

資料

八代海の水質

—30年間の水質の状況及び環境基準の適合状況—

田島 義徳 瀬戸 加奈子 大西 正巳

1 はじめに

八代海は、別名「不知火海」とも呼ばれ、九州西部に位置し、天草灘から北東側に入り込んだ内湾で、宇土半島から長島までの島々と九州本島に囲まれた湾である。八代海は、ノリ養殖や魚類養殖を中心とする水産業が盛んな海域であるが、近年、赤潮の発生による被害等の問題が発生している。このような状況を受け、2002年11月29日に公布・施行された「有明海及び八代海を再生するための特別措置に関する法律」に基づき、鹿児島県では「八代海の再生に関する鹿児島県計画」¹⁾を定め、施策を講じているところである。

本報では、鹿児島県が実施した1980～2009年度の30年間の八代海の水質調査結果を中心に、熊本県の水質調査結果と合わせて、八代海の水質の状況等を解析したので報告する。

2 八代海の概要

2.1 八代海の諸元

本報では閉鎖性海域の水質特性の解析の一つの目的としているので、八代海の範囲を、鹿児島県及び熊本県の全窒素及び全りんに係る環境基準の水域類型の指定に係る告示^{2),3)}に基づき、「熊本県宇土市と上天草市大矢野町を結ぶ天門橋、同市大矢野町、中の橋、前島橋、松島橋、天草市瀬戸大橋、天草下島と同市下須島を結ぶ通天橋、同市下須島南東端と鹿児島県出水郡長島町小浜崎を結ぶ線、同町と阿久根市を結ぶ黒之瀬戸大橋及び陸岸により囲まれた海域」とする。

八代海の諸元^{4~6)}は、表1のとおりである。閉鎖度指数は32.49であり、東京湾（閉鎖度指数1.78）⁴⁾、鹿児島湾（同6.26）⁴⁾と比べると閉鎖度はかなり高い海域である。

2.2 環境基準の類型指定状況

環境基準の類型指定状況を表2, 3に示す。

CODに係る環境基準の類型については、熊本県の八代地先水域が1971年5月に閣議決定により、八代海水域が1976年6月に熊本県告示により、鹿児島県の八代海南部海域が1976年8月に鹿児島県告示により指定されている^{2),3),7)}。

全窒素、全りんに係る環境基準の類型については、熊本県の八代海水域が1999年5月に熊本県告示により、鹿

表1 八代海の諸元^{4~6)}

| 項目 | データ | 項目 | データ |
|------|---------------------|--------|---------------------|
| 湾口幅 | 1.3km | 湾内最大水深 | 89m |
| 水域面積 | 1200km ² | 湾口最大水深 | 73m |
| 容体積 | 22.3km ³ | 平均水深 | 22.2m |
| 干潟面積 | 4085km ² | 流域面積 | 3409km ² |

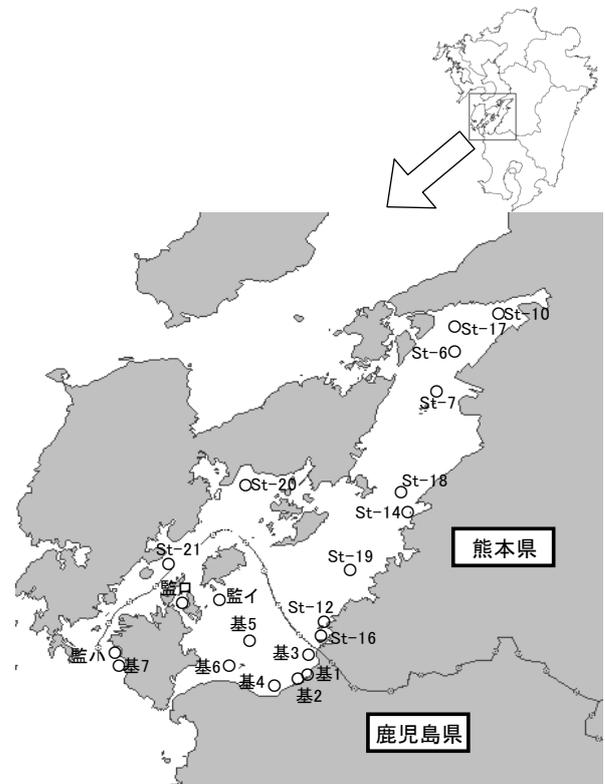


図1 調査地点の位置

鹿児島県の八代海南部海域が1999年5月に鹿児島県告示により指定されている^{8),9)}。

3 調査方法

3. 1 調査地点

解析対象地点は、鹿児島県が水質調査を実施している

表2 CODに係る環境基準の類型指定状況

| 名称 | 水域名 | 範囲 | 類型 | 管轄 |
|-----------|--|---|-----|------|
| 八代海南部海域 | 八代海南部海域(1) | 北緯32度7分34秒、東経130度20分36秒の地点(米之津港内防波堤先端から221度56mの地点)を基点とし、同地点から318度90mの地点を結ぶ線、同地点と同地点から336度30分20mの地点を結ぶ線、同地点と同地点から355度30分100mの地点を結ぶ線、同地点と同地点から48度50mの地点を結ぶ線、同地点と同地点から16度130mの地点を結ぶ線、同地点と同地点から37度180mの地点を結ぶ線、同地点と同地点から82度30分380mの地点を結ぶ線、同地点と同地点から108度30分170mの地点を結ぶ線及び陸岸により囲まれた海域 | 海域B | 鹿児島県 |
| | 八代海南部海域(2) | 北緯32度7分2秒、東経130度19分36秒の地点と、北緯32度7分38秒、東経130度19分23秒の地点を結ぶ線、同地点と北緯32度7分58秒、東経130度20分37秒の地点を結ぶ線、同地点と北緯32度7分36秒、東経130度20分46秒の地点を結ぶ線及び陸岸により囲まれた海域であって、別記1*1の水域に係る部分を除いたもの | 海域A | |
| | 八代海南部海域(3) | 阿久根市大字脇本字梶石10791番4(黒之瀬戸大橋阿久根市側橋台取付部)と出水郡長島町大字山門野字魚待4092番3(黒之瀬戸大橋長島町側橋台取付部)を結ぶ線及び同町城川内字長崎原1726番2(長崎鼻灯台)の地点から西へ向かう線の北部の本県陸岸の地先海域であって、別記1*1及び2*2の水域に係る部分を除いたもの | 海域A | |
| 八代地先水域 | 八代港 | 八代港導流堤突端と八代市新港町1丁目22番地の西端を結ぶ線、同導流堤及び陸岸により囲まれた海域 | 海域C | 熊本県 |
| | 八代地先海域(甲) | 水無川河口中央を中心とする半径1000mの円弧及び陸岸により囲まれた海域 | 海域C | |
| | 八代地先海域(乙) | 鏡川河口左岸と同地点から北西1000mの地点を結ぶ線、同地点と水無川河口中央から北西方2500mの地点(北緯32度34分8秒、東経130度32分27秒)を結ぶ線、同地点と弁天島北端を結ぶ線、弁天島南端と北島北端を結ぶ線、北島南端と中島北端を結ぶ線、中島南端と南島北端を結ぶ線、南島南端と船瀬北端を結ぶ線、船瀬南端と芦北干拓の北西端を結ぶ線及び陸岸により囲まれた海域であって、八代港及び八代地先海域(甲)に係る部分を除いたもの | 海域B | |
| 八代地先海域(丙) | 鏡川河口左岸から芦北干拓に至る陸岸の地先海域であって、八代港、八代地先海域(甲)及び八代地先海域(乙)に係る部分を除いたもの | 海域A | | |
| 八代海水域 | 八代海(1) | 宇土半島と大矢野島を結ぶ天門橋、大矢野島塔ヶ崎と寺島西端を結ぶ線、寺島西端から26度に引いた線、宇土半島と戸馳島を結ぶ戸馳橋及び陸岸により囲まれた海域 | 海域B | 熊本県 |
| | 八代海(2) | 天草上島と前島を結ぶ松島橋、上天草市松島町阿村クブキ北西鼻から270度に引いた線及び陸岸により囲まれた海域 | 海域B | |
| | 八代海(3) | 天草上島と天草下島を結ぶ瀬戸橋、天草市方原川左岸端から72度に引いた線及び陸岸により囲まれた海域 | 海域B | |
| | 八代海(4) | 台場防波堤(90m)の基部から台場防波堤(200m)を経て白瀬防波堤先端に至る線、天草下島と下須島を結ぶ通天橋及び陸岸により囲まれた海域 | 海域B | |
| | 八代海(5) | 鏡川河口左岸と同地点から北西1000mの地点を結ぶ線、同地点と宇城市不知火町救の浦の鼻を結ぶ線及び陸岸により囲まれた海域 | 海域B | |
| | 八代海(6) | 二子島南端と明神崎北端を結ぶ線及び陸岸により囲まれた海域 | 海域B | |
| | 八代海(7) | 宇土半島と大矢野島を結ぶ天門橋、同島と永浦島を結ぶ大矢野橋、同島と大池島を結ぶ中の橋、同島と前島を結ぶ前島橋、同島と天草上島を結ぶ松島橋、同島と天草下島を結ぶ瀬戸橋、同島と下須島を結ぶ通天橋及び熊本県の区域に属する陸岸により囲まれた海域であって八代海の(1)から(6)までの海域に係る部分、昭和46年5月25日閣議決定により類型が指定された「八代地先水域」及び熊本県以外の県の区域に属する陸岸の地先海域を除いたもの | 海域A | |

*1 八代海南部海域(1)

*2 八代海南部海域(2)

表3 全窒素、全りんに係る環境基準の類型指定状況

| 名称 | 水域名 | 範囲 | 類型 | 管轄 |
|---------|---------|---|-------|------|
| 八代海南部海域 | 八代海南部海域 | 熊本県宇城市と上天草市を結ぶ天門橋、同市大矢野橋、中の橋、前島橋、松島橋、天草市瀬戸大橋、天草下島と同市下須島を結ぶ通天橋、同市下須島南東端と鹿児島県出水郡長島町小浜崎を結ぶ線、同町と阿久根市を結ぶ黒之瀬戸大橋及び陸岸により囲まれた海域のうち、本県の区域に属する海域 | 海域I | 鹿児島県 |
| 八代海水域 | 八代海北部 | 熊本県宇土市三角町の宇土半島部と同市戸馳島を結ぶ戸馳大橋、同島戸馳漁港北側堤防先端から八代市郡築七番町地先堤防先端を結ぶ線及び陸岸により囲まれた海域 | 海域III | 熊本県 |
| | 八代海中部 | 熊本県八代市郡築七番町地先堤防先端から宇土市三角町戸馳島戸馳漁港北側堤防先端を結ぶ線、同島と同市宇土半島部を結ぶ戸馳大橋、同市と天草市大矢野町を結ぶ天門橋、同市大矢野橋、中の橋、前島橋、松島橋、天草上島と上天草市龍ヶ岳町櫛島を結ぶ櫛島橋、同島と樋島を結ぶ樋島大橋、同島琵琶の首と葦北郡芦北町御立岬を結ぶ線及び陸岸により囲まれた海域 | 海域II | |
| | 八代海南部 | 熊本県葦北郡芦北町御立岬と上天草市龍ヶ岳町樋島琵琶の首を結ぶ線、同島と櫛島を結ぶ樋島大橋、同島と天草上島を結ぶ櫛島橋、同島と天草下島を結ぶ瀬戸大橋、同島と牛深市下須島を結ぶ通天橋、牛深市下須島南東端と鹿児島県出水郡長島町小浜崎を結ぶ線、同郡東町と阿久根市を結ぶ黒之瀬戸大橋及び陸岸により囲まれた海域のうち、熊本県の区域に属する海域 | 海域I | |

表4 調査地点

| 地点名 | 統一地点番号 | CODに係る環境基準の類型 | | | | 全窒素, 全りんに係る環境基準の類型 | | | | | 管轄 |
|-------|-----------|---------------|-----|---------|--------|--------------------|-------|-----------|------------|--------|------|
| | | 水域名 | 類型 | 環境基準 | 地点区分*1 | 水域名 | 類型 | 環境基準 | | 地点区分*1 | |
| | | | | | | | | 全窒素 | 全りん | | |
| 基準点1 | 46-608-01 | 八代海南部海域(1) | 海域B | 3mg/L以下 | 基準点 | 八代海南部海域 | 海域I | 0.2mg/L以下 | 0.02mg/L以下 | —*2 | 鹿児島県 |
| 基準点2 | 46-609-01 | 八代海南部海域(2) | 海域A | 2mg/L以下 | 基準点 | 八代海南部海域 | 海域I | 0.2mg/L以下 | 0.02mg/L以下 | 基準点 | |
| 基準点3 | 46-610-01 | 八代海南部海域(3) | 海域A | 2mg/L以下 | 基準点 | 八代海南部海域 | 海域I | 0.2mg/L以下 | 0.02mg/L以下 | 基準点 | |
| 基準点4 | 46-610-02 | 八代海南部海域(3) | 海域A | 2mg/L以下 | 基準点 | 八代海南部海域 | 海域I | 0.2mg/L以下 | 0.02mg/L以下 | 基準点 | |
| 基準点5 | 46-610-03 | 八代海南部海域(3) | 海域A | 2mg/L以下 | 基準点 | 八代海南部海域 | 海域I | 0.2mg/L以下 | 0.02mg/L以下 | 基準点 | |
| 基準点6 | 46-610-04 | 八代海南部海域(3) | 海域A | 2mg/L以下 | 基準点 | 八代海南部海域 | 海域I | 0.2mg/L以下 | 0.02mg/L以下 | 基準点 | |
| 基準点7 | 46-610-05 | 八代海南部海域(3) | 海域A | 2mg/L以下 | 基準点 | —*3 | —*3 | —*3 | —*3 | —*3 | |
| 監視点イ | 46-610-51 | 八代海南部海域(3) | 海域A | 2mg/L以下 | 補助点 | 八代海南部海域 | 海域I | 0.2mg/L以下 | 0.02mg/L以下 | 基準点 | |
| 監視点ロ | 46-610-52 | 八代海南部海域(3) | 海域A | 2mg/L以下 | 補助点 | 八代海南部海域 | 海域I | 0.2mg/L以下 | 0.02mg/L以下 | 基準点 | |
| 監視点ハ | 46-610-53 | 八代海南部海域(3) | 海域A | 2mg/L以下 | 補助点 | —*3 | —*3 | —*3 | —*3 | —*3 | |
| St-6 | 43-604-01 | 八代地先海域(丙) | 海域A | 2mg/L以下 | 基準点 | 八代海中部 | 海域II | 0.3mg/L以下 | 0.03mg/L以下 | 補助点 | 熊本県 |
| St-7 | 43-604-02 | 八代地先海域(丙) | 海域A | 2mg/L以下 | 基準点 | 八代海中部 | 海域II | 0.3mg/L以下 | 0.03mg/L以下 | 基準点 | |
| St-10 | 43-618-05 | 八代海(7) | 海域A | 2mg/L以下 | 基準点 | 八代海北部 | 海域III | 0.6mg/L以下 | 0.05mg/L以下 | 基準点 | |
| St-12 | 43-618-06 | 八代海(7) | 海域A | 2mg/L以下 | 基準点 | 八代海南部 | 海域I | 0.2mg/L以下 | 0.02mg/L以下 | 補助点 | |
| St-14 | 43-618-54 | 八代海(7) | 海域A | 2mg/L以下 | 補助点 | 八代海南部 | 海域I | 0.2mg/L以下 | 0.02mg/L以下 | 補助点 | |
| St-16 | 43-618-08 | 八代海(7) | 海域A | 2mg/L以下 | 基準点 | 八代海南部 | 海域I | 0.2mg/L以下 | 0.02mg/L以下 | 補助点 | |
| St-17 | 43-618-55 | 八代海(7) | 海域A | 2mg/L以下 | 補助点 | 八代海北部 | 海域III | 0.6mg/L以下 | 0.05mg/L以下 | 基準点 | |
| St-18 | 43-618-56 | 八代海(7) | 海域A | 2mg/L以下 | 補助点 | 八代海中部 | 海域II | 0.3mg/L以下 | 0.03mg/L以下 | 基準点 | |
| St-19 | 43-618-57 | 八代海(7) | 海域A | 2mg/L以下 | 補助点 | 八代海南部 | 海域I | 0.2mg/L以下 | 0.02mg/L以下 | 基準点 | |
| St-20 | 43-618-58 | 八代海(7) | 海域A | 2mg/L以下 | 補助点 | 八代海南部 | 海域I | 0.2mg/L以下 | 0.02mg/L以下 | 基準点 | |
| St-21 | 43-618-59 | 八代海(7) | 海域A | 2mg/L以下 | 補助点 | 八代海南部 | 海域I | 0.2mg/L以下 | 0.02mg/L以下 | 基準点 | |

*1 基準点は環境基準点, 補助点は調査補助点である。

*2 基準点1は, 全窒素, 全りんに係る環境基準の類型指定区域内にあるが, 1999年度から全窒素, 全りんの調査対象地点ではない。

*3 基準点7及び監視点ハは, 全窒素, 全りんに係る環境基準の類型指定区域外である。

表5 各調査項目の調査地点, 解析期間等

| 調査項目 | 調査主体 | 調査地点 | 解析期間 | 備考 (分析法, 調査回数) | | |
|----------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--|---|---------------------------------|
| COD | 鹿児島県 | 基準点1~7 監視点イ, ロ 監視点ハ | 1980~2009年度 | 酸性法, 6回/年 | | |
| | | 熊本県 | St-6, 7, 12 | | 1980~1997年度 1998~2009年度 | アルカリ性法, 6~12回/年 酸性法, 6~12回/年 |
| | | | St-10 | | 1981~1987年度, 1991~1997年度 1998~2009年度 | アルカリ性法, 6~12回/年 酸性法, 6~12回/年 |
| | St-14 | | | 1980~1997年度 1998~2009年度 | アルカリ性法, 3~7回/年 酸性法, 3~12回/年 | |
| | St-16 | | 1998~2009年度 | 酸性法, 6~12回/年 | | |
| | St-17~21 | 1999~2009年度 | | | | |
| | 全窒素, 全りん | 鹿児島県 | 基準点1 | 1994~1998年度 | 1993年度まで: 総窒素, 6回/年 1994~2009年度: 全窒素, 6回/年 | |
| 基準点2~6, 監視点ロ | | | 1985~2009年度 | | | |
| 基準点7 | | | 1985~2001年度 | | | |
| 監視点イ | | | 1994~2009年度 | | | |
| 熊本県 | | St-6, 12 | 1989~1999年度, 2002~2009年度 | 4~12回/年 | | |
| | | St-7 | 1989~2009年度 | | | |
| | | St-10 | 1991~2009年度 | | | |
| St-14 | 1989~1999年度, 2002~2009年度 | 3~12回/年 | | | | |
| | St-16 | 1999, 2002~2009年度 | 6~12回/年 | | | |
| St-17~21 | 1999~2009年度 | | | | | |
| DO, 塩化物イオン pH, 水温 | 鹿児島県 | 基準点1~7 監視点イ, ロ 監視点ハ | 1980~2009年度 | 6回/年 | | |
| | | 鹿児島県 | 基準点1 | | 1980~1989年度 | 6回/年 |
| | | | 基準点2~4 | | 1980~2009年度 | |
| 基準点5~7 | 1980~2004年度 | | | | | |
| 監視点イ, ロ, ハ | 1980~1990年度 | | | | | |
| n-ヘキサン抽出物質 (油分等) | 鹿児島県 | 基準点1 | 1980~2009年度 | 1980~1998年度: 3回/年 1999年度: 2回/年 2000~2004年度: 3回/年 2009年度: 1回/年 | | |
| | | 基準点2~7 | 1980~2002年度 | 1980~1998年度: 3回/年 1999年度: 2回/年 2000~2002年度: 3回/年 | | |

八代海南部海域の全ての環境基準点（以下「基準点」という。図表中では「基準点」又は「基」と表記する。）及び監視点（図表中では「監視点」又は「監」と表記する。）と、熊本県が水質調査を実施している海域のうち、CODの環境基準が海域A類型に指定されている八代地先海域（丙）及び八代海（7）水域から陸域の影響が比較的小さいと考えられる調査地点を選定した。調査地点を表4に、位置を図1に示す。調査地点については、全窒素、全りんに係る環境基準の類型指定水域を基に、熊本県の調査地点を3水域に区分している。鹿児島県の水域は、区分していない。

(1) 熊本県の調査地点

- 八代海北部 St-10, 17
- 八代海中部 St-6, 7, 18
- 八代海南部 St-12, 14, 16, 19~21

(2) 鹿児島県の調査地点

- 八代海南部海域 基準点1~7, 監視点イ, ロ, ハ

3. 2 解析データ

3. 2. 1 水質データ

鹿児島県が実施した1980~1988年度の「公共用水域の水質測定結果」¹⁰⁾、1989~2009年度の「公共用水域及び地下水の水質測定結果」¹¹⁾及び熊本県の1980~1988年度の「水質調査報告書」¹²⁾、1989~2009年度の「水質調査報告書（公共用水域及び地下水）」¹³⁾のデータを用いている。

3. 2. 2 解析期間等

各調査項目の調査地点、解析期間等を表5に示す。

(1) 採水方法等

鹿児島県の調査は、n-ヘキサン抽出物質（油分等）を除き、年6回、1980~1981年度は奇数月、1982年度以後は偶数月に採水し、天候等の関係で採水できなかった場合は翌月に採水している。採取水深は表層（0.5m層）である。熊本県のデータについては、公表された結果を使用している。

(2) 各調査項目の調査地点、解析期間等

1980~2009年度の30年間を解析対象としているが、項目、地点によっては、調査を実施していない期間がある。鹿児島県のCODは全て酸性法で測定され、熊本県のCODは、1997年度まではアルカリ性法で、1998年度から酸性法で測定されている。鹿児島県の全窒素は、1993年度までは総窒素（アンモニア態窒素、亜硝

酸態窒素、硝酸態窒素及び有機態窒素の合算値）のデータを使用している。DO飽和度は、DOをJIS K 0102（2008）¹⁴⁾に基づき、水温及び塩化物イオン濃度で補正した飽和溶存酸素濃度で除して算出している。

4 結果及び考察

4. 1 COD

4. 1. 1 CODの環境基準適合状況

鹿児島県及び熊本県の調査地点別のCODの環境基準適合状況を図2に、適合状況の推移を図3に示す。なお、熊本県の状況は、酸性法によりCOD測定が行われている1998年度以後の状況である。

鹿児島県の調査地点について、港湾区域（米之津港）内の基準点1では、過去30年間全て環境基準に適合している。米之津川河口地先にある基準点2は適合割合が一

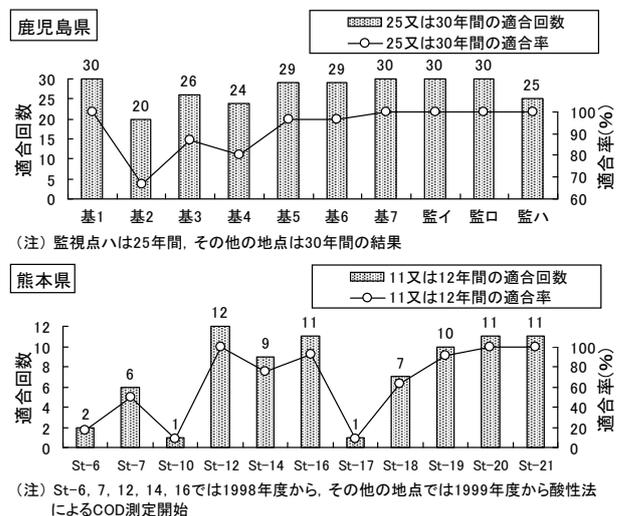


図2 調査地点別のCODの環境基準適合状況

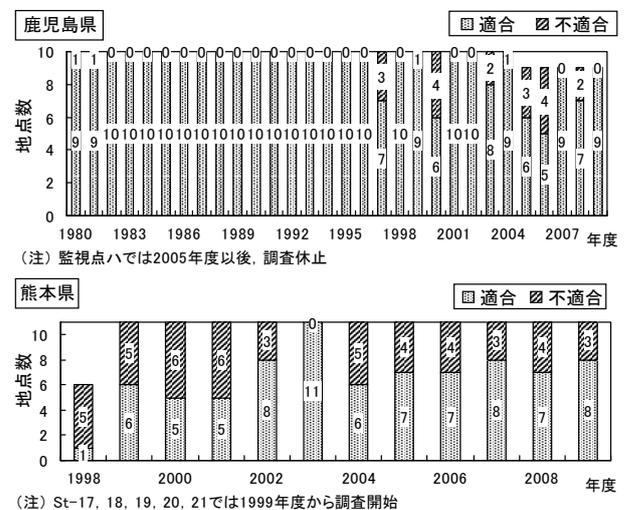


図3 CODの環境基準適合状況の推移

番低く30年間で20回(適合率67%)となっている。基準点4で24回(適合率80%),基準点3で26回(適合率87%)となっている。その他の地点では、概ね環境基準に適合(適合率97~100%)している。

1998年度以後の熊本県の調査地点について、八代海北部のSt-10, 17では1回(適合率8~9%),八代海中部のSt-6, 7, 18では2~7回(適合率17~64%),八代海南部のSt-12, 14, 16, 19~21では9回以上(適合率75~100%)環境基準に適合している。八代海では、同じ類型の水域と比較すると、北部ほど環境基準の適合率が低い傾向にある。

CODの環境基準の適合状況の推移について、鹿児島県では、1996年度までは基準点2を除き、全地点で環境基準に適合しているが、1997年度以後は環境基準に適合しない地点がみられ、年度によっては約4割の地点が適合していない。熊本県では、2003年度は全地点で環境基準に適合しているが、それ以外の年度は約3~8割の地点で環境基準に適合していない。

4. 1. 2 CODの年平均値の推移

CODの年平均値の推移を図4に示す。

鹿児島県の基準点1~4では、出水市内の製紙工場が1981年まで操業¹⁵⁾しており、その影響と考えられるCODが高い状況がみられる。1982年度にはCODが低下している。1982年以後は、ゆるやかな上昇傾向がみられる。基準点5~7, 監視点イ, ロ, ハでは、COD1.7mg/L以下で、概ね横ばいで推移している。

熊本県では、アルカリ性法で測定された1997年度までは、調査地点又は年度によって変動があるが、CODの低下傾向がみられる。酸性法で測定された1998年度以後は、概ね横ばいで推移している。COD測定法の変更があった1998年前後の熊本県の測定結果から、アルカリ性法で測定した期間は、酸性法で測定した期間に比べ低い測定値となっている。

4. 1. 3 CODの分布の概略

CODの年平均値について、1998年度からの地点別の12年間(St-17~21は11年間)平均値を図5に示す。熊本県の調査地点を、八代海の概ね北部から南部の順に、左から並べて表示してあり、その右側に鹿児島県の調査地点を概ね東から西に並べる形で表示している。

熊本県では、八代海北部(St-10, 17)でCODが一番高く、次いで八代海中部(St-6, 7, 18)の順になっている。中部の調査地点のCODを比較すると、北部に近

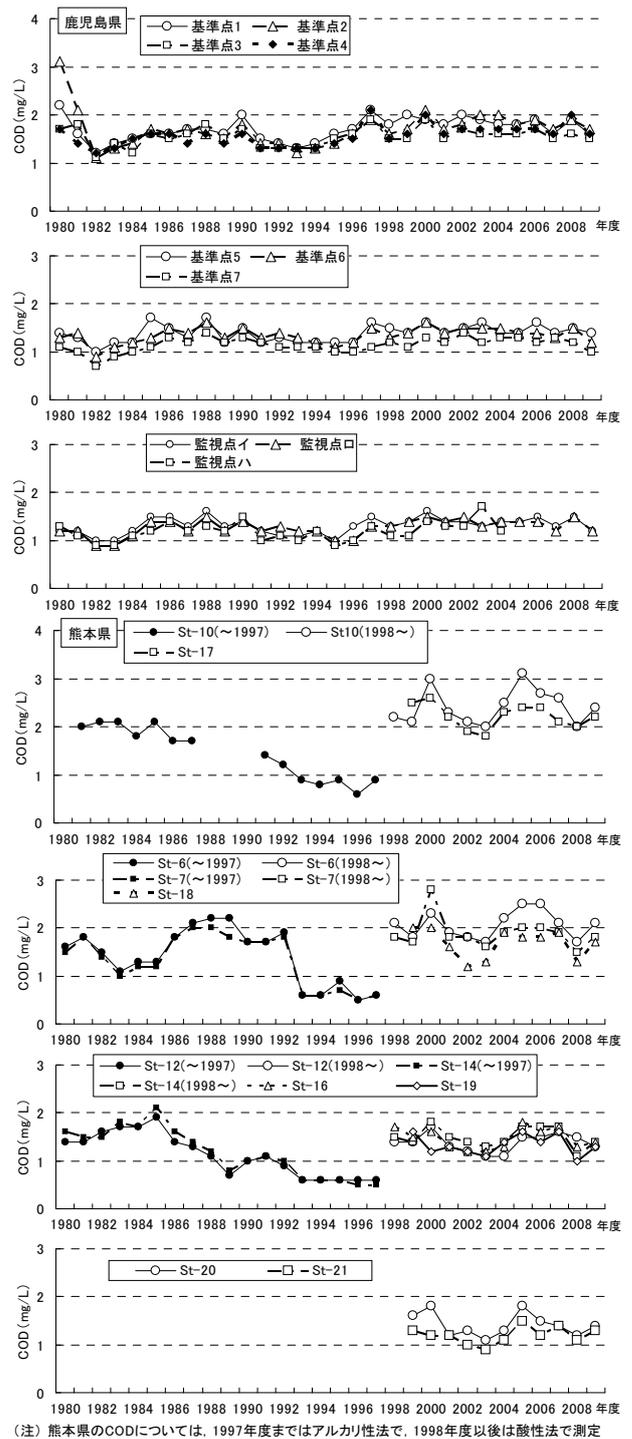


図4 CODの年平均値の推移

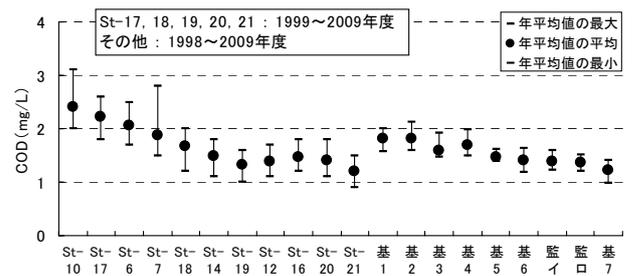


図5 地点別のCOD

い地点ほど高くなっている。CODが比較的低いのは八代海南部 (St-14, 19, 12, 16, 20, 21) である。南部の調査地点間でCODを比較すると、九州本土側と天草側の調査地点では大きな差はみられない。

鹿児島県では、港湾区域の基準点1, 米之津川河口地先の基準点2, 野田川・高尾野川河口地先沖の基準点4のCODが比較的高くなっている。基準点1では港湾の影響を、基準点2では米之津川の影響を受けていると考えられる。基準点3, 5~7及び監視点イ, ロのCODは、熊本県の南部の地点と概ね同程度である。

八代海におけるCODの分布の概略は、港湾区域及び河口地先等陸域の影響を受けやすい地点を除いて、北部が一番高く、次いで中部であり、南部が比較的低くなっている。

「八代海と外海との交流は、長島海峡と黒之瀬戸を通じて主に行われる」^{5),16)} ことと考え合わせると、北部が閉鎖性海域の湾奥に、南部が閉鎖性海域の湾口に該当し、外海との海水交換が行われにくい北部では比較的水質の状況が悪いと推察される。

4. 1. 4 CODの月別変動

鹿児島県のCODの月別変動を図6に示す。

全ての地点において、6, 7月又は8, 9月に最大となり、12, 1月又は2, 3月に最小となる概ね一山型の年間の変動がみられる。

4. 2 全窒素, 全りん

4. 2. 1 全窒素の環境基準適合状況

調査地点別の全窒素の環境基準適合状況を図7に、適合状況の推移を図8に示す。

鹿児島県の基準点2では、全窒素に係る環境基準の類型が指定された1999年度以後11年間で、環境基準に適合しているのは3回 (適合率27%) である。基準点2は、米之津川の影響を受けていると考えられる。鹿児島県の他の調査地点では全て環境基準に適合している。

熊本県では、類型が指定された1999年度以後、海域Ⅲ類型 (St-10, 17) の地点では全て環境基準に適合している。海域Ⅱ類型 (St-6, 7, 18) の地点では2000年度を除き環境基準に適合している。海域Ⅰ類型 (St-12, 14, 16, 19~21) の地点では、環境基準に適合しない年度が多く、特にSt-16では2007年度まで全て環境基準に適合していない。適合率は22% (St-16) ~82% (St-20) である。2008年度以後は、全地点で環境基準に適合している。

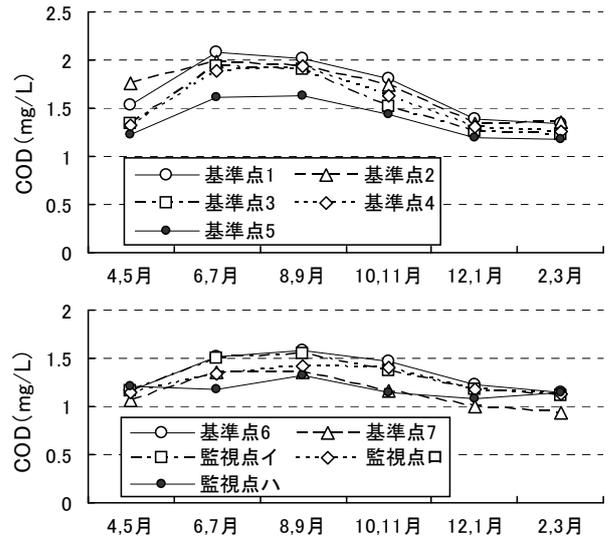


図6 CODの月別変動

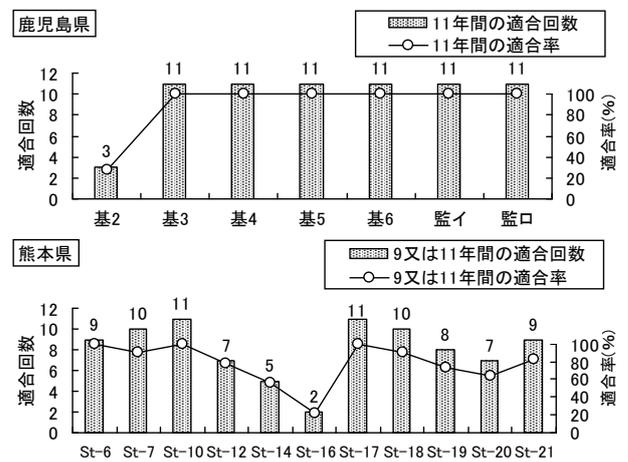


図7 調査地点別の全窒素の環境基準適合状況

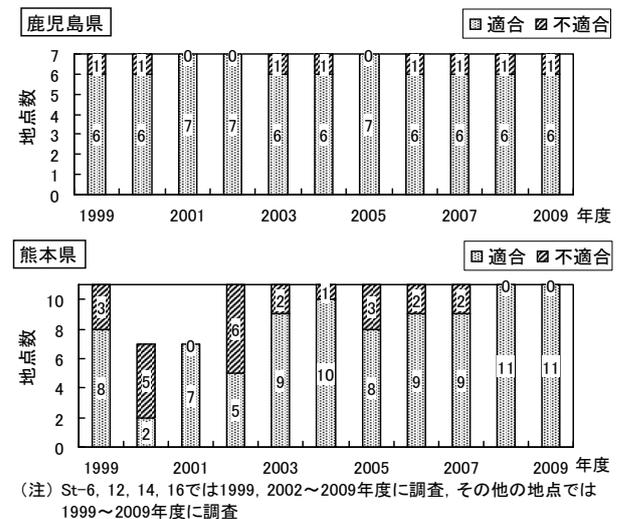


図8 全窒素の環境基準適合状況の推移

4. 2. 2 全りんの環境基準適合状況

全りんの環境基準適合状況を図9に、適合状況の推移を図10に示す。

鹿児島県では、類型が指定された1999年度以後、米之津川河口地先の基準点2では環境基準に適合しているのは1回（適合率9%）である。島嶼に囲まれた監視点ロでは環境基準に適合しているのは3回（適合率27%）である。他の調査地点は概ね環境基準に適合している。

熊本県では、類型が指定された1999年度以後、海域Ⅲ類型（St-10, 17）のうち、St-17では全て環境基準に適合しているが、St-10では適合率が45%である。海域Ⅱ類型（St-6, 7, 18）のうち、St-18では全て環境基準に適合しているが、St-6, 7では適合率が56%, 82%となっている。海域Ⅰ類型（St-12, 14, 16, 19~21）の地点では、環境基準に適合しない年度が多く、適合率は44%（St-14）~91%（St-19）である。2008年度以後は環境基準に適合しない地点が増加傾向にある。

4. 2. 3 全窒素濃度の年平均値の推移

全窒素濃度の年平均値の推移を図11に示す。また、中央環境審議会水環境部会総量削減専門委員会¹⁷⁾における窒素濃度の推移の検討手法を用いて、鹿児島県の全窒素濃度の年平均値の5年間平均値の推移を図12に示す。

鹿児島県の基準点3~6及び監視点イ、ロでは、年度によって変動はあるが、低下傾向にある。2005~2009年度の年平均値の5年間平均値は0.12~0.15mg/Lの範囲である。

基準点1では1994~1998年度の調査のみのため長期的変動は分からないが、濃度は基準点2と同程度で、調査した5年間の平均値は0.23mg/Lである。

基準点2では、年度によって変動が大きい、概ね横ばいで推移している。濃度は他の地点に比べ高い。2005~2009年度の年平均値の5年間平均値は0.27mg/Lである。

基準点7では、2001年度まで調査を行っている。年度によって変動はあるが、2001年度まで低下傾向にある。1997~2001年度の年平均値の5年間平均値は0.12mg/Lである。

熊本県では、2000年度までは年度によって変動があり、特にSt-6, 7, 10では変動幅が大きい。2001年度以後はいずれの地点も以前に比べると変動幅は小さくなっている。また、調査地点によって濃度に違いがあり、八代海北部のSt-10, 17の濃度が最も高く、次いで八代海中部であり、比較的低いのが八代海南部の調査地点となっている。鹿児島県の結果と合わせて八代海的全窒素の濃度

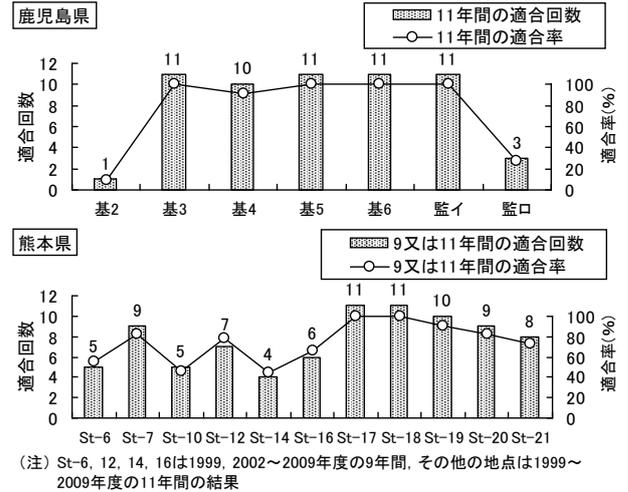


図9 調査地点別の全りんの環境基準適合状況

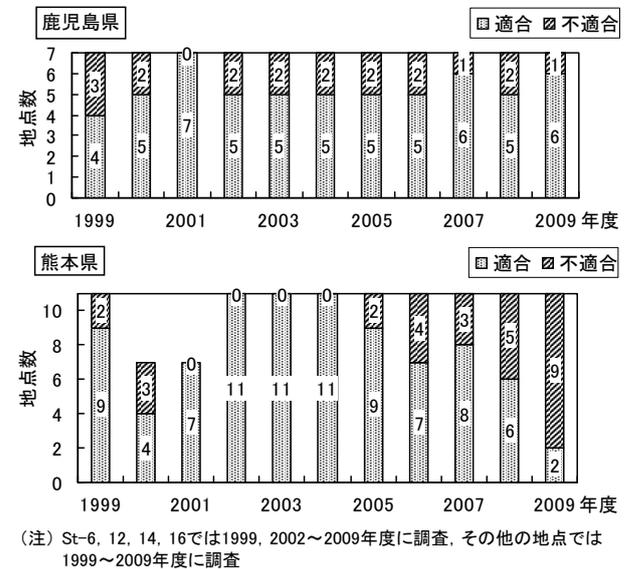


図10 全りんの環境基準適合状況の推移

分布について4.2.5節で述べる。

4. 2. 4 全りん濃度の年平均値の推移

鹿児島県及び熊本県の全りん濃度の年平均値の推移を図13に示す。また、中央環境審議会水環境部会総量削減専門委員会¹⁷⁾におけるりん濃度の推移の検討手法を用いて、鹿児島県の全りん濃度の年平均値の5年間平均値の推移を図14に示す。

鹿児島県の基準点1では1994~1998年度の調査のみのため変動傾向は不明であるが、濃度は、基準点2と同程度で、調査した5年間の平均は0.024mg/Lである。基準点2では、年度によって変動はあるが、概ね横ばいで推移している。濃度は他の地点に比べ高い。2005~2009年度の年平均値の5年間平均値は0.024mg/Lである。基準

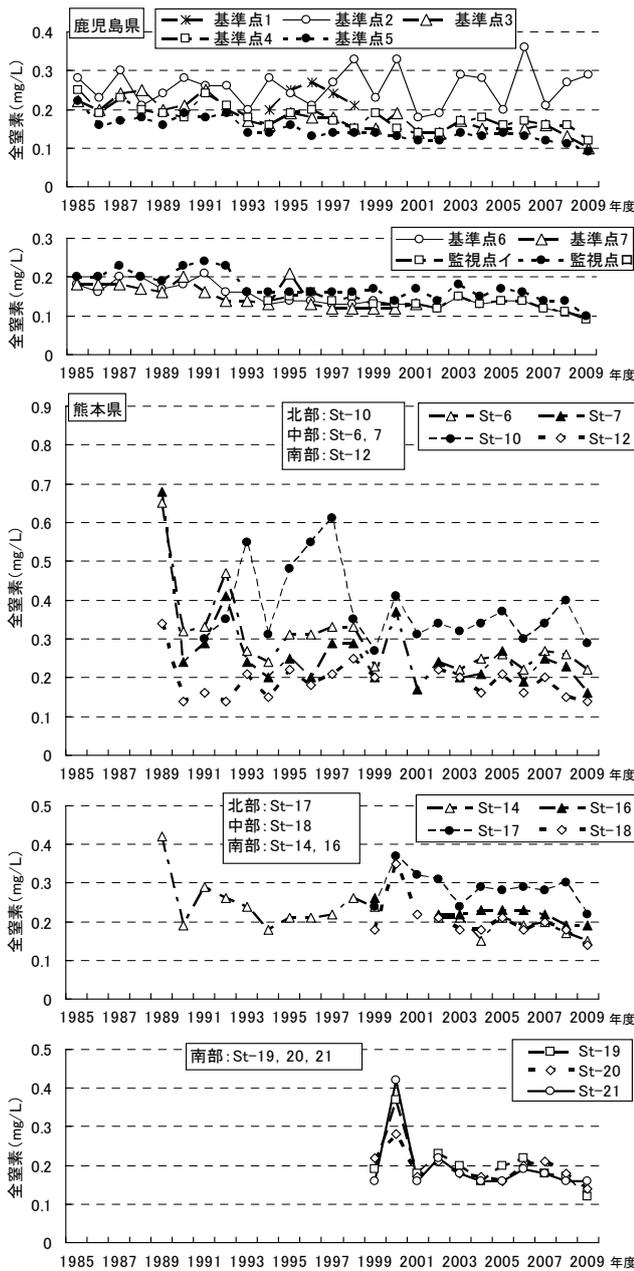


図11 全窒素濃度の年平均値の推移

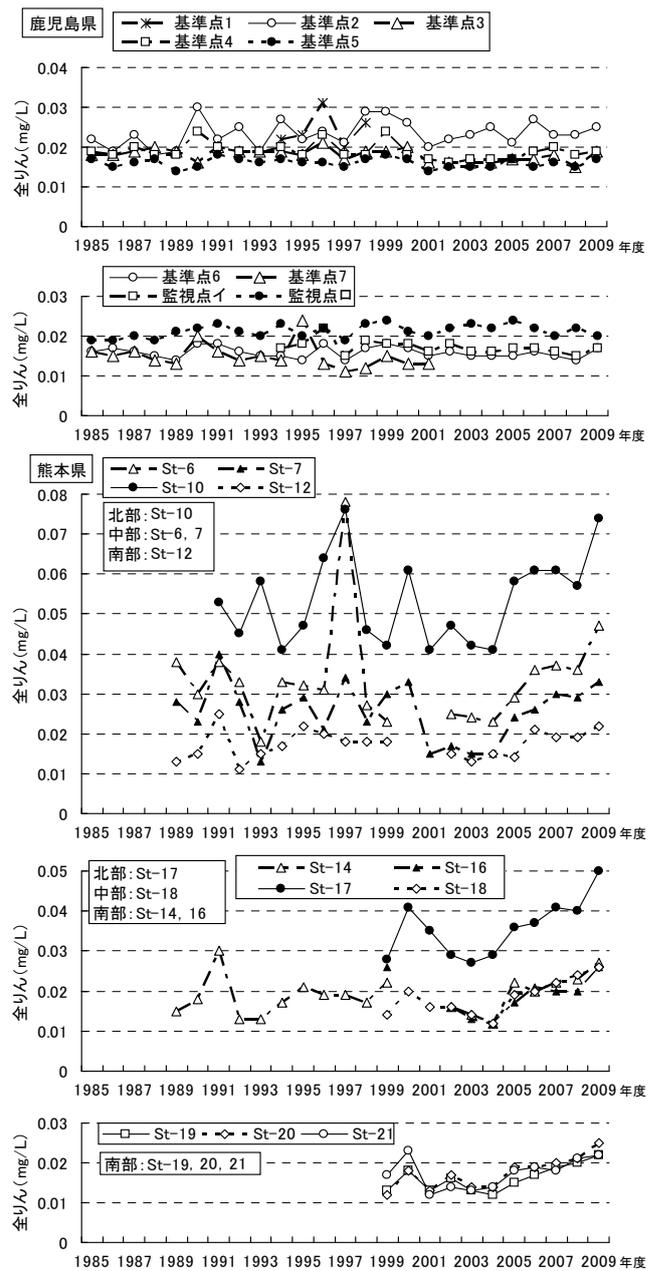


図13 全りん濃度の年平均値の推移

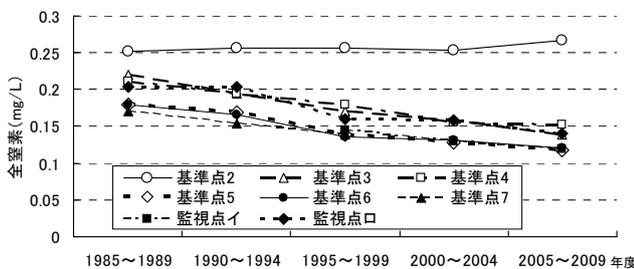


図12 全窒素濃度年平均値の5年間平均値の推移

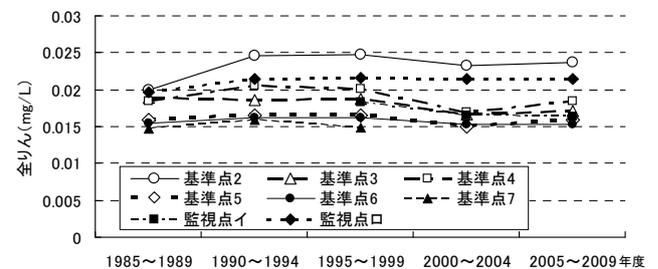


図14 全りん濃度年平均値の5年間平均値の推移

点3~6及び監視点イ、ロでは、年度によって変動があるが、長期的には横ばいで推移しており、全窒素濃度と異なる傾向をしている。2005~2009年度の年平均値の5年

間平均は、0.015~0.021mg/Lである。基準点7では2001年度まで調査を行っている。年度によって変動はあるが、概ね横ばいで推移している。1997~2001年度の年平均値

の5年間平均値は0.013mg/Lである。

熊本県では、2000年度までは年度によって変動があり、特にSt-6, St-10では変動幅が大きい。2003年度以後は、全地点において、全りん濃度の上昇傾向がみられる。調査地点間の濃度を比較すると、八代海北部のSt-10, 17の濃度が最も高く、次いで八代海中部の調査地点であり、比較的低いのが八代海南部となっている。鹿児島県の結果と合わせて八代海的全りんの濃度分布について4.2.5節で述べる。

4. 2. 5 全窒素及び全りんの濃度分布の概略

全窒素及び全りん濃度の年平均値について、環境基準の類型が指定された1999年度からの各地点別の11年間（St-6, 12, 14, 16は9年間）平均値を図15に示す。熊本県の調査地点を、八代海の概ね北部から南部の順に、左から並べて表示してあり、その右側に鹿児島県の調査地点を概ね東から西の順に並べる形で表示している。

熊本県の八代海北部（St-10, 17）では全窒素、全りん濃度ともに高く、次いで八代海中部のSt-6, 7, 18で濃度が高くなっている。中部の地点では北部に近い地点で濃度が高くなっている。濃度が比較的低いのは八代海南部（St-14, 19, 12, 16, 20, 21）である。さらに南の鹿児島県の調査地点では、基準点2を除き、全窒素は熊本県の水域より濃度が低くなっている。全りんについては、基準点2及び監視点口を除き、熊本県南部と同程度の濃度である。鹿児島県で特異的に全窒素及び全りん濃度が高い基準点2は、米之津川の影響を受けていることが考えられる。

このことから、八代海における全窒素、全りんの濃度分布の概略は、河口地先等陸域の影響を受けやすい地点を除いて、北部の水域において濃度が最も高く、南下するほど濃度が低くなり、南部の水域では最も低い濃度分布となっているといえる。この濃度分布はCODの分布と同様である。

4. 2. 6 全窒素、全りん濃度の月別変動

鹿児島県の全窒素濃度の月別変動を図16に、全りん濃度の月別変動を図17に示す。

全窒素濃度は、基準点2では6, 7月に最大値を示す一山型の変動がある。基準点3, 4では6, 7月に最大となる変動がみられるが、基準点2ほど明確ではない。その他の調査地点では、年間を通じての明確な変動傾向はみられない。

全りん濃度は、基準点7を除き、4, 5月又は6, 7月に最小となり、10, 11月に最大となる一山型の変動

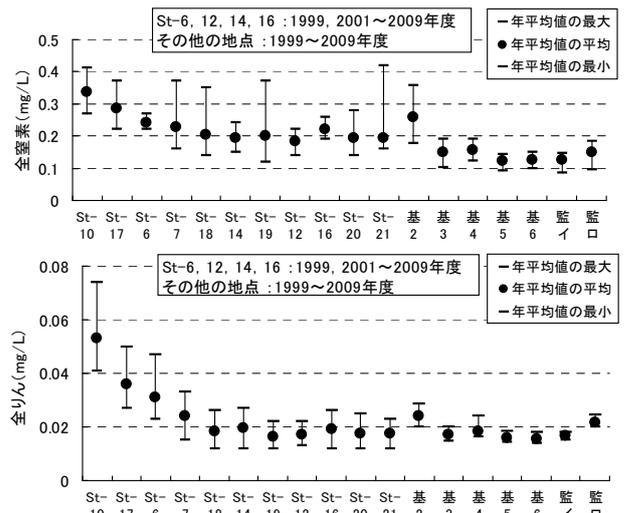


図15 地点別の全窒素及び全りん濃度

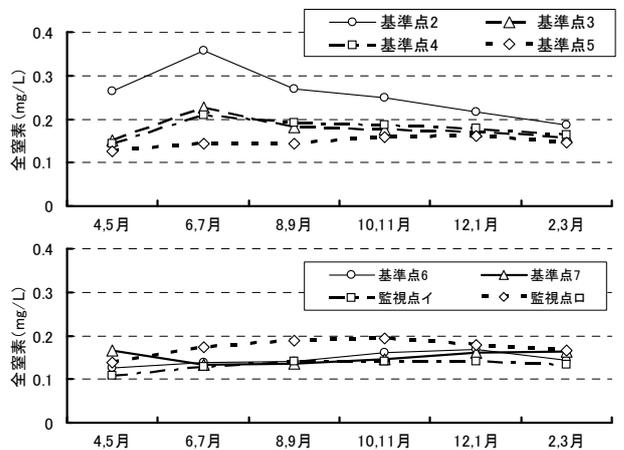


図16 全窒素濃度の月別変動

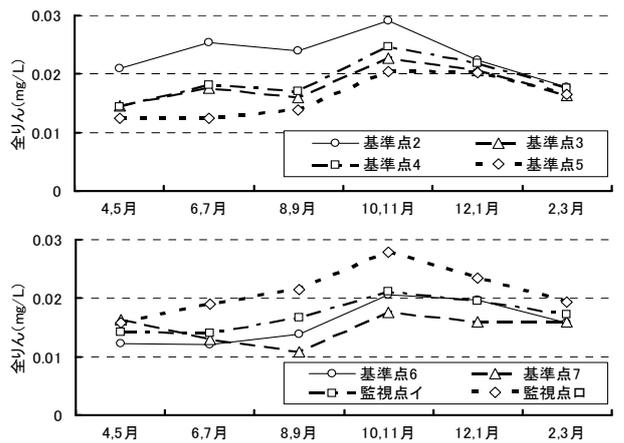


図17 全りん濃度の月別変動

がみられる。基準点7では、他と異なり、8, 9月に濃度低下する変動がみられる。

4. 2. 7 全窒素濃度/全りん濃度の推移

全窒素, 全りに係る環境基準の設定の検討において, 国内の内湾の海水に含まれる窒素とリンの比は5~20と報告¹⁸⁾されている。鹿児島県の八代海南部海域の全窒素, 全りん濃度から求めた全窒素濃度/全りん濃度 (以下「T-N/T-P」という。) を図18に示す。

基準点2では年度によって変動があるが, ほぼ横ばいで推移している。基準点2以外の地点は, T-N/T-Pが低下してきており, 以前はT-N/T-Pが12前後であったものが, 最近ではT-N/T-Pが5前後になっている。全りん濃度は概ね横ばいで推移し, 全窒素濃度が徐々に低下していることを反映していると考えられる。

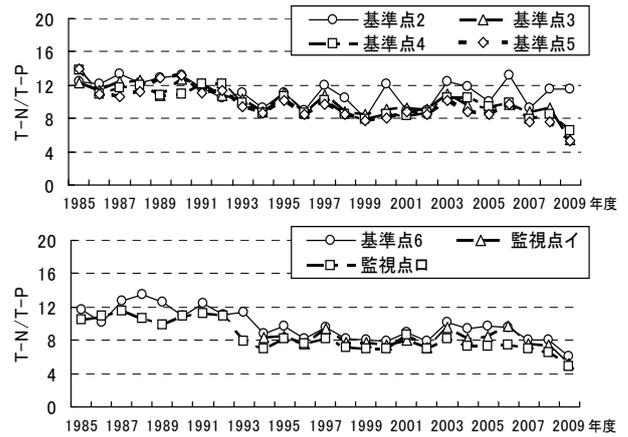


図18 T-N/T-Pの推移

4. 2. 8 T-N/T-Pの月別変動

鹿児島県の八代海南部海域のT-N/T-Pの月別変動を図19に示す。T-N/T-Pは, 月別の平均値でみると6, 7月に最大となり, 10, 11月に最小となる年間の変動をしている。

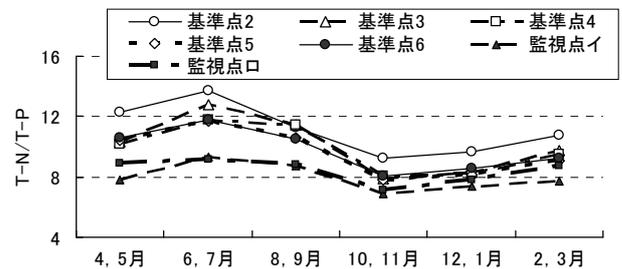


図19 T-N/T-Pの月別変動

4. 3 DO

4. 3. 1 DOの推移及び月別変動

鹿児島県の八代海南部海域のDOの推移を図20に, 月別変動を図21に, 月別の環境基準適合率を図22に示す。

全地点で, 各年度のDOの変動幅は約5~10mg/Lの範囲にあり, 年平均値は7.1~7.9mg/Lの範囲にある。DOは, 概ね2, 3月に最大となり, 監視点ロを除き, 10, 11月に最小となる概ね一山型の年間の変動をしている。

DOの環境基準適合率について, 海域B類型 (環境基準5mg/L以上) の基準点1では, 30年間で全て環境基準

に適合している。海域A類型 (環境基準7.5mg/L以上) の基準点2~7, 監視点イ, ロ, ハでは, 8, 9月又は10, 11月にDOが低下するため, 環境基準に適合しない状況がみられる。海域A類型の30年間 (監視点ハは25年間) の環境基準適合率は, 41% (監視点ロ) ~72% (基準点4) の範囲にある。

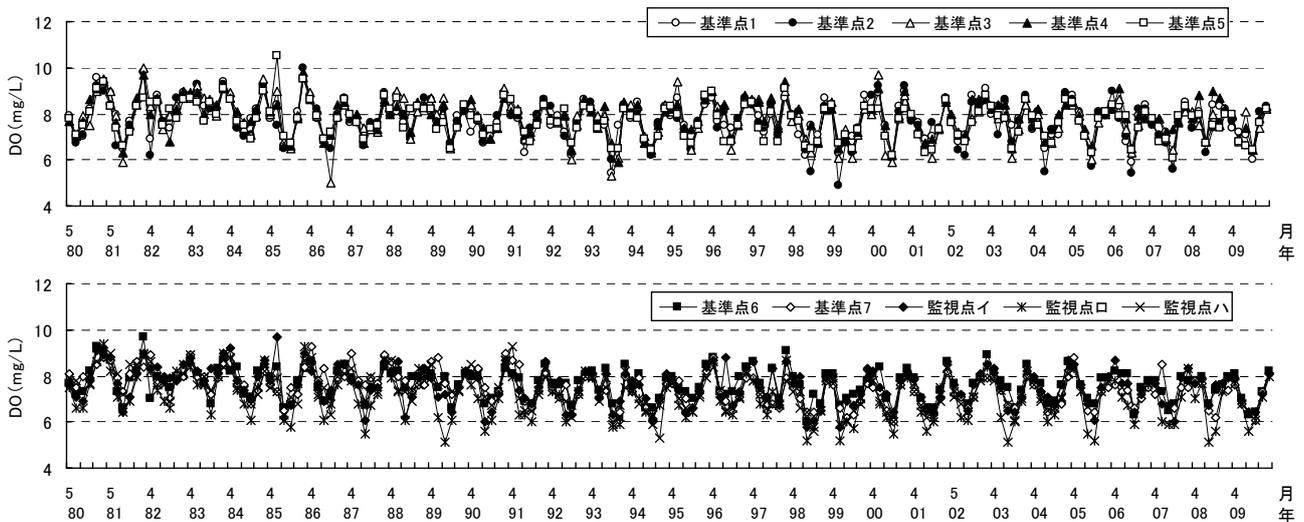


図20 DOの推移

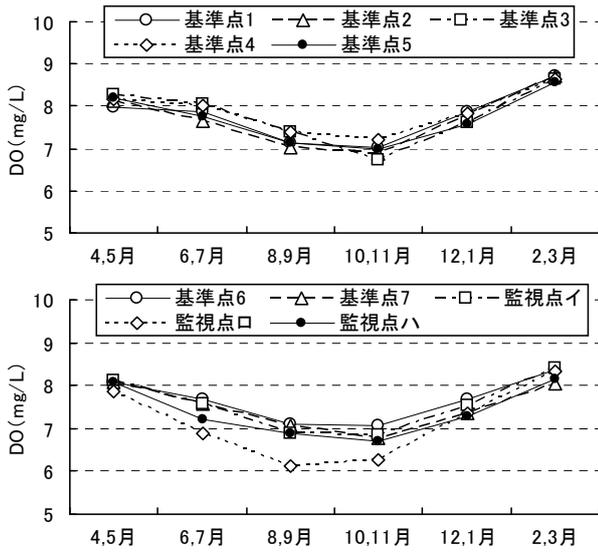


図21 DOの月別変動

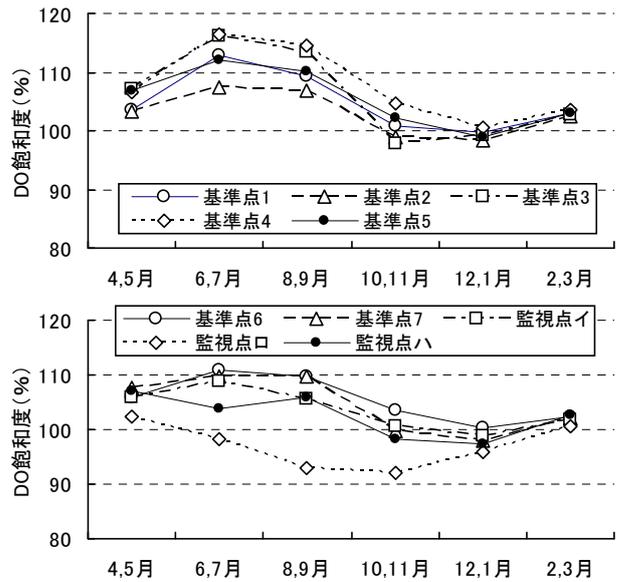


図23 DO飽和度の月別変動

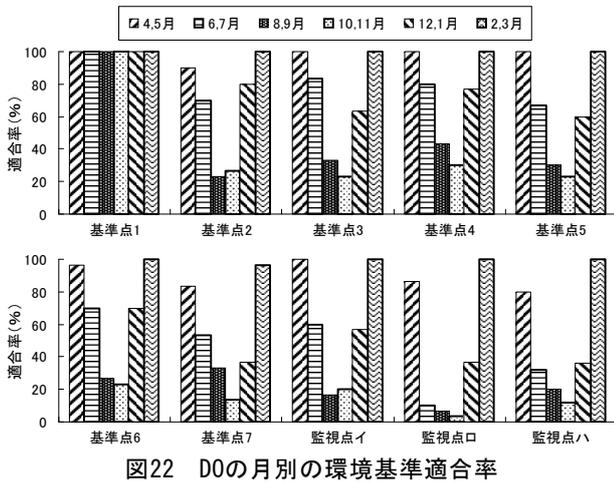


図22 DOの月別の環境基準適合率

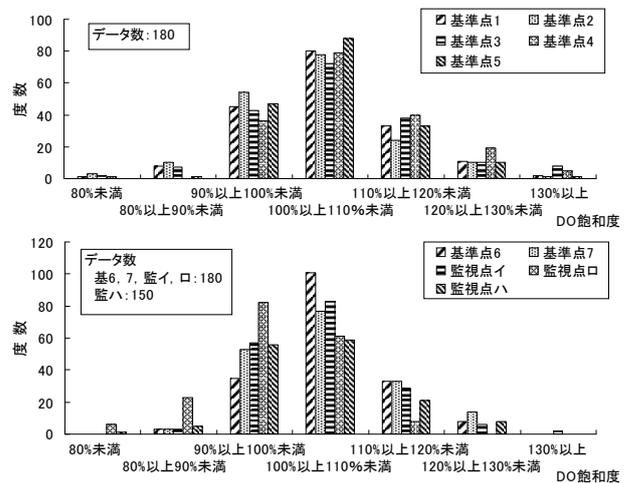


図24 DO飽和度の分布

4. 3. 2 DO飽和度

DOは水温及び塩化物イオン濃度等の影響を受けるので、JIS K 0102 (2008)¹⁴⁾に基づき補正したDO飽和度について解析した。八代海南部海域のDO飽和度の月別変動を図23に示す。

DO飽和度は、監視点口を除いて、概ね6、7月又は8、9月に最大となり、10、11月又は12、1月に最小となる概ね一山型の年間の変動をしている。監視点口は、原因は分からないが、他と異なり4、5月に最大となり、10、11月に最小となる年間の変動をしている。

八代海南部海域のDO飽和度の分布を図24に示す。

DO飽和度の最低値は67%で、飽和度80%以下の出現回数は全体で14回(出現率0.8%)であり、DOは5mg/L以上であることから、八代海南部海域の表層においては、本結果からは貧酸素(DO3mg/L未満)¹⁵⁾の状況はみられない。

4. 4 塩化物イオン

八代海南部海域の塩化物イオン濃度の推移を図25に、月別変動を図26に示す。

港湾区域内の基準点1及び米之津川の影響を受けると考えられる基準点2は、塩化物イオン濃度が一時的に大幅に低下することがある。

塩化物イオン濃度の低下は、梅雨時期(6、7月)や8、9月の降水量が多い時期に発生している。基準点1、2以外の地点でも8、9月に塩化物イオン濃度が低下する傾向がある。

4. 5 pH

八代海南部海域のpHの推移を図27に、月別変動を図28に、環境基準適合状況を表6に示す。

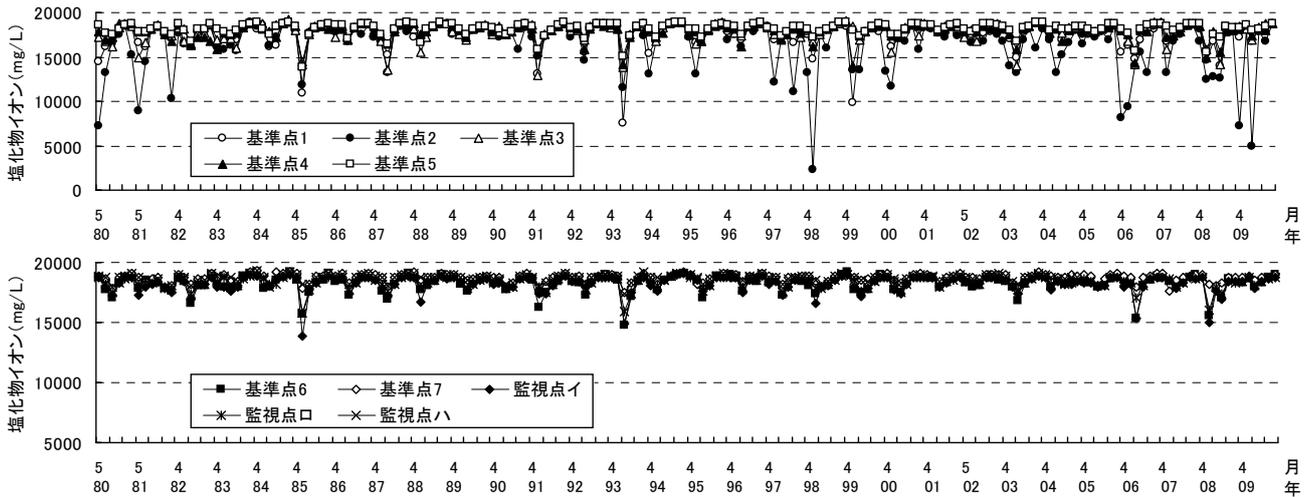


図25 塩化物イオン濃度の推移

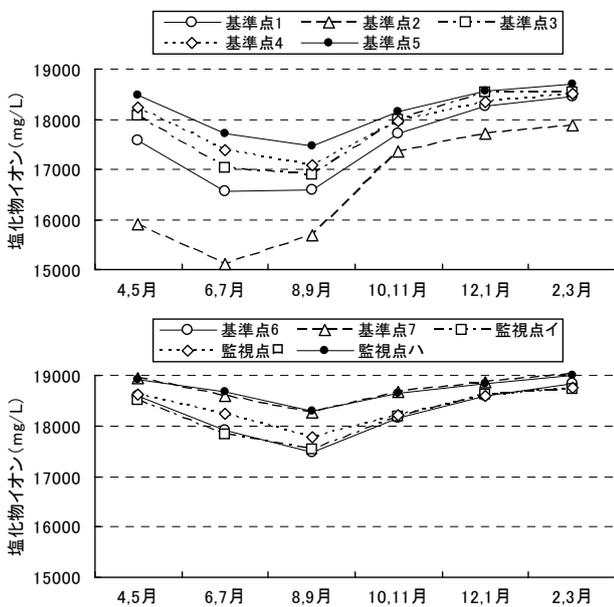


図26 塩化物イオン濃度の月別変動

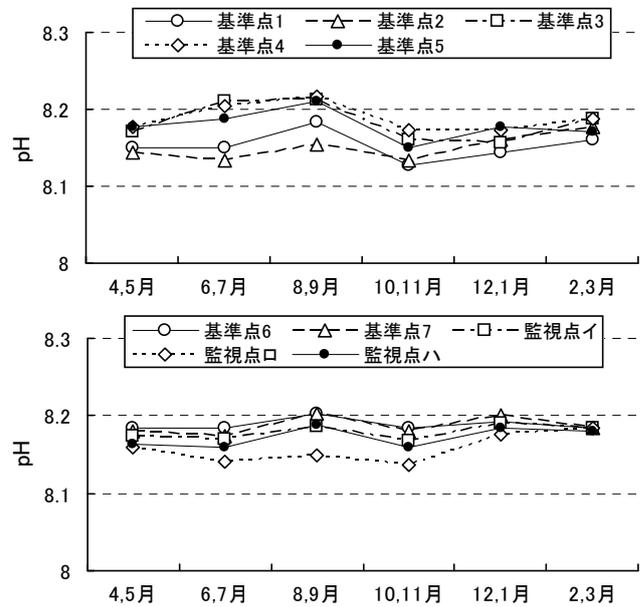


図28 pHの月別変動

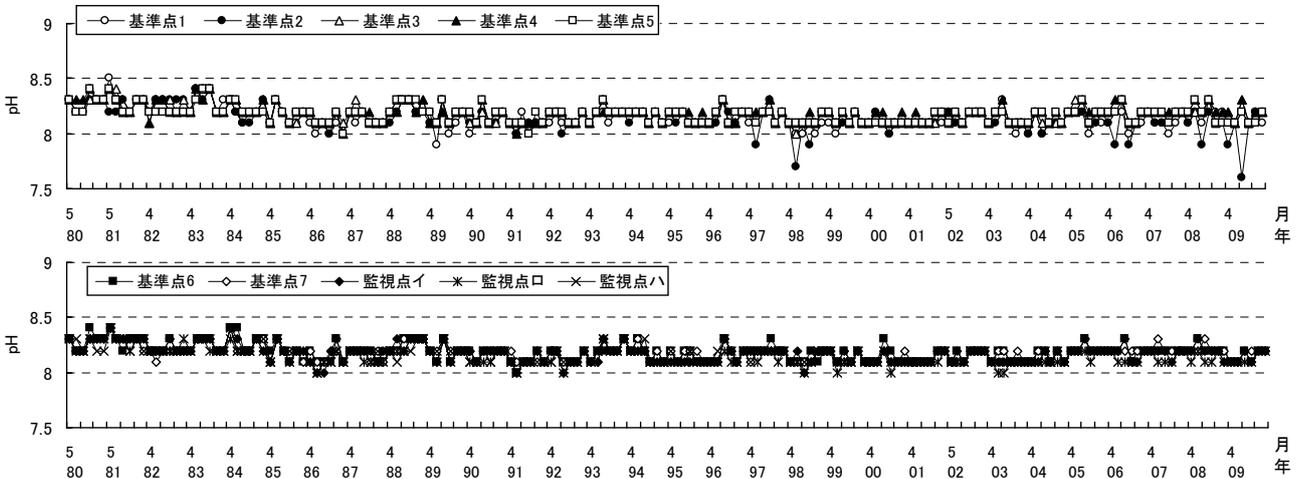


図27 pHの推移

港湾区域の基準点1及び米之津川の影響を受けていると考えられる基準点2では、他の地点に比べpHが低い傾向にある。

年間を通じた変動について、明確な傾向はみられない。

環境基準適合状況について、環境基準（海域A、B類型：pH7.8以上8.3以下）を下回っているのは、基準点2のみで30年間で2回（出現率1.1%）である。環境基準超過は、全地点でみられるが、観測されたのは1980～1984年度の間であり、過去30年間で最大5回（出現率2.8%）である。近年は、環境基準超過はみられない。

表6 pHの環境基準適合状況

| 調査地点 | データ総数 | 適合数 | 環境基準未達 | | 環境基準超過 | |
|------|-------|-----|--------|--------|--------|--------|
| | | | 回数 | 出現率(%) | 回数 | 出現率(%) |
| 基準点1 | 180 | 175 | 0 | 0 | 5 | 2.8 |
| 基準点2 | 180 | 176 | 2 | 1.1 | 2 | 1.1 |
| 基準点3 | 180 | 175 | 0 | 0 | 5 | 2.8 |
| 基準点4 | 180 | 176 | 0 | 0 | 4 | 2.2 |
| 基準点5 | 180 | 176 | 0 | 0 | 4 | 2.2 |
| 基準点6 | 180 | 176 | 0 | 0 | 4 | 2.2 |
| 基準点7 | 180 | 178 | 0 | 0 | 2 | 1.1 |
| 監視点イ | 180 | 178 | 0 | 0 | 2 | 1.1 |
| 監視点ロ | 180 | 179 | 0 | 0 | 1 | 0.6 |
| 監視点ハ | 150 | 148 | 0 | 0 | 2 | 1.3 |

(注) 海域A、B類型のpHの環境基準：7.8以上8.3以下

4. 6 大腸菌群数

八代海南部海域の大腸菌群数の推移を図29、月別変動を図30に、環境基準の適合状況を表7に示す。

港湾区域の基準点1及び米之津川の影響を受けていると考えられる基準点2では、一時的に高い値がみられる。1年を通じると、暖候期（4、5～10、11月）に大腸菌群数が上昇する変動がみられる。基準点1、2以外の地点で

表7 大腸菌群数の環境基準適合状況

| 調査地点 | データ総数 | 環境基準適合数 | 環境基準超過 | |
|-------|-------|---------|--------|--------|
| | | | 回数 | 出現率(%) |
| 基準点1* | (60) | (52) | (4) | (6.6) |
| 基準点2 | 180 | 120 | 20 | 11.1 |
| 基準点3 | 180 | 178 | 2 | 1.1 |
| 基準点4 | 180 | 175 | 5 | 2.8 |
| 基準点5 | 150 | 150 | 0 | 0 |
| 基準点6 | 150 | 150 | 0 | 0 |
| 基準点7 | 150 | 150 | 0 | 0 |
| 監視点イ | 66 | 66 | 0 | 0 |
| 監視点ロ | 66 | 66 | 0 | 0 |
| 監視点ハ | 66 | 66 | 0 | 0 |

* 基準点1は海域B類型であり、大腸菌群数に係る環境基準はない。参考として、海域A類型の環境基準と比較した結果を（ ）書きで示す。

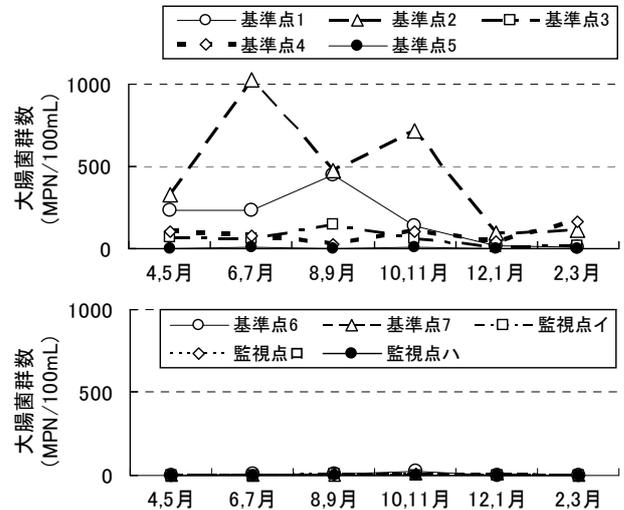


図30 大腸菌群数の月別変動

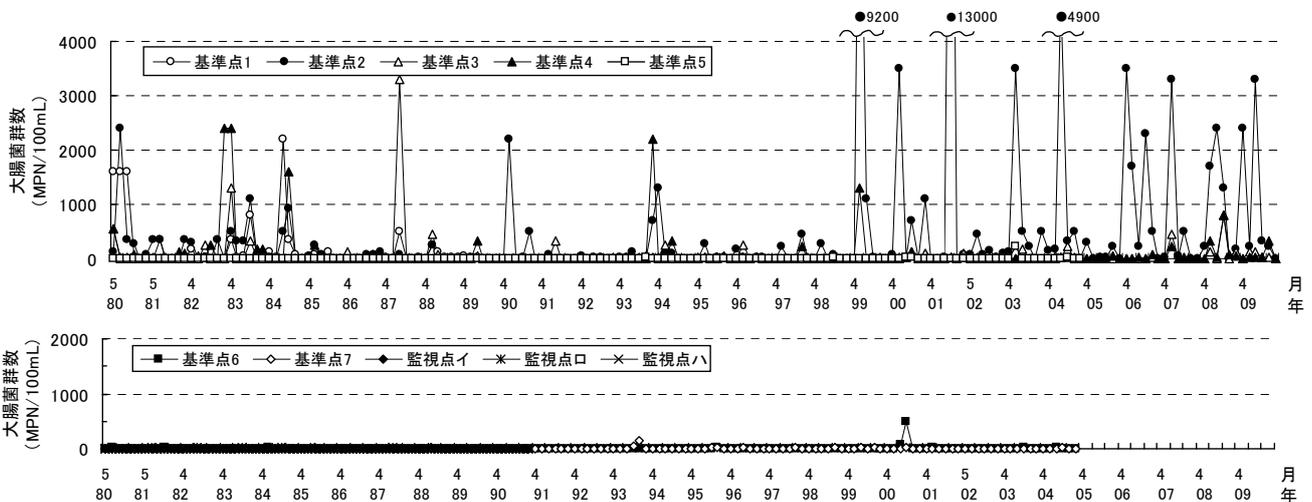


図29 大腸菌群数の推移

は、1年を通じて概ね低い値であり変動はみられない。

環境基準（海域A類型：1000MPN/100mL以下、海域B類型：大腸菌群数の環境基準なし）と比較すると、米之津川の影響を受けていると考えられる基準点2では環境基準超過率が比較的高くなっている。その他の地点は概ね環境基準に適合している。

4. 7 n-ヘキサン抽出物質（油分等）

n-ヘキサン抽出物質（油分等）は、八代海南部海域では、これまで全地点で環境基準（検出されないこと。）に適合している。

4. 8 水温

八代海南部海域の水温の推移を図31に示す。いずれの地点も同じパターンで明確な季節変動がみられる。

八代海南部海域の水温の年平均値の推移を図32に示す。年度によって変動があるが、経年的に上昇傾向が窺

える。そこで、水温の年平均値の時系列データについて線形トレンド解析を行い、上昇・低下傾向の有意性をt-検定により判定した。

また、上昇・低下傾向について、周囲から大きく外れた値の影響を受けにくく、時系列の変動傾向を解析する手法で用いられるMann-Kendall検定^{20~23)}を行った結果を併せて表8に示す。

上昇・低下傾向の判定結果は、t-検定及びMann-Kendall検定で、概ね一致している。

港湾区域の基準点1及び米之津川の影響を受けると考えられる基準点2を除いて、八代海南部海域においては水温が、過去30年間で統計的に有意に上昇している。水温が上昇傾向にある地点については、一次回帰式により上昇率を算出したところ、0.028~0.046°C/年（8地点平均0.038°C/年）であった。

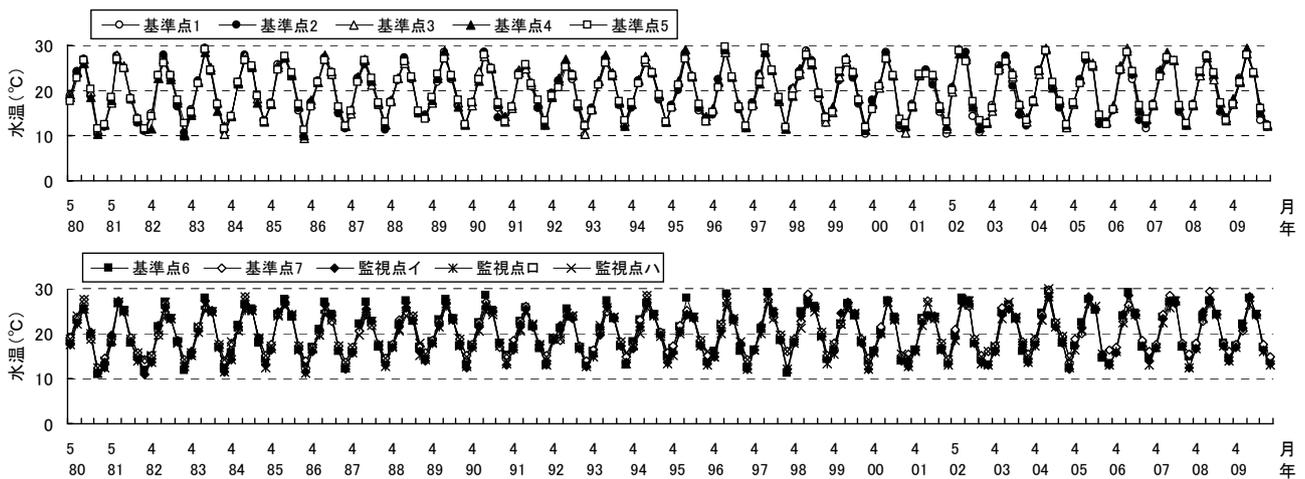


図31 水温の推移

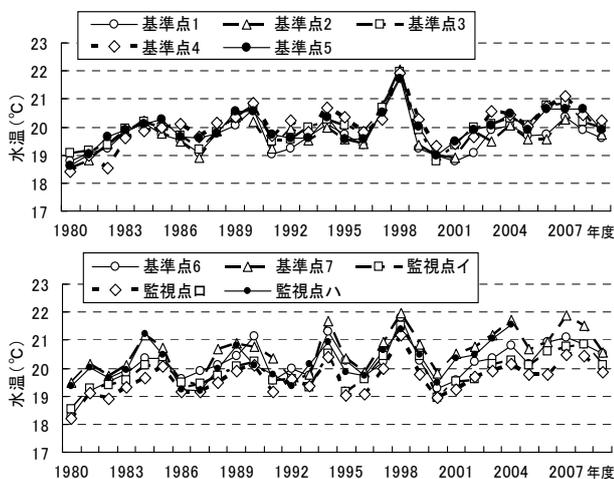


図32 水温の年平均値の推移

表8 水温の年平均値の上昇・低下傾向及び上昇率

| 調査地点 | 上昇・低下傾向 ^{*1} | | 上昇率 ^{*2} (°C/年) |
|------|-----------------------|----------------|-----------------------------|
| | t-検定 | Mann-Kendall検定 | |
| 基準点1 | × | × | — |
| 基準点2 | × | × | — |
| 基準点3 | + | ++ | 0.028 |
| 基準点4 | ++ | ++ | 0.042 |
| 基準点5 | + | + | 0.028 |
| 基準点6 | ++ | ++ | 0.043 |
| 基準点7 | ++ | ++ | 0.046 |
| 監視点イ | ++ | ++ | 0.037 |
| 監視点ロ | ++ | ++ | 0.035 |
| 監視点ハ | + | + | 0.042 |

*1 ×：上昇・低下傾向なし，+：上昇傾向（有意水準5%）
++：上昇傾向（有意水準1%）

*2 一次回帰式で算出

5 まとめ

八代海の水質について、鹿児島県の調査結果を中心に、熊本県の調査結果と合わせて解析したところ、以下のことが分かった。

5.1 八代海全体

八代海全体のCOD分布は、港湾区域や河川水の影響を受けていると考えられる地点を除いて、北部海域が最も高く、次いで中部海域であり、南部海域が比較的低いという分布をしていた。全窒素、全りんについてもCODと同様の濃度分布であった。

5.2 八代海南部海域

- 1) CODの環境基準適合状況については、1996年度まではほぼ全地点で適合していたが、1997年度から適合率の低下がみられ、CODの年平均値は基準点1~4では1982年以後ゆるやかな上昇傾向にあり、その他の地点では概ね横ばいで推移していた。
- 2) CODは、6, 7月又は8, 9月に最大となり、12, 1月又は2, 3月に最小となる一山型の年間の変動がみられた。
- 3) 全窒素については、米之津川の影響を受けていると考えられる地点を除いて、類型指定以後、環境基準に適合していた。全りんについては、米之津川の影響を受けていると考えられる地点や島嶼に囲まれた地点を除いて、類型指定以後、概ね環境基準に適合していた。
- 4) 全窒素濃度は、米之津川の影響を受けていると考えられる地点を除いて、低下傾向にあった。全りん濃度は概ね横ばいで推移していた。
- 5) 全窒素濃度は、年間を通しての明確な変動傾向はなかった。全りん濃度は、10, 11月に最大となり、4, 5月又は6, 7月に最小となる変動がみられ、全窒素と全りん濃度の年間の変動が異なっていた。
- 6) DOは、概ね2, 3月に最大となり、概ね10, 11月に最小となる年間の変動をしており、概ね10, 11月にDOが低下するため、環境基準に適合しない状況がみられた。全地点の各年度のDOの変動幅は約5~10mg/Lの範囲にあった。
- 7) DO飽和度は、監視点口を除いて、6, 7月又は8, 9月に最大となり、10, 11月又は12, 1月に最小となる年間の変動を示しており、年間の最大値を示す時期がDOと異なっていた。
- 8) 塩化物イオン濃度は、港湾区域内や米之津川の影響を受けていると考えられる地点では、大幅に低下する状況がみられ、その他の地点でも8, 9月には低下する

傾向がみられた。

- 9) pHは、港湾区域及び米之津川の影響を受けていると考えられる地点では他の地点より低い傾向にあった。基準点2を除き、近年、環境基準に適合していた。
- 10) 大腸菌群数は、港湾及び米之津川の影響を受けていると考えられる地点では、暖候期に大腸菌群数が上昇する傾向があった。他の地点では、低い値であり概ね環境基準に適合していた。
- 11) n-ヘキサン抽出物質（油分等）は、全地点で環境基準に適合していた。
- 12) 水温は、港湾区域及び米之津川の影響を受けていると考えられる地点を除いて、過去30年間では上昇傾向にあった。その上昇率を算出したところ、0.028~0.046℃/年（8地点平均0.038℃/年）であった。

参考文献

- 1) 鹿児島県；八代海の再生に関する鹿児島県計画、2003年3月（2011年6月一部改訂）
- 2) 鹿児島県；公共用水域が該当する水質汚濁に係る環境基準の水域類型の指定（鹿児島県告示第786号）、1999年5月14日
- 3) 熊本県；八代海及び羊角湾が該当する水質汚濁に係る環境基準の水域類型の指定（熊本県告示第395号）、1999年5月14日
- 4) 財団法人国際エメックスセンター；日本の閉鎖性海域の環境保全2005、閉鎖性海域に関する各種データ集；<http://www.emecs.or.jp/05cd-rom/japanese/index.html>
- 5) 大和田紘一；八代海の環境と生物の動態、月刊海洋、37 (1), 3~7 (2005)
- 6) 環境省 有明海・八代海総合調査評価委員会；有明海・八代海総合調査評価委員会報告書、1~3, 2006年12月21日
- 7) 生活環境の保全に関する環境基準の水域類型の指定（閣議決定）、1971年5月25日
- 8) 公共用水域が該当する水質汚濁に係る環境基準の水域類型の指定（鹿児島県告示第884号）、1976年8月9日
- 9) 熊本県；八代海水域が該当する水質汚濁に係る環境基準の水域類型の指定（熊本県告示第475号）、1976年6月1日
- 10) 鹿児島県；昭和55~63年度公共用水域の水質測定結果
- 11) 鹿児島県；平成元~21年度公共用水域及び地下水の

水質測定結果

- 12) 熊本県；昭和55～63年度水質調査報告書
- 13) 熊本県；平成元～21年度水質調査報告書（公共用水域及び地下水）
- 14) 日本規格協会；JISハンドブック2008 53環境測定 II（水質），774～781，日本規格協会，2008
- 15) 出水市郷土誌編集委員会；出水郷土誌 下巻，522～527，出水市，2004
- 16) 環境省 有明海・八代海総合調査評価委員会 八代海検討グループ；有明海・八代海総合調査評価委員会（第23回）資料2-3 八代海に関する検討，2006年9月27日；<http://www.env.go.jp/council/20ari-yatsu/y200-23b.html>
- 17) 中央環境審議会水環境部会；<http://www.env.go.jp/council/09water/yoshi09.html>
- 18) 岡田光正；海域の窒素，リンに関する環境基準について，沿岸海洋研究，37（2），53～58（2000）
- 19) 中央環境審議会水環境部会水生生物保全環境基準類型指定専門委員会（第10回）資料8；<http://www.env.go.jp/council/09water/y0910-10b.html>
- 20) Hirsch,R.M., Slack,J.R. and Smith,R.A.；Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality Data, Water Resources Research, 18（1），107～121（1982）
- 21) 石井進；生物統計学入門，145～150，株式会社培風館，1983
- 22) 紙井泰典，Madan K. Jha, 近森邦英；高知県の年および季節降雨量時系列の傾向分析，高知大学学術研究報告，58，145～154（2009）
- 23) 福岡市保健環境研究所環境科学課 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報，34，149～151（2009）