

St36 表層

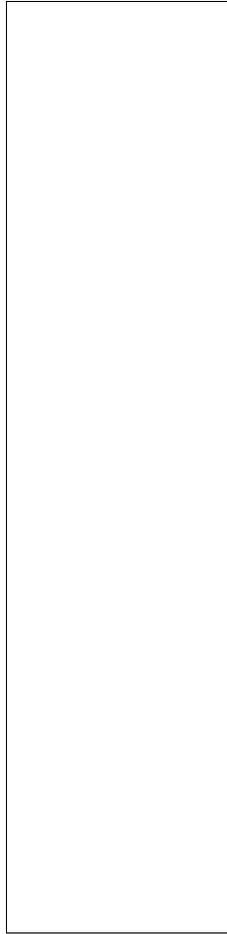


St36 底層

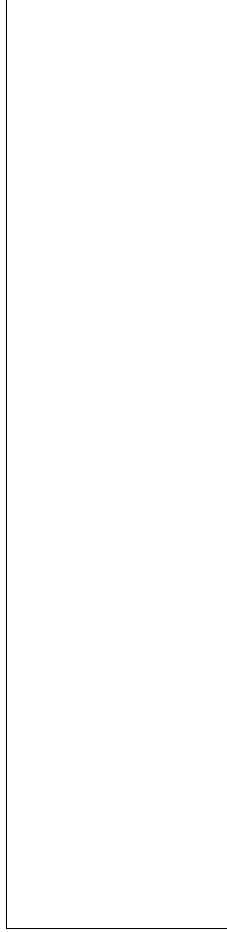


2002

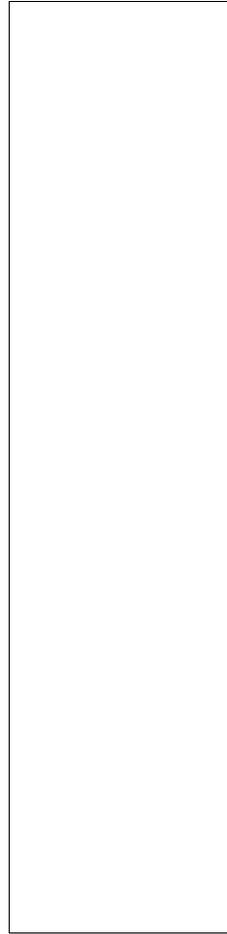
St40 表層



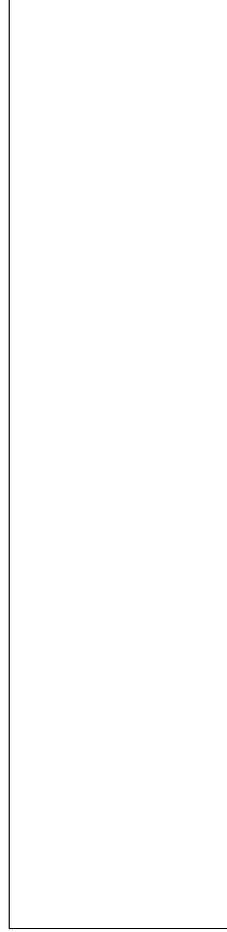
St40 底層



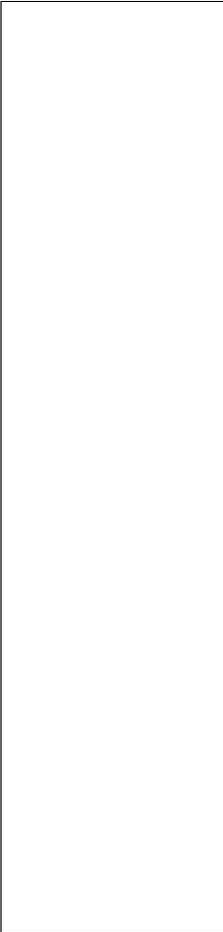
St43 表層



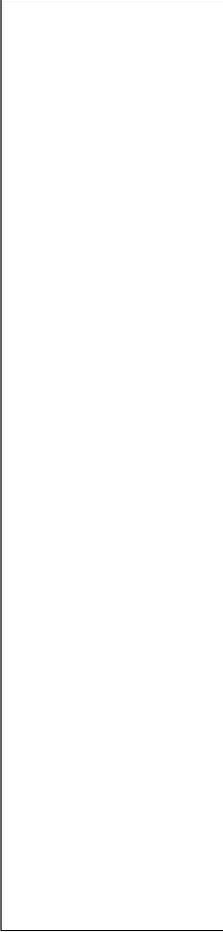
St43 底層



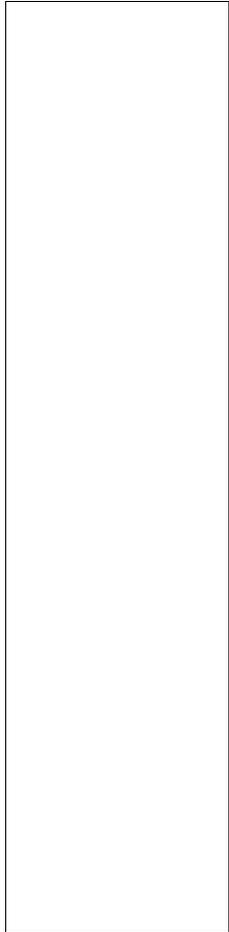
St51 表層



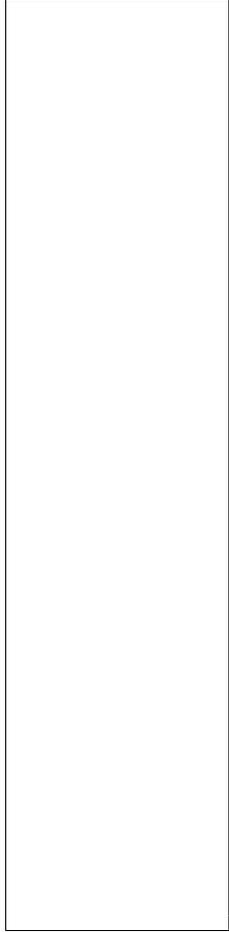
St51 底層



St57 表層



St57 底層



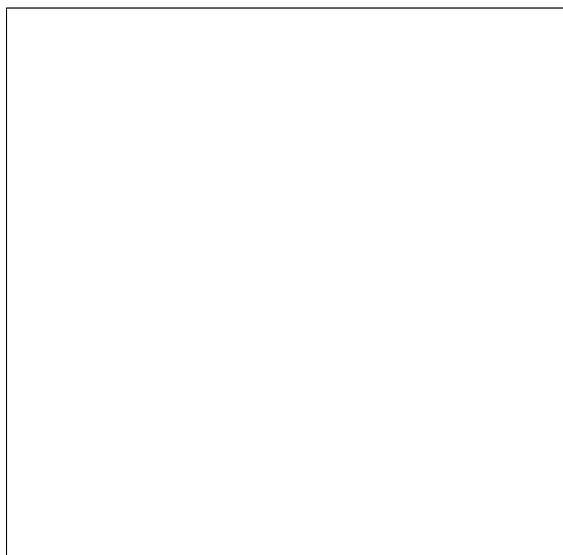


図2 pHにおける地点間の主成分分析

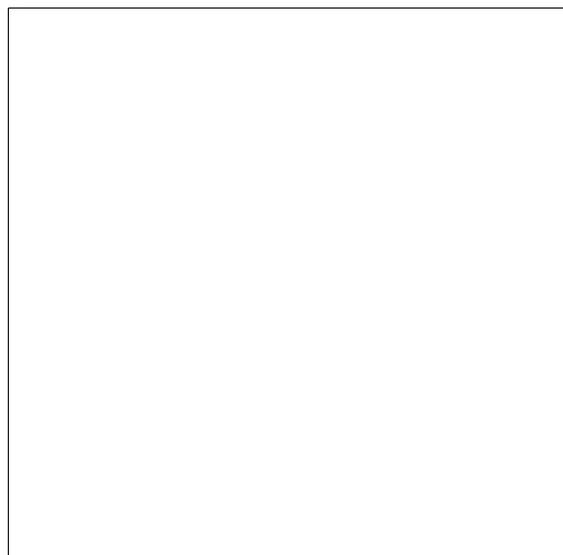


図3 DOにおける地点間の主成分分析

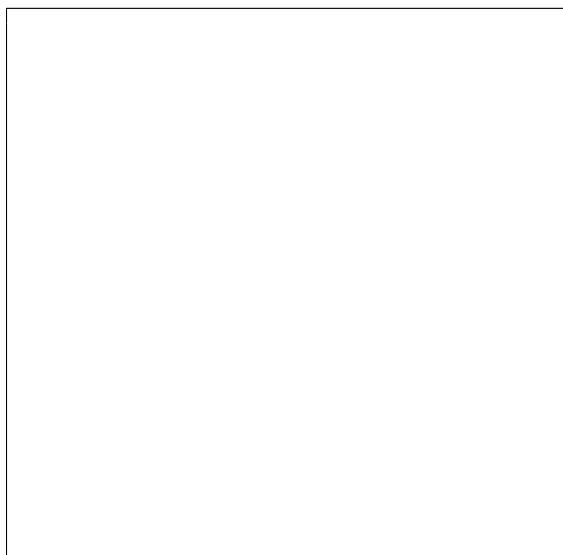


図4 COD(生)における地点間の主成分分析

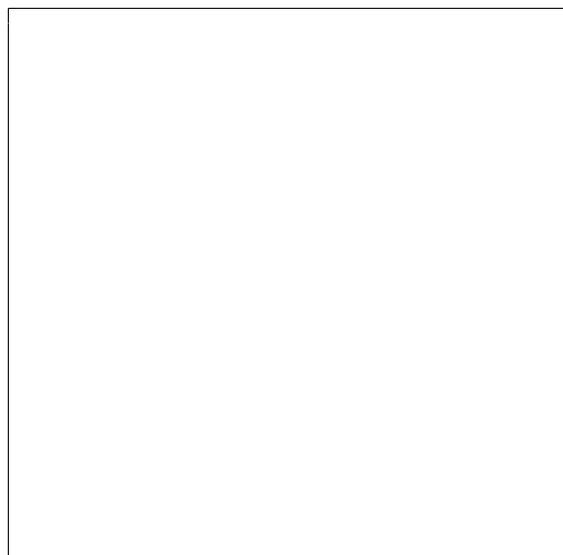


図5 塩分量における地点間の主成分分析

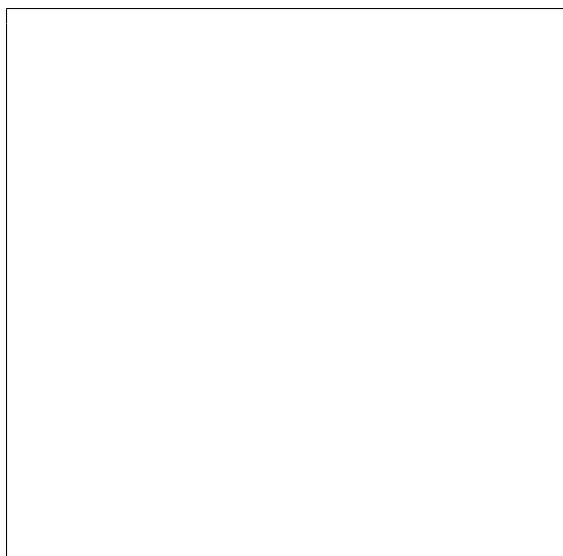


図6 chl-aにおける地点間の主成分分析

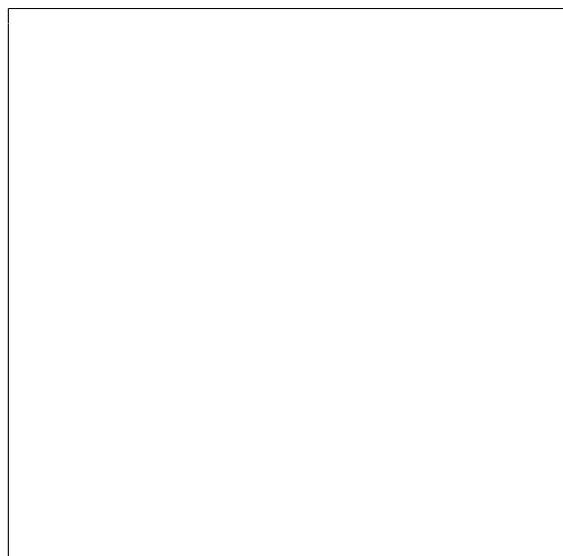


図7 NH<sub>4</sub>-Nにおける地点間の主成分分析

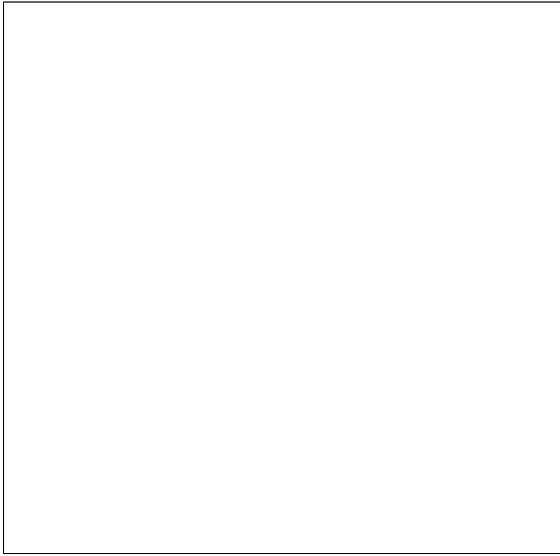


図8 NO<sub>2</sub>-Nにおける地点間の主成分分析

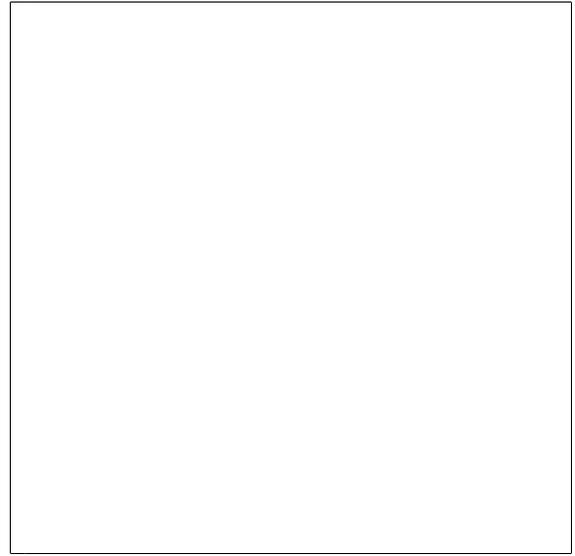


図9 NO<sub>3</sub>-Nにおける地点間の主成分分析

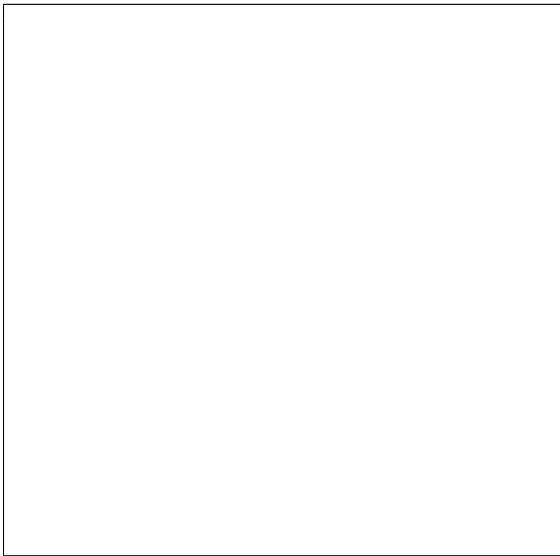


図10 T-Nにおける地点間の主成分分析

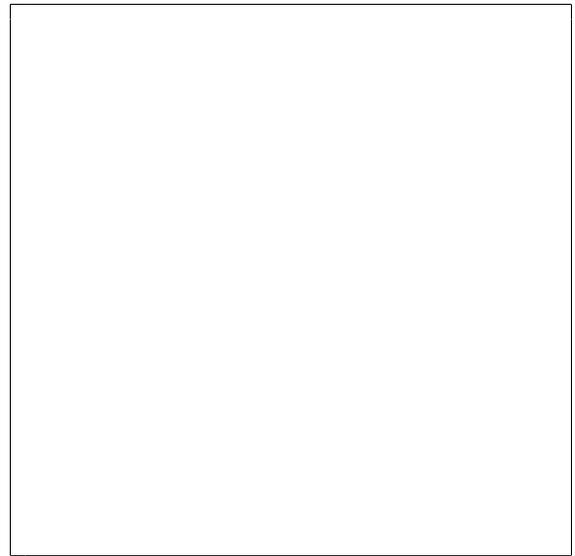


図11 PO<sub>4</sub>-Pにおける地点間の主成分分析

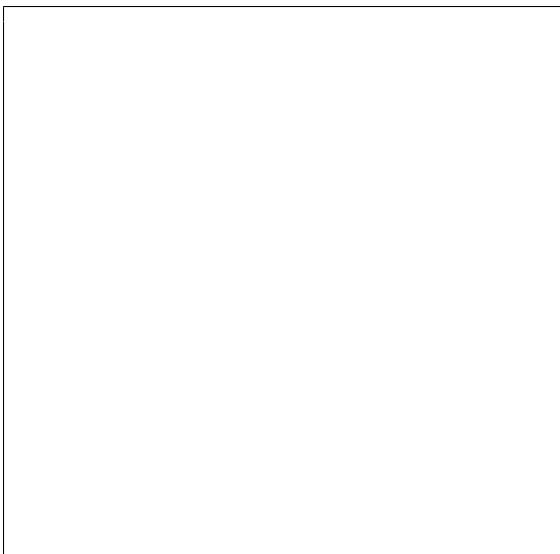


図12 T-Pにおける地点間の主成分分析