

## 鹿児島湾の水質及びCOD環境基準未達成要因について

大庭大輔      中尾兼治      田原義雄  
堀之口吉夫

### 要 旨

鹿児島湾の水質について1992年度から2001年度までとりまとめた。その結果、COD、窒素及びりんについては増加傾向が認められた。その中でCODについては1998年度から4年連続で環境基準未達成であったため、その要因について検討を行った。その結果、鹿児島湾の内部生産の増加及び水温の上昇が関係していると考えられた。内部生産増加の要因として、COD<sub>min</sub>の上昇、クロロフィルaの増加、窒素・りんの増加が関係していると考えられた。また、鹿児島湾のCODの約4割が内部生産由来と考えられた。

キーワード：COD、環境基準、内部生産、COD<sub>min</sub>、水温

### 1 はじめに

鹿児島湾は、鹿児島県本土の中央に位置する閉鎖性海域である。鹿児島湾海域は1975年に環境基準A類型（港湾部はB類型）に指定されているが、1998年度から4年連続で環境基準を達成していない（表1-1、1-2）。また、1996年に窒素・りに係る環境基準II類型に指定されたが、2001年度にはりんが環境基準を達成しておらず（表2、3）、油分も赤潮プランクトンの影響などにより、2001年度に環境基準を超過した地点がみられ、水質の悪化が懸念されており、水質の状況を把握する必要がでてきている。

本報では1992年度から2001年度までの調査結果をとりまとめ、鹿児島湾のCOD環境基準未達成要因について考察を行ったので報告する。

### 2 鹿児島湾の概況

鹿児島湾は面積1,130km<sup>2</sup>、平均水深117m、最大水深は湾奥部で206m、湾中部で237mを誇る閉鎖的な内湾である。湾内水と外海水との交換が悪いことに加え、湾域で

の産業活動の拡大及び人口の集中、生活様式の変化等により、湾内への汚濁物質の流入量が増大し、1972～73年に実施された専門学者による環境調査結果では、既に初期汚染の段階にあることが指摘された。

このため、鹿児島県では所要の調査を実施し、それらの結果等を踏まえ1979年5月に鹿児島湾の水質保全のための基本計画として、また、湾域で行われる各種の環境利用行為が適正に行われるためのガイドラインとして「鹿児島湾水質環境管理計画」いわゆる「鹿児島湾ブルー計画」（計画期間：1979年5月～1986年3月）が策定され、以下「新・鹿児島湾ブルー計画」（計画期間：1986年4月～1995年3月）、「第3期鹿児島湾ブルー計画」（計画期間：1995年4月～2005年3月）と策定され現在に至っている<sup>1)～3)</sup>。

鹿児島湾海域の集水域内にある5市19町の人口（以下、「流域人口」という。）は、約962千人で県総人口の約54%を占めている。特に鹿児島市（約552千人）は流域人口の約57%、県総人口の約31%を占め、産業活動の中心として機能している。県総人口は1985年以降減少しているが、流域人口及び鹿児島市は15年間でそれぞれ40千人、

表 1-1 C O D 75% 値 (全層) の経年変化 (1992年度～2001年度)

(単位: mg/L)

地点	類型	環境基準	1992年度	1993年度	1994年度	1995年度	1996年度	1997年度	1998年度	1999年度	2000年度	2001年度
基準点 1	A	2.0	1.1 (0.9)	1.1 (1.0)	1.2 (1.1)	1.3 (1.1)	1.3 (1.2)	1.4 (1.3)	1.7 (1.5)	1.8 (1.5)	2.0 (1.7)	1.6 (1.6)
基準点 2	A	2.0	2.4 (1.6)	1.4 (1.3)	1.5 (1.3)	2.1 (1.7)	1.9 (1.5)	1.5 (1.3)	2.3 (2.1)	1.9 (1.7)	2.9 (2.3)	2.3 (1.9)
基準点 3	A	2.0	1.0 (1.0)	1.0 (0.9)	1.1 (1.1)	1.1 (1.0)	1.4 (1.1)	1.1 (1.0)	1.5 (1.3)	1.4 (1.2)	1.6 (1.4)	1.6 (1.5)
基準点 4	A	2.0	1.4 (1.3)	1.5 (1.3)	1.9 (1.4)	1.7 (1.3)	1.7 (1.4)	1.8 (1.6)	2.5 (2.4)	2.4 (1.8)	3.0 (2.1)	2.3 (1.9)
基準点 5	A	2.0	1.8 (1.4)	1.6 (1.4)	2.4 (1.8)	2.0 (1.6)	1.6 (1.4)	1.7 (1.4)	2.4 (1.8)	2.0 (1.8)	2.6 (2.1)	2.4 (2.0)
基準点 6	A	2.0	1.8 (1.2)	1.5 (1.3)	2.0 (1.4)	1.5 (1.1)	1.6 (1.3)	1.5 (1.3)	2.2 (1.7)	2.4 (2.0)	2.6 (2.1)	1.7 (1.6)
基準点 7	A	2.0	1.5 (1.3)	1.2 (1.1)	1.8 (1.3)	1.5 (1.2)	1.7 (1.4)	1.5 (1.3)	2.6 (1.7)	1.7 (1.5)	2.6 (1.8)	1.7 (1.5)
基準点 8	A	2.0	1.6 (1.3)	1.6 (1.3)	1.9 (1.5)	1.4 (1.3)	1.7 (1.4)	1.6 (1.3)	2.0 (1.8)	2.0 (1.8)	2.7 (2.1)	2.9 (2.2)
基準点 9	A	2.0	1.5 (1.2)	1.5 (1.3)	2.0 (1.4)	1.4 (1.1)	2.0 (1.4)	1.5 (1.3)	2.0 (1.9)	1.7 (1.6)	2.8 (2.1)	2.1 (1.8)
基準点 10	A	2.0	1.9 (1.4)	1.5 (1.3)	1.7 (1.5)	1.5 (1.2)	1.9 (1.4)	1.6 (1.5)	2.2 (1.9)	2.1 (1.7)	2.6 (1.9)	3.2 (3.2)
基準点 11	A	2.0	1.7 (1.3)	1.5 (1.3)	1.6 (1.5)	1.5 (1.2)	1.7 (1.5)	1.6 (1.5)	2.0 (1.7)	2.0 (1.7)	2.4 (1.9)	2.9 (2.0)
基準点 12	A	2.0	1.7 (1.4)	1.6 (1.4)	1.8 (1.5)	1.9 (1.4)	2.0 (1.5)	1.7 (1.4)	1.8 (1.8)	1.8 (1.7)	2.4 (2.0)	3.2 (2.8)
基準点 13	A	2.0	1.1 (0.9)	1.0 (0.9)	1.2 (1.0)	1.1 (0.8)	1.1 (1.0)	1.0 (1.0)	1.4 (1.2)	1.4 (1.1)	1.6 (1.3)	1.3 (1.3)
基準点 14	A	2.0	1.0 (1.0)	1.4 (1.2)	1.7 (1.4)	1.4 (1.2)	1.4 (1.3)	1.9 (1.4)	2.2 (1.9)	1.7 (1.6)	2.2 (1.8)	1.8 (1.9)
基準点 15	A	2.0	1.2 (1.0)	1.4 (1.1)	1.4 (1.2)	1.6 (1.2)	1.4 (1.3)	1.3 (1.2)	1.8 (1.5)	1.5 (1.4)	2.2 (1.8)	1.7 (1.5)
基準点 16	A	2.0	1.4 (1.2)	1.5 (1.4)	1.4 (1.2)	1.5 (1.2)	1.4 (1.3)	1.2 (1.1)	2.0 (1.7)	1.9 (1.5)	1.9 (1.7)	1.7 (1.5)
基準点 17	A	2.0	1.7 (1.3)	1.7 (1.5)	1.9 (1.6)	1.6 (1.3)	1.4 (1.3)	1.7 (1.3)	2.4 (2.0)	2.2 (1.8)	2.5 (2.1)	2.1 (1.8)
本港区中央	B	3.0	1.8 (1.4)	1.7 (1.6)	2.7 (2.0)	1.4 (1.3)	1.7 (1.3)	1.7 (1.4)	2.0 (1.9)	2.1 (1.8)	2.3 (2.1)	2.1 (1.8)
南中港区中央	B	3.0	1.5 (1.4)	1.6 (1.4)	2.1 (1.7)	1.5 (1.3)	1.8 (1.5)	1.4 (1.4)	2.6 (2.0)	1.9 (1.5)	2.6 (2.2)	2.3 (1.9)
木材港区中央	B	3.0	1.6 (1.5)	1.8 (1.5)	2.3 (1.7)	1.8 (1.5)	1.7 (1.5)	1.7 (1.4)	2.1 (2.0)	1.9 (1.6)	2.6 (2.2)	2.8 (4.4)
谷山1区中央	B	3.0	1.6 (1.4)	1.6 (1.5)	2.3 (1.9)	1.4 (1.3)	1.2 (1.2)	1.6 (1.5)	2.2 (1.8)	1.9 (1.5)	2.8 (2.4)	2.2 (1.9)
谷山2区	B	3.0	1.6 (1.5)	1.8 (1.5)	2.3 (1.9)	1.6 (1.5)	2.0 (1.5)	1.7 (1.5)	3.2 (2.4)	2.1 (1.9)	3.1 (2.6)	2.7 (2.1)
谷山2区2	B	3.0	1.8 (1.4)	1.8 (1.5)	2.3 (1.9)	1.9 (1.5)	1.9 (1.5)	1.7 (1.6)	2.6 (2.0)	2.3 (1.8)	2.8 (2.2)	3.1 (2.1)
山川港区中央	B	3.0	2.2 (1.7)	1.9 (1.8)	2.9 (2.1)	1.5 (1.5)	1.8 (1.6)	1.7 (1.7)	2.4 (2.0)	2.7 (2.2)	3.1 (2.5)	3.0 (2.3)
監視点イ	(A)	(2.0)	1.7 (1.4)	1.7 (1.4)	1.8 (1.5)	2.5 (1.7)	1.4 (1.3)	1.8 (1.4)	2.6 (2.1)	2.2 (1.7)	2.8 (2.2)	2.0 (1.7)
監視点ロ	(A)	(2.0)	1.6 (1.4)	1.9 (1.5)	2.0 (1.8)	1.5 (1.2)	1.9 (1.4)	1.7 (1.4)	2.5 (1.9)	2.2 (1.9)	2.6 (2.1)	1.8 (1.7)
監視点ハ	(A)	(2.0)	1.6 (1.4)	2.0 (1.6)	2.1 (1.8)	1.7 (1.3)	1.9 (1.5)	1.8 (1.4)	2.9 (2.2)	2.6 (2.2)	2.7 (2.2)	2.7 (1.8)
監視点ニ	(A)	(2.0)	1.6 (1.3)	1.4 (1.3)	1.8 (1.5)	1.2 (1.2)	2.3 (1.5)	1.7 (1.4)	2.1 (1.6)	1.9 (1.7)	2.3 (2.0)	2.0 (1.8)
監視点ホ	(A)	(2.0)	1.2 (1.0)	1.5 (1.2)	1.5 (1.3)	1.5 (1.1)	1.0 (1.0)	1.2 (1.1)	1.8 (1.7)	1.8 (1.4)	1.8 (1.6)	1.6 (1.5)
監視点ヘ	(A)	(2.0)	1.1 (1.0)	1.7 (1.3)	1.5 (1.2)	1.1 (0.9)	1.1 (0.9)	1.3 (1.2)	1.8 (1.5)	1.7 (1.3)	1.5 (1.5)	1.5 (1.3)
監視点ト	(A)	(2.0)	1.0 (0.9)	1.0 (1.0)	1.6 (1.4)	1.2 (1.0)	1.4 (1.0)	1.3 (1.2)	1.5 (1.4)	1.2 (1.1)	1.6 (1.5)	1.5 (1.4)
監視点チ	(A)	(2.0)					1.7 (1.3)	1.7 (1.5)	2.4 (2.2)	2.3 (1.5)	2.8 (2.3)	1.8 (1.7)
監視点リ	(A)	(2.0)					1.4 (1.2)	1.5 (1.3)	2.1 (1.7)	1.7 (1.5)	2.4 (1.9)	1.9 (1.7)
監視点ヌ	(A)	(2.0)					1.6 (1.2)	1.4 (1.2)	1.8 (1.6)	1.9 (1.2)	1.9 (1.6)	1.8 (1.6)
調査点 1	(A)	(2.0)	1.6 (1.4)	2.0 (1.5)	2.6 (2.1)	1.4 (1.5)	1.6 (1.6)	1.6 (1.3)	2.9 (2.3)	2.1 (1.5)	2.5 (2.3)	2.0 (1.8)
調査点 3	(B)	(3.0)	1.9 (1.7)	2.1 (1.6)	2.7 (2.1)	1.3 (1.3)	1.5 (1.3)	1.8 (1.3)	2.9 (2.2)	2.5 (1.8)	2.3 (2.3)	2.0 (1.8)

注) 網子部分: 75% 値が環境基準を超過した地点  
太字部分: 平均値が環境基準を超過した地点

表1-2 C O D 75% 値 (表層) の経年変化 (1992年度 ~ 2001年度)

(単位: mg/l)

地点	類型	環境基準	1992年度	1993年度	1994年度	1995年度	1996年度	1997年度	1998年度	1999年度	2000年度	2001年度
基準点1	A	2.0	1.4 (1.1)	1.3 (1.3)	1.4 (1.2)	1.8 (1.5)	1.4 (1.2)	1.4 (1.4)	2.1 (2.2)	1.8 (1.6)	2.7 (2.0)	2.2 (1.9)
基準点2	A	2.0	1.9 (1.4)	1.3 (1.1)	1.5 (1.4)	2.1 (1.7)	2.0 (1.4)	1.5 (1.4)	2.4 (2.1)	1.7 (1.5)	2.7 (2.3)	2.4 (2.0)
基準点3	A	2.0	1.5 (1.2)	1.2 (1.2)	1.9 (1.3)	1.8 (1.4)	1.6 (1.3)	1.4 (1.3)	2.1 (1.9)	1.8 (1.6)	2.8 (2.1)	2.0 (1.8)
基準点4	A	2.0	1.4 (1.3)	1.5 (1.3)	1.9 (1.4)	1.7 (1.3)	1.7 (1.4)	1.8 (1.6)	2.6 (2.4)	2.4 (1.8)	3.0 (2.1)	2.3 (1.9)
基準点5	A	2.0	1.8 (1.4)	1.6 (1.4)	2.3 (1.6)	2.0 (1.6)	1.6 (1.4)	1.7 (1.4)	2.4 (1.8)	2.0 (1.8)	2.6 (2.1)	2.4 (2.0)
基準点6	A	2.0	1.8 (1.2)	1.5 (1.3)	2.0 (1.4)	1.5 (1.1)	1.6 (1.3)	1.5 (1.3)	2.2 (1.7)	2.4 (2.0)	2.6 (2.1)	1.7 (1.6)
基準点7	A	2.0	1.5 (1.3)	1.2 (1.1)	1.8 (1.3)	1.5 (1.2)	1.7 (1.4)	1.5 (1.3)	2.6 (1.7)	1.7 (1.5)	2.6 (1.8)	1.7 (1.5)
基準点8	A	2.0	1.5 (1.3)	1.7 (1.3)	1.9 (1.5)	1.3 (1.3)	1.6 (1.4)	1.4 (1.3)	2.0 (1.8)	2.5 (1.8)	2.6 (2.1)	3.0 (2.2)
基準点9	A	2.0	1.5 (1.2)	1.5 (1.3)	2.0 (1.4)	1.4 (1.1)	2.0 (1.4)	1.5 (1.3)	2.0 (1.9)	1.7 (1.6)	2.8 (2.1)	2.1 (1.8)
基準点10	A	2.0	1.9 (1.4)	1.5 (1.3)	1.7 (1.5)	1.5 (1.2)	1.9 (1.4)	1.6 (1.5)	2.2 (1.9)	2.1 (1.7)	2.6 (1.9)	3.2 (3.2)
基準点11	A	2.0	1.7 (1.3)	1.5 (1.3)	1.6 (1.5)	1.5 (1.2)	1.7 (1.5)	1.6 (1.5)	2.0 (1.7)	2.0 (1.7)	2.9 (1.9)	2.9 (2.0)
基準点12	A	2.0	1.7 (1.4)	1.6 (1.4)	1.8 (1.5)	1.9 (1.4)	2.0 (1.5)	1.7 (1.4)	1.8 (1.8)	1.8 (1.7)	2.4 (2.0)	3.2 (2.8)
基準点13	A	2.0	1.4 (1.2)	1.3 (1.3)	1.7 (1.4)	1.3 (1.0)	1.4 (1.4)	1.3 (1.2)	1.8 (1.7)	1.7 (1.5)	2.1 (1.7)	1.5 (1.5)
基準点14	A	2.0	1.0 (1.0)	1.4 (1.2)	1.7 (1.4)	1.4 (1.2)	1.4 (1.3)	1.9 (1.4)	2.2 (1.9)	1.7 (1.6)	2.2 (1.8)	1.8 (1.9)
基準点15	A	2.0	1.2 (1.0)	1.4 (1.1)	1.4 (1.2)	1.6 (1.2)	1.4 (1.3)	1.3 (1.2)	1.8 (1.5)	1.5 (1.4)	2.2 (1.8)	1.7 (1.5)
基準点16	A	2.0	1.4 (1.2)	1.5 (1.4)	1.4 (1.2)	1.5 (1.2)	1.4 (1.3)	1.2 (1.1)	2.0 (1.7)	1.9 (1.5)	1.9 (1.7)	1.7 (1.5)
基準点17	A	2.0	1.7 (1.3)	1.7 (1.5)	1.9 (1.6)	1.6 (1.3)	1.4 (1.3)	1.7 (1.3)	2.4 (2.0)	2.2 (1.8)	2.5 (2.1)	2.1 (1.8)
本港区中央	B	3.0	1.8 (1.4)	1.7 (1.6)	2.7 (2.0)	1.4 (1.3)	1.7 (1.3)	1.7 (1.4)	2.0 (1.9)	2.1 (1.8)	2.3 (2.1)	2.1 (1.8)
中港区中央	B	3.0	1.5 (1.4)	1.6 (1.4)	2.1 (1.7)	1.5 (1.3)	1.8 (1.5)	1.4 (1.4)	2.6 (2.0)	1.9 (1.5)	2.6 (2.2)	2.3 (1.9)
木村港区中央	B	3.0	1.6 (1.5)	1.8 (1.5)	2.3 (1.7)	1.8 (1.5)	1.7 (1.5)	1.7 (1.4)	2.1 (2.0)	1.9 (1.6)	2.6 (2.2)	2.8 (4.4)
谷山1区中央	B	3.0	1.6 (1.4)	1.6 (1.5)	2.3 (1.9)	1.4 (1.3)	1.2 (1.2)	1.6 (1.5)	2.2 (1.8)	1.9 (1.5)	2.8 (2.4)	2.2 (1.9)
谷山2区1基準点	B	3.0	1.6 (1.5)	1.8 (1.5)	2.3 (1.9)	1.6 (1.5)	2.0 (1.5)	1.7 (1.5)	2.2 (2.4)	2.1 (1.9)	3.1 (2.6)	2.7 (2.1)
谷山2区2基準点	B	3.0	1.8 (1.4)	1.8 (1.5)	2.3 (1.9)	1.9 (1.5)	1.9 (1.5)	1.7 (1.6)	2.6 (2.0)	2.3 (1.8)	2.8 (2.2)	3.1 (2.1)
山川港区中央	B	3.0	2.2 (1.7)	1.9 (1.8)	2.9 (2.1)	1.5 (1.5)	1.8 (1.6)	1.7 (1.7)	2.4 (2.0)	2.7 (2.2)	3.1 (2.5)	3.0 (2.3)
監視点イ	(A)	(2.0)	1.7 (1.4)	1.7 (1.4)	1.8 (1.5)	2.5 (1.7)	1.4 (1.3)	1.8 (1.4)	2.6 (2.1)	2.2 (1.7)	2.8 (2.2)	2.0 (1.7)
監視点ロ	(A)	(2.0)	1.6 (1.4)	1.9 (1.5)	2.0 (1.8)	1.5 (1.2)	1.9 (1.4)	1.7 (1.4)	2.3 (1.9)	2.2 (1.9)	2.6 (2.1)	1.8 (1.7)
監視点ハ	(A)	(2.0)	1.6 (1.4)	2.0 (1.6)	2.1 (1.8)	1.7 (1.3)	1.9 (1.5)	1.8 (1.4)	2.9 (2.2)	2.6 (2.2)	2.7 (2.2)	2.2 (1.8)
監視点ニ	(A)	(2.0)	1.6 (1.3)	1.4 (1.3)	1.8 (1.5)	1.2 (1.2)	2.3 (1.5)	1.7 (1.4)	2.1 (1.8)	1.9 (1.7)	2.3 (2.0)	2.0 (1.8)
監視点ホ	(A)	(2.0)	1.2 (1.0)	1.5 (1.2)	1.5 (1.3)	1.5 (1.1)	1.0 (1.0)	1.2 (1.1)	1.8 (1.7)	1.8 (1.4)	1.8 (1.6)	1.6 (1.5)
監視点ヘ	(A)	(2.0)	1.1 (1.0)	1.7 (1.3)	1.5 (1.2)	1.1 (0.9)	1.1 (0.9)	1.3 (1.2)	1.8 (1.5)	1.7 (1.3)	1.5 (1.5)	1.5 (1.3)
監視点ト	(A)	(2.0)	1.4 (0.9)	1.6 (1.0)	2.1 (1.4)	2.1 (1.0)	1.8 (1.0)	2.0 (1.2)	2.4 (1.4)	2.1 (1.4)	2.9 (1.5)	2.3 (1.4)
監視点チ	(A)	(2.0)					1.7 (1.3)	1.7 (1.5)	2.4 (2.2)	2.3 (1.6)	2.8 (2.3)	1.8 (1.7)
監視点リ	(A)	(2.0)					1.4 (1.2)	1.5 (1.3)	2.1 (1.7)	1.7 (1.5)	2.4 (1.9)	1.9 (1.7)
監視点ヌ	(A)	(2.0)					1.6 (1.2)	1.4 (1.2)	1.8 (1.6)	1.9 (1.2)	1.9 (1.6)	1.8 (1.6)
調査点1	(A)	(2.0)	1.6 (1.4)	2.0 (1.5)	2.6 (2.1)	1.4 (1.5)	1.6 (1.6)	1.6 (1.3)	2.9 (2.3)	2.1 (1.6)	2.5 (2.3)	2.0 (1.8)
調査点3	(B)	(3.0)	1.9 (1.7)	2.1 (1.6)	2.7 (2.1)	1.3 (1.3)	1.5 (1.3)	1.8 (1.3)	2.9 (2.2)	2.5 (1.8)	2.3 (2.3)	2.0 (1.8)

注) 網子部分: 75% 値が環境基準を超過した地点  
 太字部分: 平均値が環境基準を超過した地点

表2 全窒素平均値(表層)の経年変化(1992年度～2001年度)

地点	類型	環境基準	(単位: mg/L)									
			1992年度	1993年度	1994年度	1995年度	1996年度	1997年度	1998年度	1999年度	2000年度	2001年度
基準点1	II	0.3	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.18	0.18	0.17	0.18	0.16
基準点2	II	0.3					0.33	0.54	0.65	0.74	0.48	0.41
基準点3	II	0.3	0.17	0.22	0.23	0.13	0.15	0.21	0.18	0.19	0.20	0.17
基準点4	II	0.3					0.15	0.16	0.27	0.19	0.25	0.17
基準点5	II	0.3					0.13	0.15	0.16	0.18	0.18	0.15
基準点6	II	0.3					0.15	0.15	0.15	0.18	0.21	0.15
基準点7	II	0.3	0.16	0.18	0.15	0.12	0.15	0.18	0.30	0.17	0.21	0.17
基準点8	II	0.3					0.14	0.15	0.17	0.31	0.16	0.31
基準点9	II	0.3					0.14	0.15	0.18	0.18	0.21	0.25
基準点10	II	0.3					0.16	0.59	0.31	0.28	0.28	0.49
基準点11	II	0.3	0.16	0.16	0.18	0.14	0.14	0.48	0.14	0.19	0.16	0.3
基準点12	II	0.3					0.16	0.16	0.16	0.20	0.20	0.48
基準点13	II	0.3	0.14	0.15	0.15	0.10	0.13	0.12	0.20	0.15	0.14	0.13
基準点14	II	0.3	0.13	0.16	0.15	0.13	0.13	0.18	0.14	0.19	0.19	0.28
基準点15	II	0.3					0.10	0.11	0.11	0.15	0.13	0.10
基準点16	II	0.3					0.13	0.12	0.14	0.16	0.14	0.11
監視点イ	II	0.3	0.20	0.21	0.18	0.13	0.18	0.18	0.16	0.18	0.20	0.18
監視点ロ	II	0.3					0.13	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16
監視点ハ	II	0.3					0.26	0.17	0.34	0.31	0.24	0.18
監視点ニ	II	0.3	0.19	0.18	0.16	0.13	0.17	0.16	0.14	0.18	0.17	0.15
監視点ホ	II	0.3	0.12	0.17	0.12	0.09	0.09	0.10	0.14	0.13	0.14	0.10
監視点ヘ	II	0.3	0.11	0.16	0.10	0.08	0.08	0.09	0.13	0.13	0.10	0.09
監視点ト	II	0.3					0.13	0.22	0.14	0.17	0.16	0.14
監視点チ	II	0.3					0.13	0.16	0.16	0.16	0.17	0.14
監視点リ	II	0.3					0.10	0.14	0.12	0.15	0.14	0.16
監視点ヌ	II	0.3					0.10	0.10	0.12	0.13	0.11	0.09
平均			0.16	0.18	0.16	0.12	0.15	0.20	0.19	0.21	0.19	0.24



注)  : 環境基準を超過した地点

表3 全りん平均値(表層)の経年変化(1992年度～2001年度)

地点	類型	環境基準	(単位: mg/L)									
			1992年度	1993年度	1994年度	1995年度	1996年度	1997年度	1998年度	1999年度	2000年度	2001年度
基準点1	II	0.03	0.020	0.018	0.018	0.026	0.019	0.021	0.029	0.019	0.020	0.022
基準点2	II	0.03					0.031	0.038	0.042	0.037	0.033	0.033
基準点3	II	0.03	0.020	0.021	0.024	0.021	0.019	0.023	0.023	0.022	0.021	0.024
基準点4	II	0.03					0.020	0.019	0.035	0.023	0.027	0.024
基準点5	II	0.03					0.018	0.019	0.026	0.020	0.020	0.022
基準点6	II	0.03					0.018	0.020	0.023	0.022	0.019	0.023
基準点7	II	0.03	0.019	0.017	0.018	0.017	0.016	0.015	0.030	0.019	0.018	0.019
基準点8	II	0.03					0.017	0.018	0.027	0.028	0.019	0.037
基準点9	II	0.03					0.017	0.017	0.028	0.021	0.020	0.031
基準点10	II	0.03					0.021	0.032	0.034	0.034	0.029	0.062
基準点11	II	0.03	0.019	0.018	0.022	0.020	0.016	0.026	0.022	0.021	0.019	0.168
基準点12	II	0.03					0.020	0.020	0.023	0.023	0.020	0.070
基準点13	II	0.03	0.014	0.014	0.018	0.014	0.014	0.013	0.024	0.016	0.013	0.015
基準点14	II	0.03	0.013	0.016	0.018	0.016	0.018	0.021	0.020	0.020	0.018	0.035
基準点15	II	0.03					0.012	0.012	0.011	0.014	0.014	0.013
基準点16	II	0.03					0.017	0.016	0.017	0.016	0.015	0.019
監視点イ	II	0.03	0.023	0.021	0.025	0.027	0.024	0.022	0.023	0.022	0.023	0.026
監視点ロ	II	0.03					0.019	0.022	0.024	0.022	0.021	0.023
監視点ハ	II	0.03					0.028	0.021	0.035	0.029	0.024	0.025
監視点ニ	II	0.03	0.019	0.018	0.018	0.018	0.019	0.018	0.016	0.018	0.015	0.018
監視点ホ	II	0.03	0.011	0.016	0.013	0.012	0.011	0.012	0.015	0.014	0.013	0.010
監視点ヘ	II	0.03	0.011	0.016	0.013	0.010	0.010	0.010	0.013	0.012	0.009	0.010
監視点ト	II	0.03					0.018	0.027	0.020	0.020	0.019	0.021
監視点チ	II	0.03					0.019	0.021	0.022	0.021	0.021	0.020
監視点リ	II	0.03					0.015	0.017	0.017	0.016	0.013	0.019
監視点ヌ	II	0.03					0.014	0.012	0.014	0.011	0.010	0.010
平均			0.017	0.018	0.019	0.018	0.018	0.020	0.024	0.021	0.019	0.031

注)  : 環境基準を超過した地点

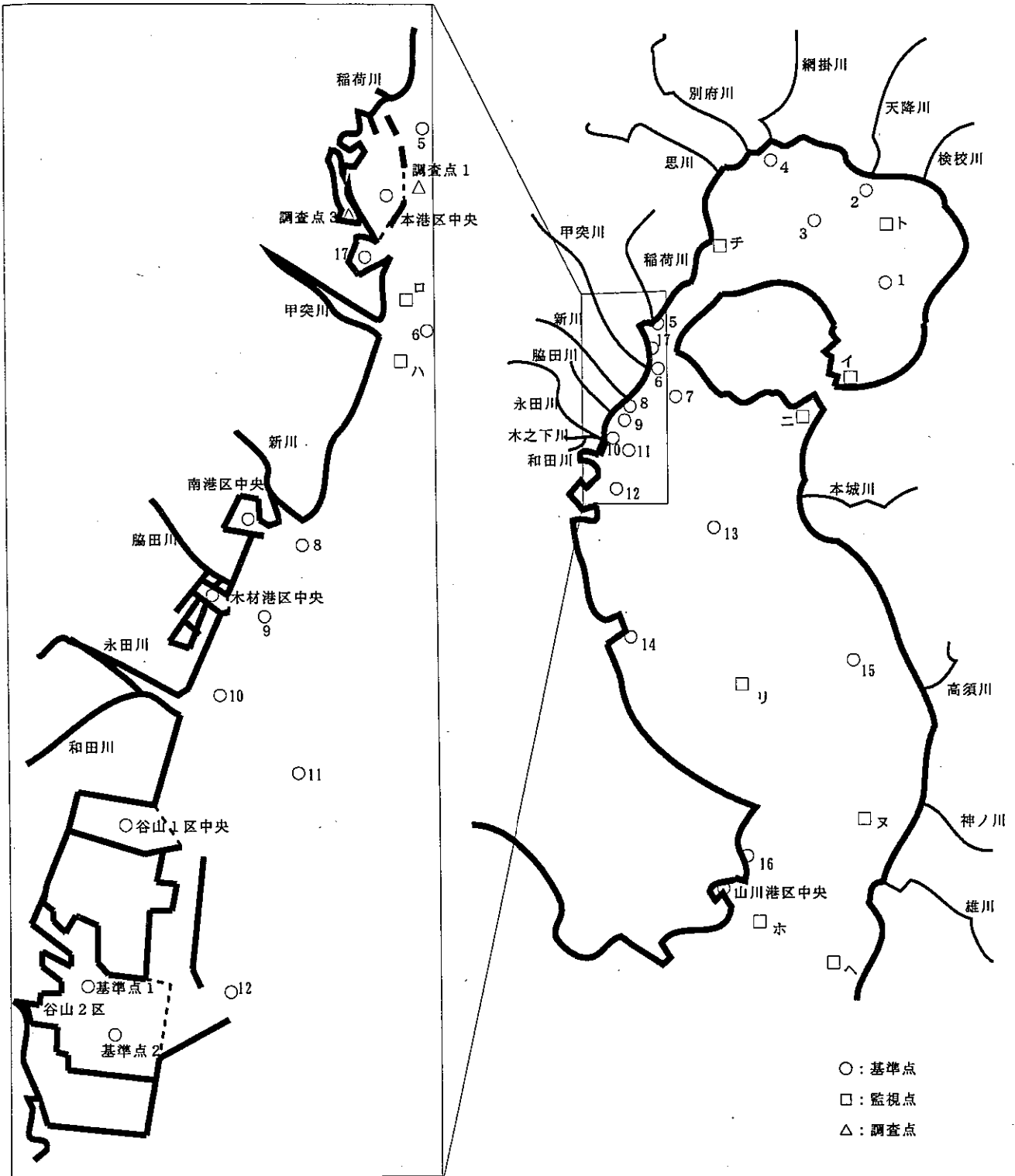


図2 調査地点

22千人増加しており、県総人口に占める流域人口の割合は増加傾向にある<sup>4)</sup>。総人口の推移を図1に示す。

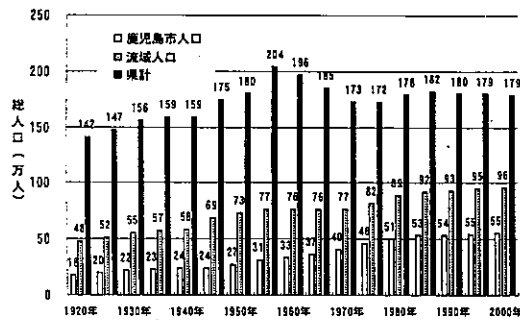


図1 総人口の推移

### 3 調査方法

#### 3.1 調査方法及び調査時期

図2に示す基準点24地点（うち港湾部は8地点）、監視点10地点及び調査点2地点で調査を実施した<sup>5)</sup>（監視点チ～ヌの3点は1996年度から調査を実施）。調査時期は年6回、偶数月を原則としているが、天候等の関係で偶数月に調査できなかった月（2000年6月、2001年10月）もあったが、それらは翌月に調査を実施した。なお、解析には鹿児島湾海域を以下の6つの海域に分けて行った。

- 湾奥域 : 基準点1～4
- 鹿児島市沖（北部） : 基準点5～8
- 鹿児島市沖（南部） : 基準点9～12
- 湾央・指宿沖 : 基準点13～16
- 港湾域 : 基準点17, 本港区中央  
南港区中央, 木材港区中央  
谷山1区中央  
谷山2区基準点1～2  
山川港区中央
- 監視点, 調査点 : 監視点イ～ヌ, 調査点1, 3

#### 3.2 調査項目

- 透明度 : セッキー円板
- 水色 : フォーレル・ウーレ水色標準液
- クロロフィルa : 吸光光度法
- 塩化物イオン : ファヤンス法（ウランでんぶん指示薬による硝酸銀滴定法）

（以上、海洋観測指針より）

その他の項目はJIS K 0102に従った。なお、水温は棒状温度計とサーミスタ温度計を併用し、全窒素は1994年2月までは総窒素（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）のデータを使用した。

### 4 結果

#### 4.1 COD

表層CODの経月変化を図3-1に示す。地点や年度により差があるが、全体的に夏季に増加し、冬季に減少する傾向にある。また、全体的にみると増加傾向にある。図4に調査月別のCODが2 mg/Lを超過した割合（以下、「調査月別超過率」という。）を示した。なお、2000年7月調査及び2001年11月調査はそれぞれ2000年6月及び2001年10月調査とみなした。監視点ホ・リ以外は8月が最も調査月別超過率が高かった。また、12月及び2月はほとんど超過しておらず、このことから夏季にCODが高く、冬季にCODが低いことがわかる。海域別にみると、湾奥部、鹿児島市沖（北部・南部）及び港湾域が調査月別超過率が高く、湾央・指宿沖は低かった。

多層採水している地点（基準点1, 3, 13及び監視点ト）のCODの経月変化を図3-2に示す。どの地点も循環期である冬季には上下層のCODがほぼ一致していた。また、どの地点も下層のCODが増加傾向にあった。

図5に表層・全層の年度別CODが2 mg/Lを超過した割合（以下、「年度別超過率」という。）を示した。CODが環境基準を超過した1998年度から表層・全層とも年度別超過率が20%を上回っている。特に2000年度の年度別超過率が表層で50%、全層で40%を超えており、2000年度の鹿児島湾の水質が特に悪化していたことがわかる。

#### 4.2 水温

表層水温の経月変化を図6-1に示す。どの地点も同じパターンで明確な季節変動を示し、わずかながら上昇傾向にあった。また同じ調査月で水温の差が1.7～7.1℃あった。これは、外海水の混入、流入河川の影響などで水温に差が生じたものと思われる。

多層採水している地点（基準点1, 3, 13及び監視点ト）の水温の経月変化を図6-2に示す。夏季は水深が深くなっていくにしたがって水温が低くなっていくが、循環期である冬季には上下層の水温が同じとなっている。

#### 4.3 透明度・水色

透明度の経月変化を図7に示す。CODが高くなる夏季に透明度は低くなり、CODが低くなる冬季に透明度が高くなる傾向にある。地点別にみると、監視点ヘで平均が14.9mと最も高く、以下監視点ヌ、監視点リ、基準点15、監視点ホ、基準点13の順であり、海域別にみると

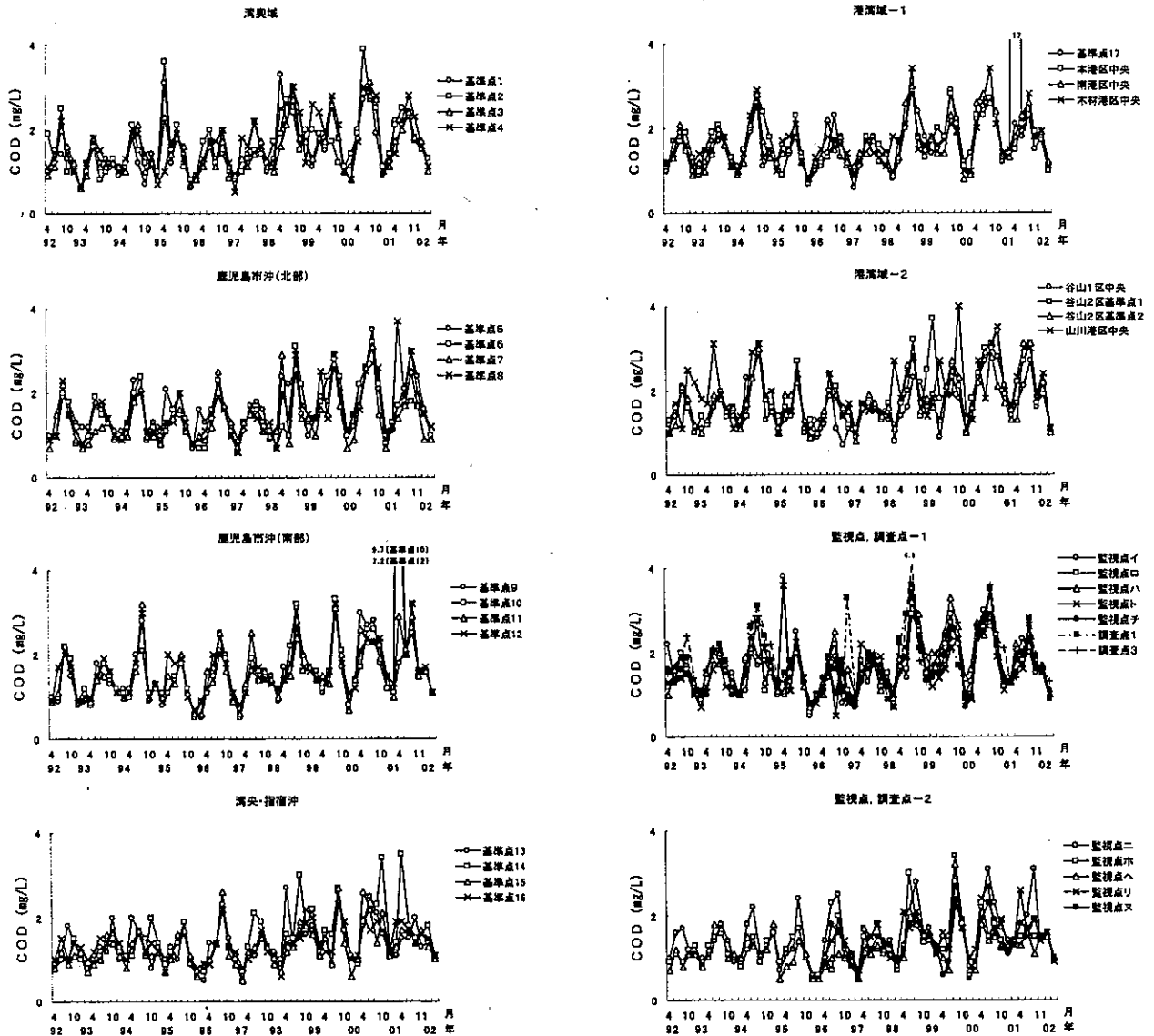


図3-1 COD経月変化(表層)

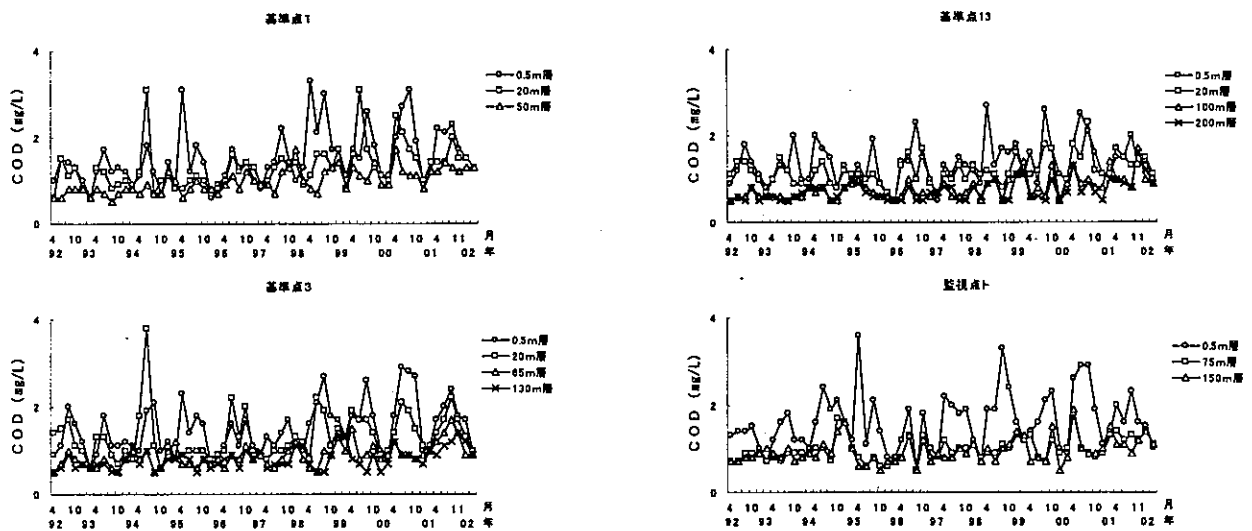


図3-2 COD経月変化(基準点1, 3, 13及び監視点ト)

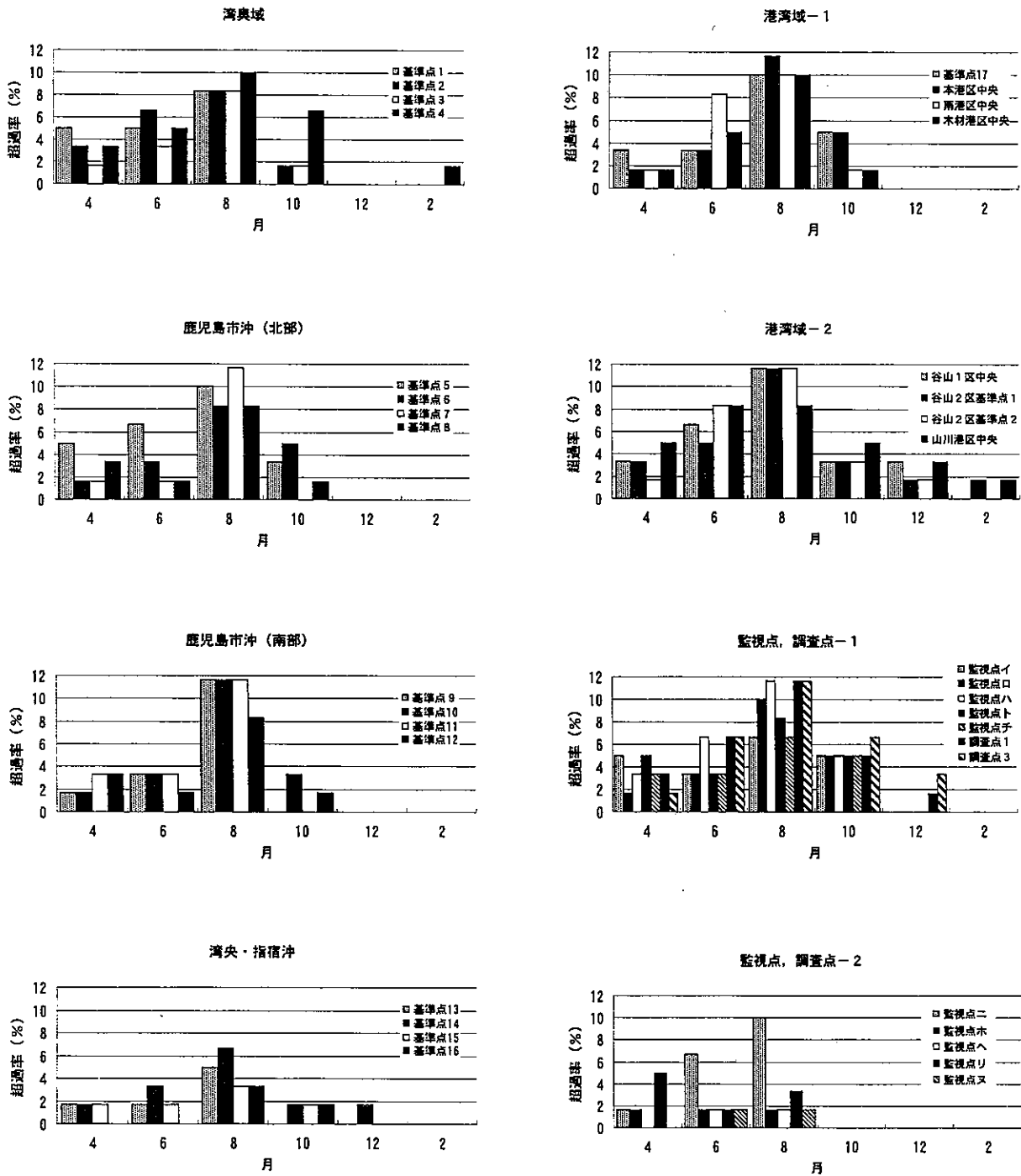


図4 CODが2 mg/Lを超過した割合

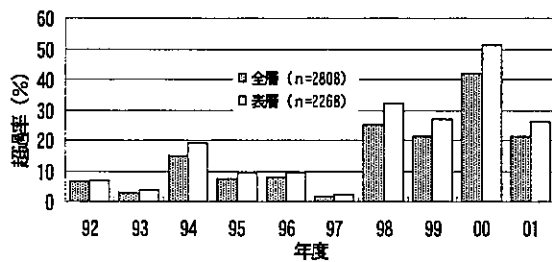


図5 表層・全層の年度別CODが2 mg/Lを超過した割合



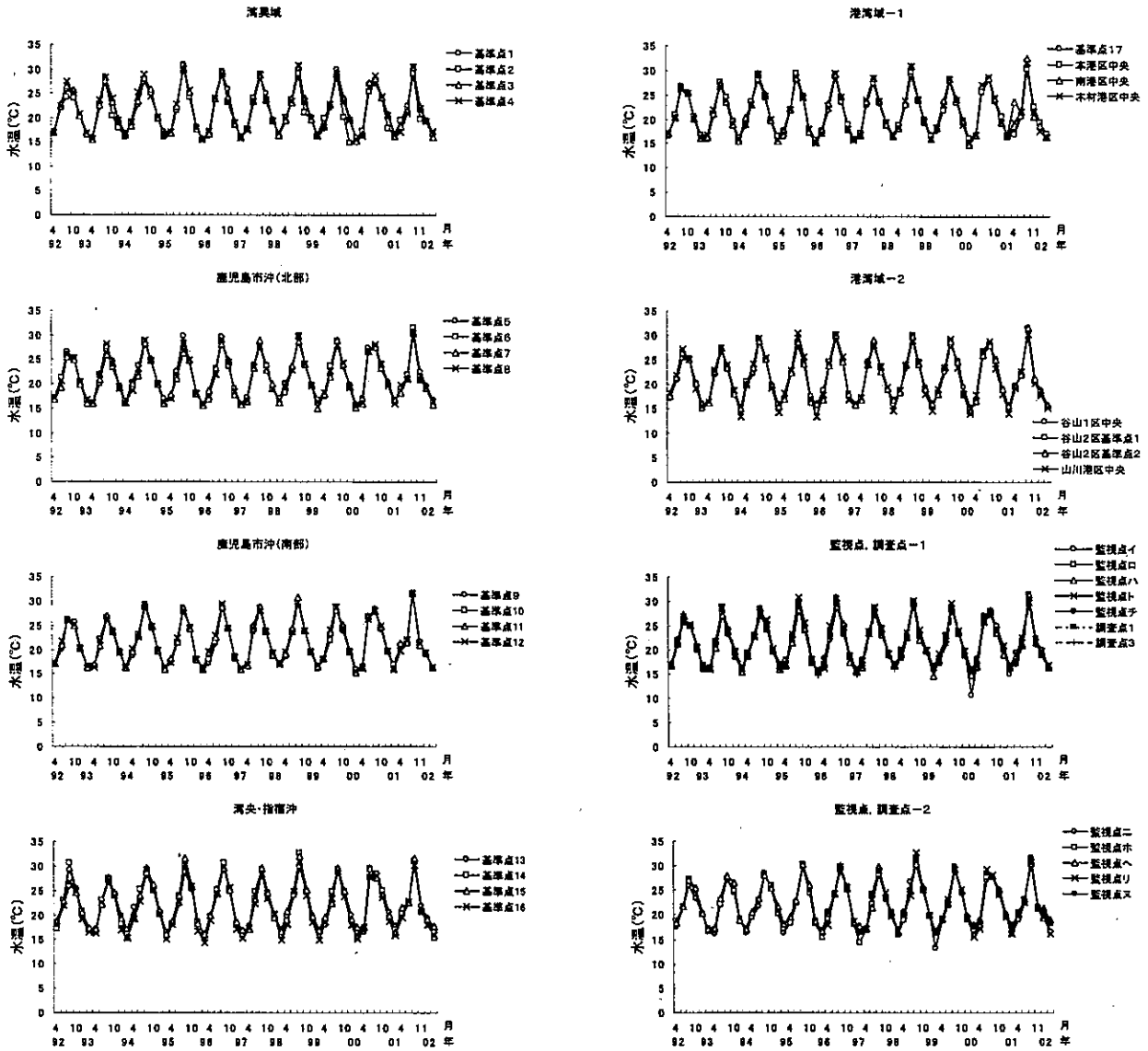


図6-1 水温経月変化(表層)

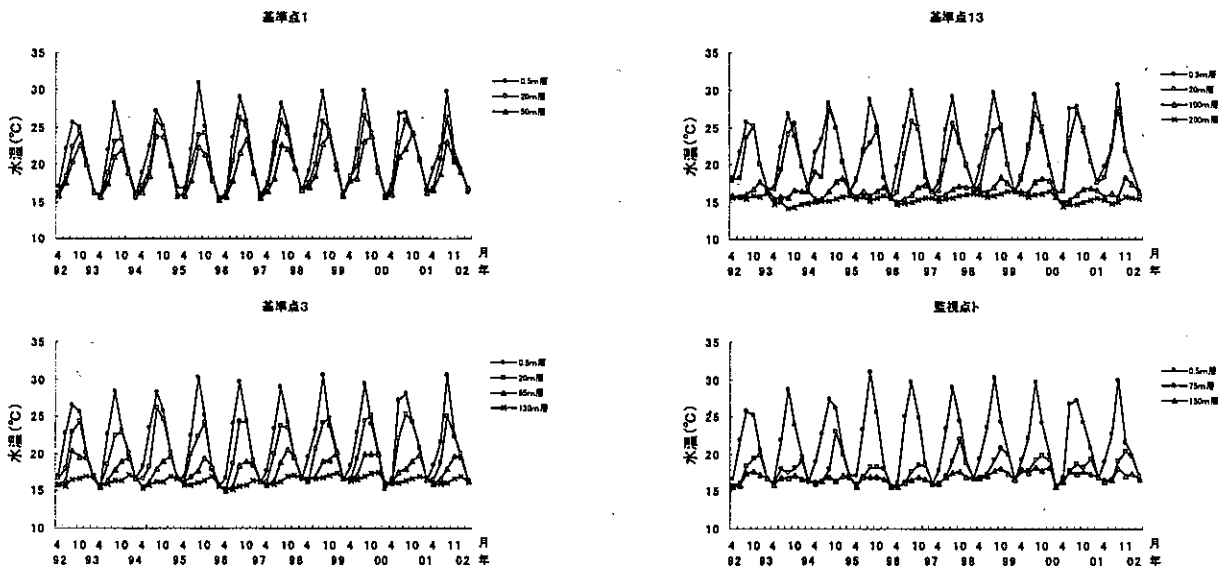


図6-2 水温経月変化(基準点1, 3, 13及び監視点1)

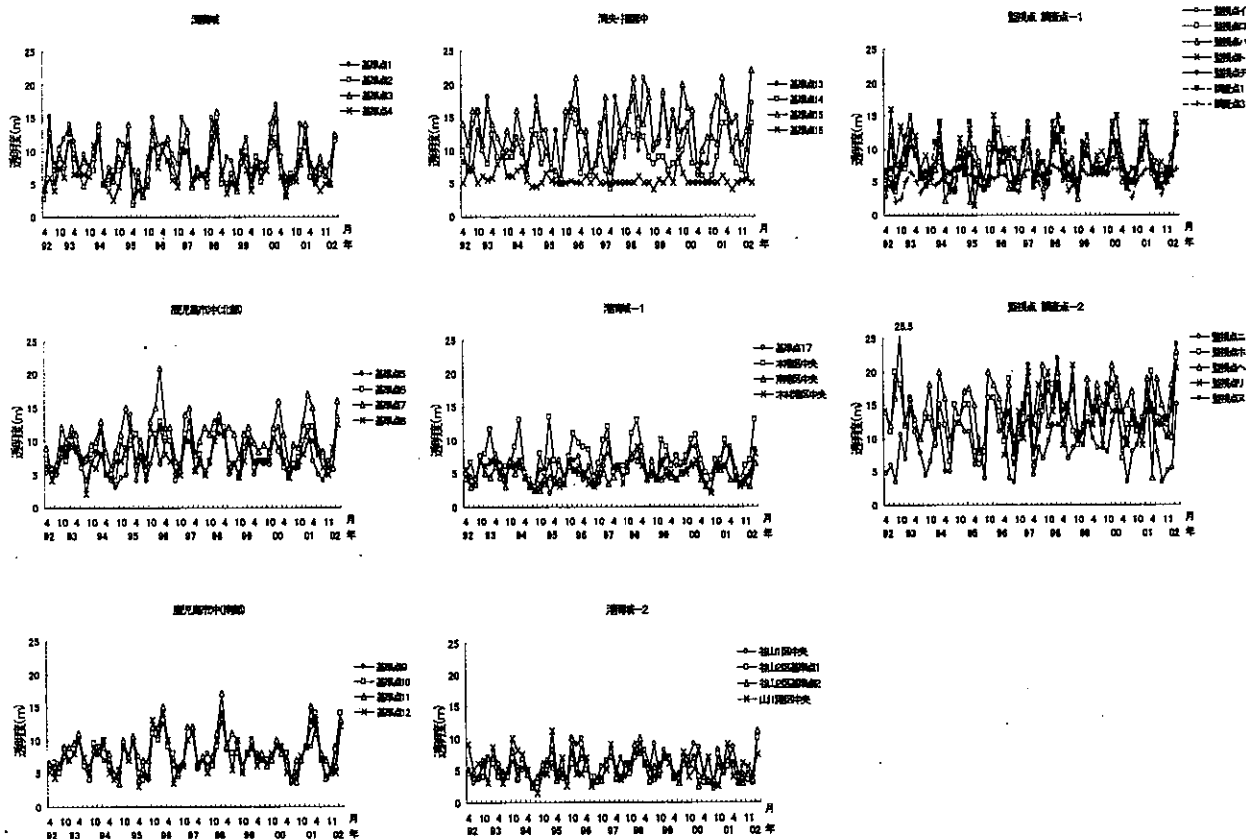


图7 透明度経月变化

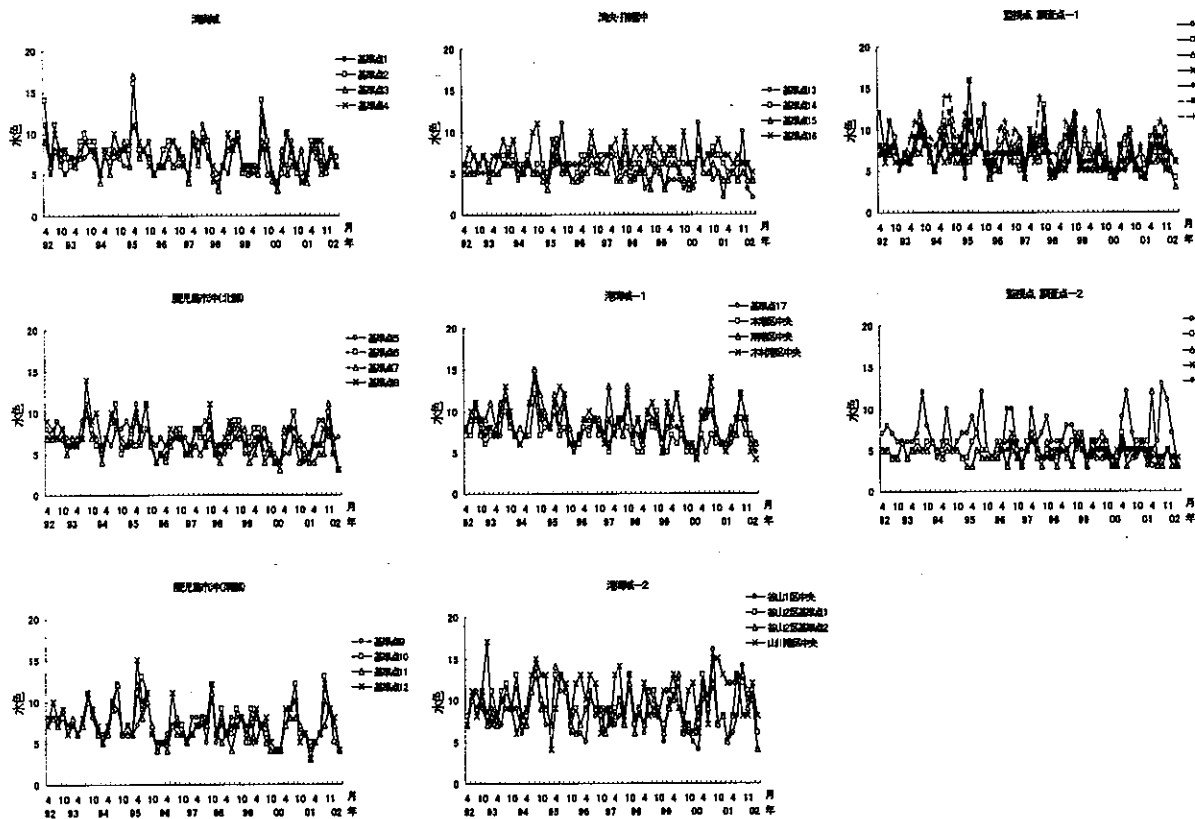


图8 水色経月变化

湾央・指宿沖（基準点16を除く）が透明度が高く、港湾域、湾奥域及び鹿兒島市沖（北部、南部）の透明度が低い傾向にあった。

水色の経月変化を図8に示す。CODが高くなる夏季に水色は大きくなり、CODが低くなる冬季に水色が小さくなるという、透明度とは逆の季節変動がみられた。また水色の平均は透明度の平均が高かった地点ほど小さくなる傾向にあった。

#### 4. 4 pH

表層pHの経月変化を図9-1に示す。夏季にpHは高くなり、冬季にpHが低くなる季節変動がみられた。一般的に植物プランクトンの活動が盛んになり、炭酸同化作用による二酸化炭素の消費が多くなる夏季にpHが高くなる傾向にあることから、鹿兒島湾海域でもこの現象が起きているものと思われる。海域別にみると、湾央・指宿沖では季節変動幅が小さかった。

環境基準はA、B類型とも7.8～8.3であるが、炭酸同化作用の影響で夏季には基準の範囲をはずれることが多かった。

多層採水している地点（基準点1、3、13及び監視点ト）のpHの経月変化を図9-2に示す。どの地点も水温と同様、循環期である冬季にはほぼ上下層のpHがほぼ一致していた。監視点トの下層付近は、「たぎり」とよばれる海底からガスが噴き出る現象がみられる地点である。このガスは、桜島などの火山活動と密接に関連しているといわれており、ガスの主成分は含有量の多い順に二酸化炭素、メタン、窒素、硫化水素である<sup>6)</sup>。従って、二酸化炭素や硫化水素の影響で監視点トの150m層は、他の地点に比べてpHが低くなるものと推察される。

#### 4. 5 DO

表層DOの経月変化を図10-1に示す。春期から夏季にかけてDOは増加し、秋季から冬季にかけてDOは減少していたが、だんだんと季節変動が明瞭でなくなってきたので、はっきりとした傾向はつかめない。そこで、表層DO飽和率の経月変化を図11-1に示す。DO飽和率は夏季に過飽和状態になりやすく、冬季に100%を割る傾向にある。これは、夏季には植物プランクトンが活発に活動し、酸素を海水に供給するためにDOが過飽和状態になり、冬季には循環期をむかえ、下層のDOの低い水が表層付近までのぼっていくためにDO飽和率が下がるものと思われる。

環境基準はA類型が7.5mg/L以上、B類型が5.0mg/L以上となっているが、港湾域以外では環境基準値を下回る

ことがしばしばあったが、DO飽和率は100%を前後していた。

多層採水している地点（基準点1、3、13及び監視点ト）のDO及びDO飽和率の経月変化を図10-2及び11-2に示す。水温・pH同様、循環期を迎える冬期にはどの地点とも上下層のDO及びDO飽和率はほぼ一致する傾向にある。また、表層より下層のほうが明瞭な季節変動がみられた。春から秋にかけて、下層のDOは減少していき、冬季の鉛直混合が始まる直前にDOは最小となる。

地点別にみても、基準点1、3及び監視点トに比べて、基準点13は循環期を迎えても200m層DOが表層DOより低い。経月変化から、基準点1、3、監視点トは下層まで鉛直混合が行われているが、基準点13では上下層のDOが一致しておらず下層まで完全に鉛直混合が行われにくかったものと考えられる。

#### 4. 6 大腸菌群数

大腸菌群数は基準点1～17で測定を行っている。大腸菌群数の経月変化を図12に示す。環境基準は1,000MPN/

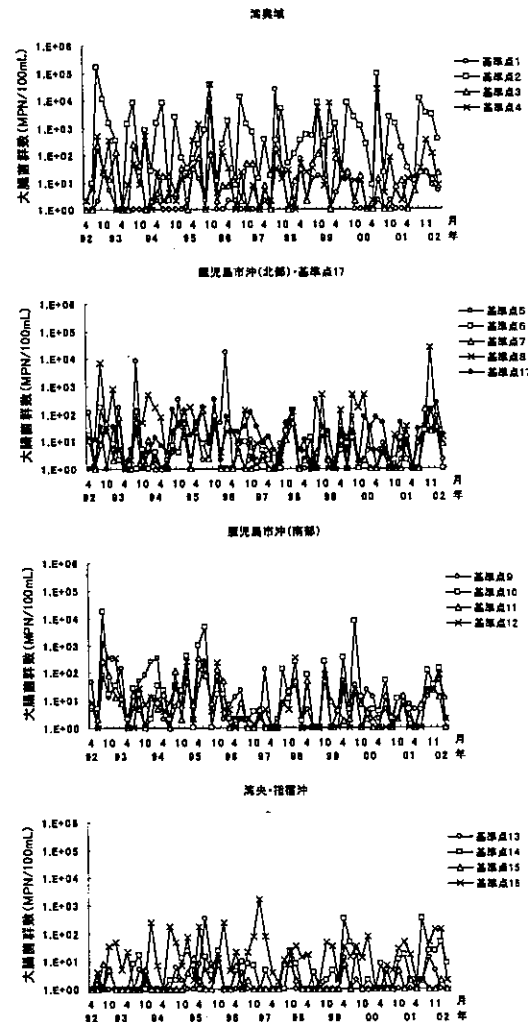


図12 大腸菌群数経月変化

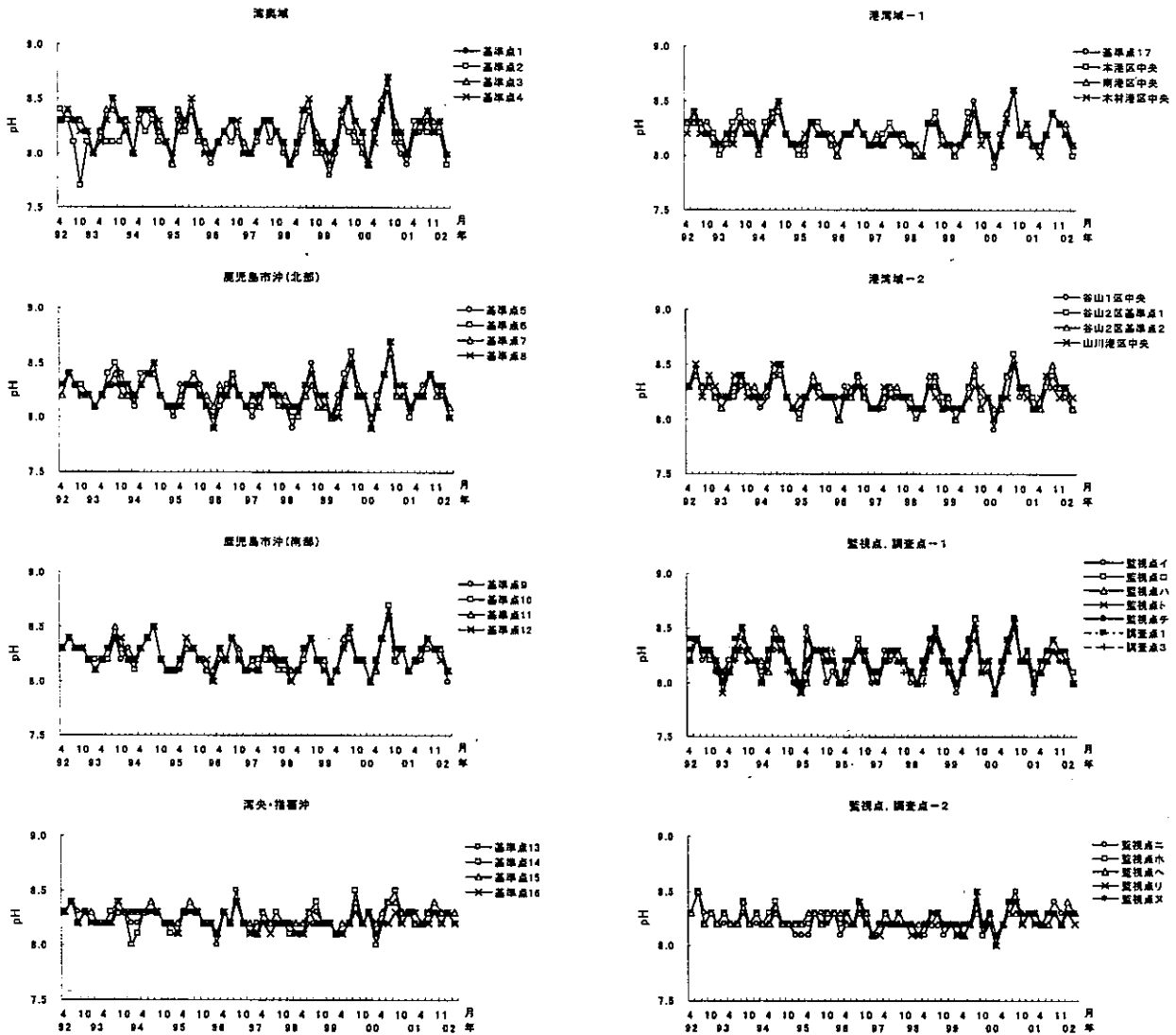


図9-1 pH経月変化(表層)

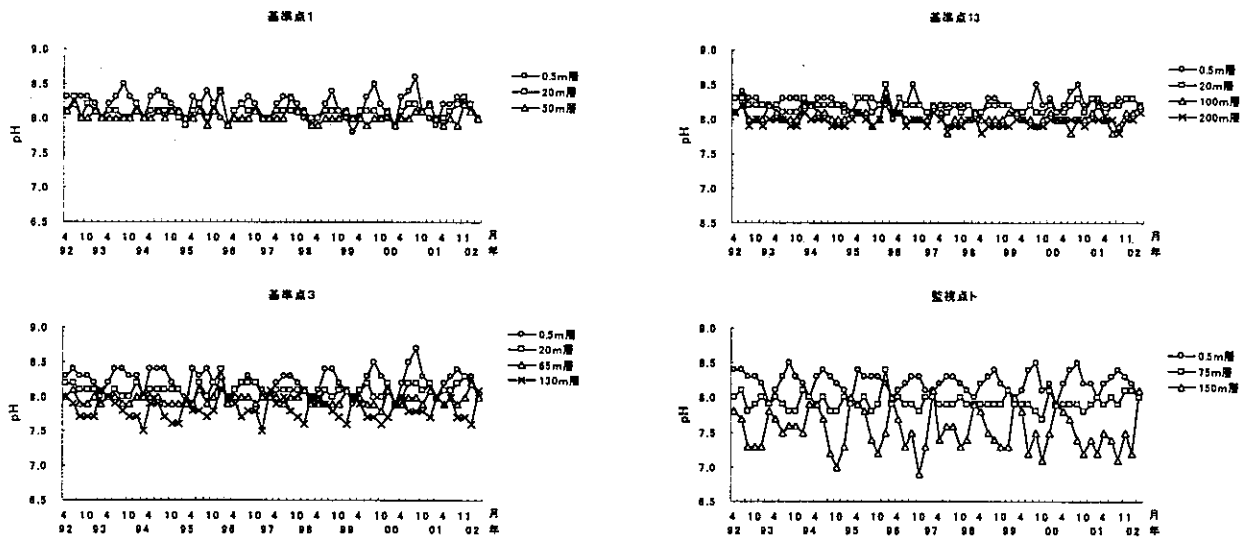


図9-2 pH経月変化(基準点1, 3, 13及び監視点ト)

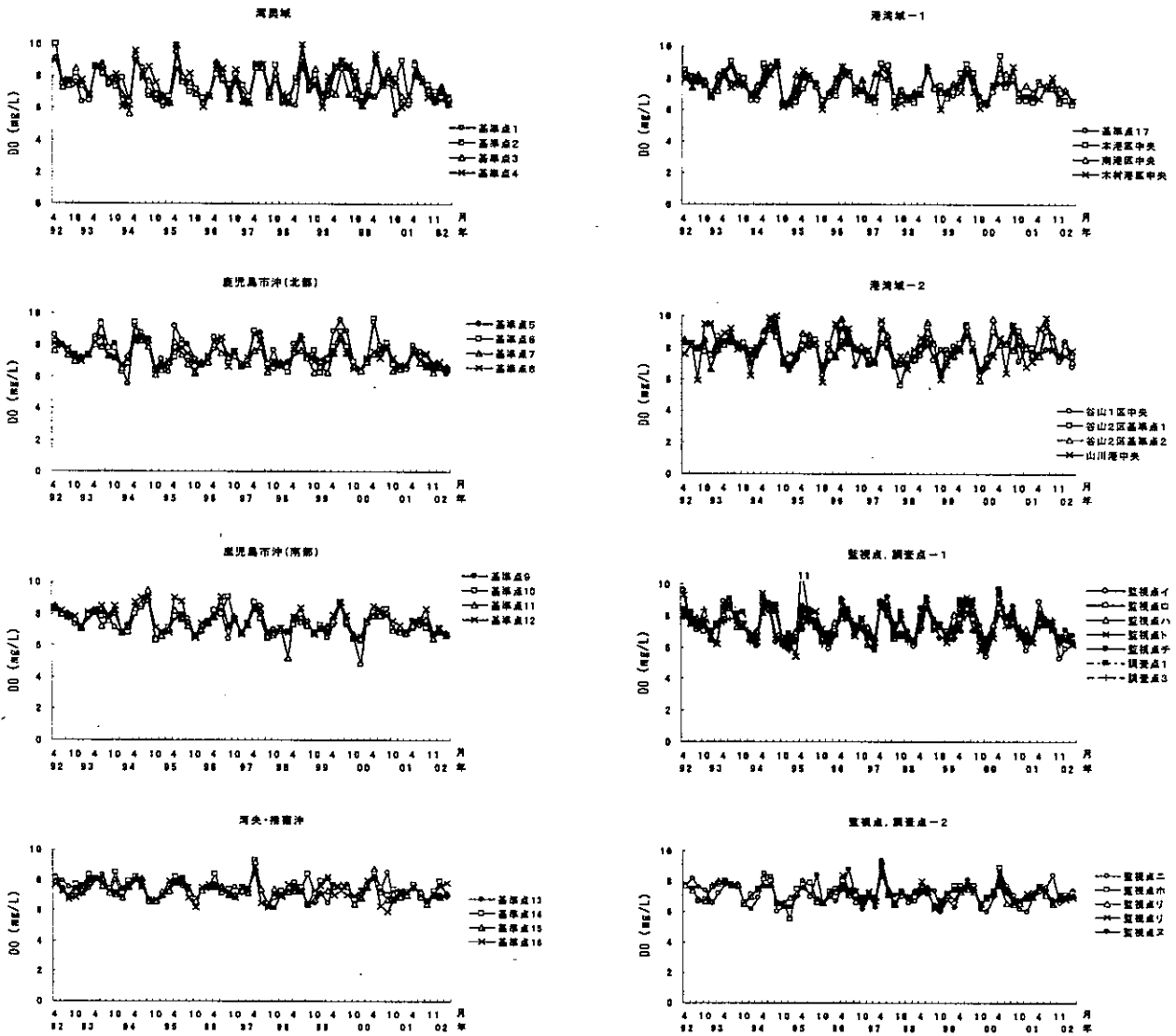


図10-1 DO経月変化(表層)

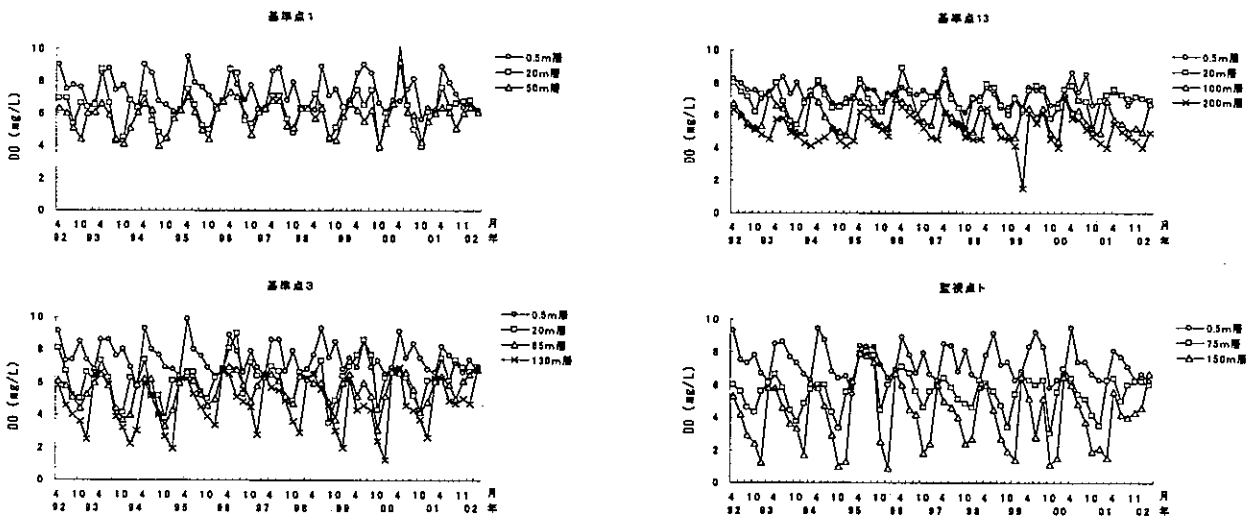


図10-2 DO経月変化(基準点1, 3, 13及び監視点ト)

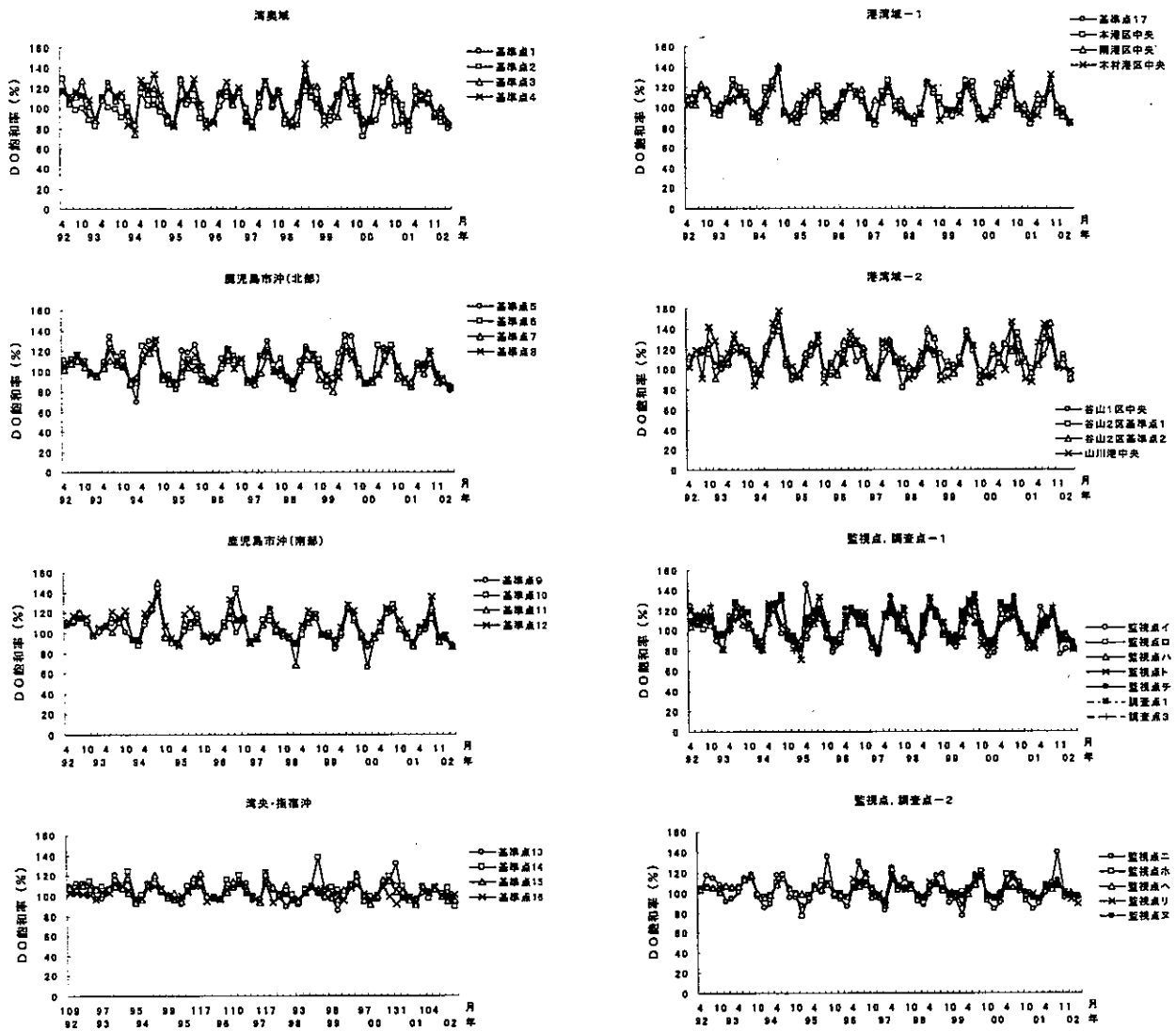


図11-1 DO飽和率経月変化(表層)

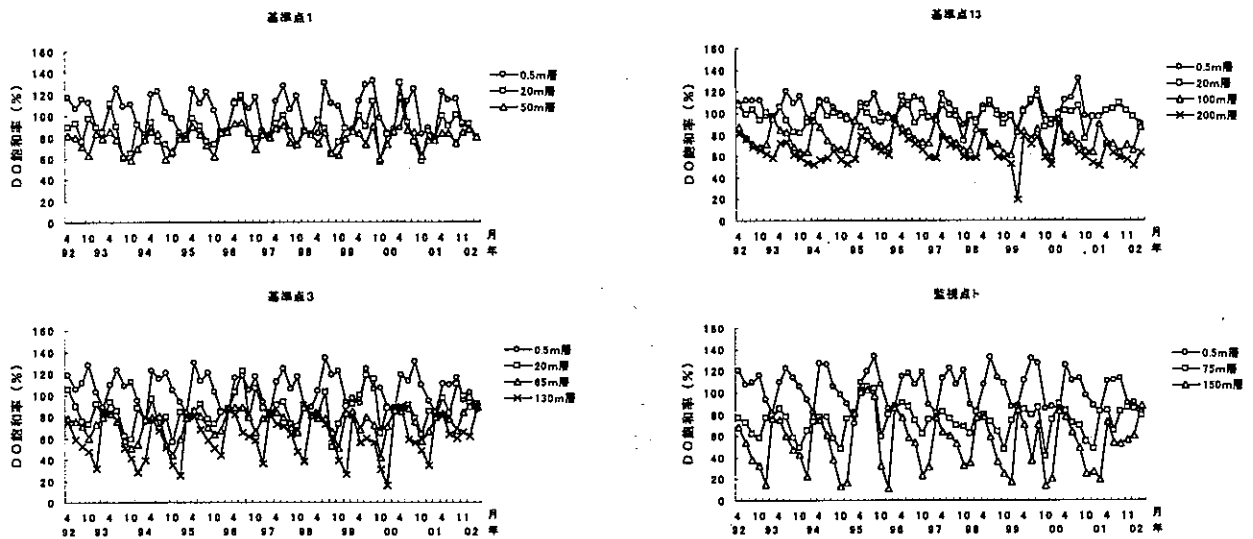


図11-2 DO飽和率経月変化(基準点1, 3, 13及び監視点ト)

100mLであるが、主に流入河川の影響を受けやすい地点で環境基準を超過していた。また、季節変動的要素はみうけられなかった。

#### 4.7 窒素

窒素はアンモニア態窒素、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素（以下、これら3態窒素のことを「無機態窒素」という。）及び全窒素の測定を行っている。全窒素は基準点1～16及び監視点イ～ヌで測定を行っている（基準点1, 3, 7, 11, 13, 14及び監視点イ, ニ, ホ, ヘ以外の地点は窒素が環境基準Ⅱ類型に指定されたのをうけて1996年度から測定開始）。無機態窒素は基準点1, 3, 7, 11, 13, 14及び監視点イ, ニ, ホ, ヘで測定を行っている。全窒素の経月変化を図13-1、無機態窒素及び全窒素の経月変化を図13-2に示す。

環境基準は表層において全窒素が0.3mg/Lであるが、流入河川の影響を受けやすい地点（基準点2, 8, 10）は全窒素濃度の変動が大きく、環境基準を超過することがしばしばみられた。また、全窒素においては季節変動的要素はほとんどなかった。26地点で測定が開始された1996年度からの表層の平均値をみると、1997年度に全窒素の平均値が0.2mg/Lと上昇し、以後横ばい状態が続いている（表2）。海域別にみると、鹿児島市沖（北部、南部）が窒素濃度が高く、湾央・指宿沖が低い傾向にあった。

アンモニア態窒素は、ほとんどの月では報告下限値（0.002mg/L）未満であったが、まれに突発的に高くなっているときがあった。このときの鹿児島湾の状況は、赤潮が発生していた時期であり（表4参照）、主に赤潮によりアンモニア態窒素が高くなったものと推測される。また、季節変動的要素はみうけられなかった。

亜硝酸態窒素はほとんど報告下限値（0.002mg/L）未満であったが、まれに高くなっている時期もあった。原因は不明である。また、季節変動的要素はみうけられなかった。

硝酸態窒素は循環期を迎える冬期に上昇し、以後減少していくという季節変動的要素がみられた。また、鉛直混合が行われた直後は、全窒素の半分以上が硝酸態窒素となる傾向にあった。

多層採水している地点（基準点1, 3及び13）の無機態窒素及び全窒素の経月変化を図13-3に示す。アンモニア態窒素及び亜硝酸態窒素については、赤潮等で突発的に表層が高くなったときを除くと、上下層の差はあまりなく、季節変動的要素はみうけられなかった。硝酸態窒素は、基準点1, 3においては鉛直混合がおこなわれる

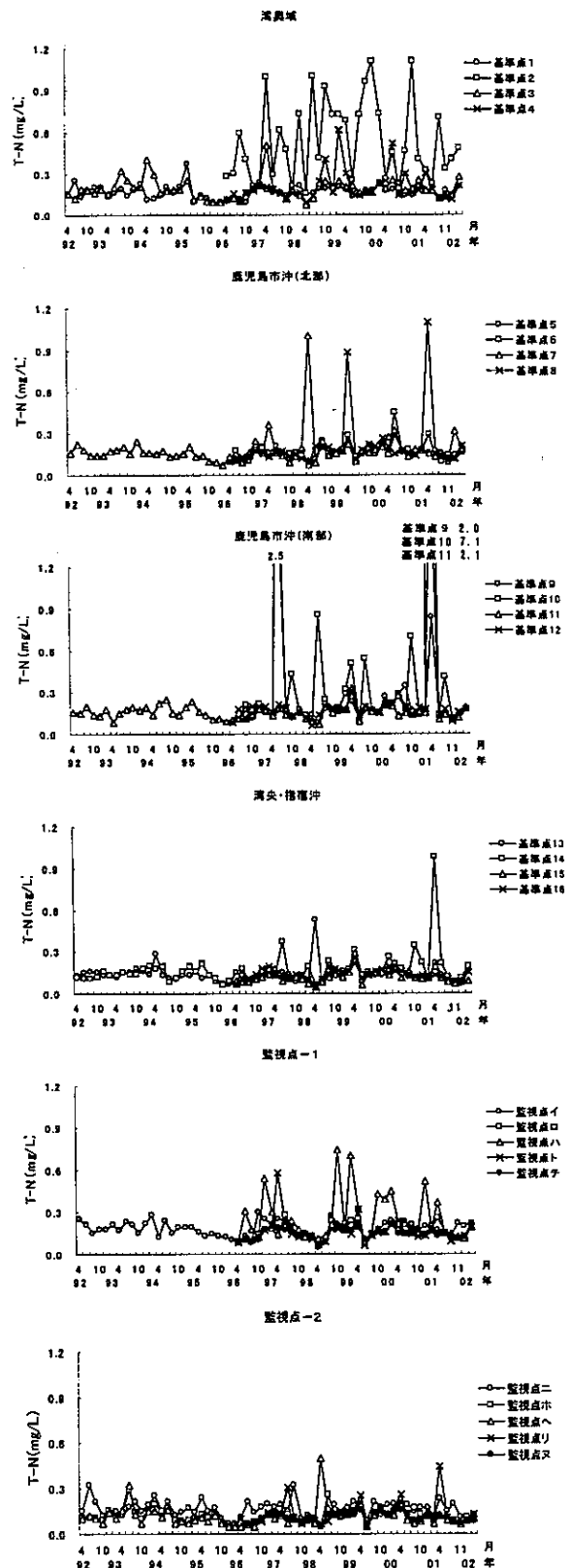


図13-1 全窒素経月変化（表層）

冬季に表層から下層の濃度がほぼ一致する傾向にあったが、基準点13においては上下層の濃度が一致していなかった。理由として、水深が深いということもあり、200m

表4 鹿兒島湾における赤潮発生一覽

発生年月日	終息年月日	期間	赤潮生物種名	場所	細胞数 (cells/ml)
1992. 4. 16	1992. 4. 18	3	<i>Prorocentrum balticum</i>	鹿兒島湾奥	3500
1992. 5. 1	1992. 5. 16	16	<i>Gephyrocapsa oceanica</i>	鹿兒島湾奥	12700
1993. 3. 1	1993. 3. 5	5	<i>Noctiluca scintillans</i>	鹿兒島湾中央部	650
1993. 4. 20	1993. 4. 27	8	<i>Noctiluca scintillans</i>	鹿兒島湾奥～湾口部	
1993. 5. 14	1993. 5. 21	8	<i>Noctiluca scintillans</i>	鹿兒島湾中央部	2500
1993. 6. 17	1993. 6. 20	4	<i>Chattonella marina</i>	鹿兒島湾奥・湾中央部	4440
1993. 8. 20	1993. 8. 22	3	<i>Prorocentrum sigmoides</i>	鹿兒島湾中央部海潟	3000
1993. 11. 8	1993. 11. 9	2	<i>Gyrodinium sp.</i>	鹿兒島湾奥部牛根辺田	5600
1994. 1. 6	1994. 1. 7	2	<i>Mesodinium rubrum</i>	鹿兒島湾奥部	6000
1994. 3. 17	1994. 4. 30	45	<i>Noctiluca scintillans</i>	鹿兒島湾奥・湾中央部	
1994. 5. 19	1994. 5. 19	1	<i>Mesodinium rubrum</i>	鹿兒島湾中央部鹿屋	3000
1994. 6. 14	1994. 6. 24	11	<i>Chattonella marina</i>	鹿兒島湾奥部	19000
1994. 7. 29	1994. 8. 4	7	<i>Prorocentrum sigmoides</i>	鹿兒島湾奥部	1800
1994. 8. 22	1994. 8. 30	9	<i>Prorocentrum sigmoides</i>	鹿兒島湾奥部	1500
1994. 10. 20	1994. 10. 20	1	<i>Mesodinium rubrum</i>	桜島	12000
1994. 11. 30	1994. 12. 2	3	<i>Mesodinium rubrum</i>	竜ヶ水, 平川～指宿	6000
1995. 4. 1	1995. 4. 26	26	<i>Heterosigma akashiwo</i>	鹿兒島湾奥部, 海潟	371000
1995. 4. 30	1995. 5. 9	10	<i>Chrysochromulina quadrikonta</i>	鹿兒島湾中央部 海潟	20000
1995. 5. 29	1995. 5. 31	3	<i>Prorocentrum dentatum</i>	山川	110000
1995. 5. 30	1995. 5. 31	2	<i>Noctiluca scintillans</i>	平川～喜入	2500
1995. 6. 23	1995. 7. 10	18	<i>Chattonella marina</i>	鹿兒島湾奥部	13900
1996. 4. 22	1996. 5. 16	25	<i>Noctiluca scintillans</i>	鹿兒島湾奥部・湾中央部	
1996. 6. 13	1996. 6. 13	1	<i>Distephanus speculum</i>	鹿兒島湾牛根	10000
1996. 9. 11	1996. 9. 14	4	<i>Heterosigma akashiwo</i>	鹿兒島湾奥部牛根	51625
1997. 3. 10	1997. 5. 1	53	<i>Noctiluca scintillans</i>	鹿兒島湾中央部海潟	
1997. 6. 12	1997. 6. 14	3	<i>Noctiluca scintillans</i>	鹿兒島湾牛根	
1997. 6. 14	1997. 6. 16	3	<i>Mesodinium rubrum</i>	鹿兒島湾中央部 海潟	8000
1997. 7. 15	1997. 7. 15	1	<i>Chattonella marina</i>	鹿兒島湾中央部 海潟～桜島口	1200
1997. 9. 8	1997. 9. 12	5	<i>Cochlodinium convolutum</i>	福山, 海潟	8000
1998. 3. 31	1998. 5. 5	36	<i>Noctiluca scintillans</i>	鹿兒島湾奥～湾口	3000
1998. 5. 14	1998. 5. 14	1	<i>Prorocentrum dentatum</i>	山川湾	30000
1998. 6. 14	1998. 6. 24	11	<i>Ceratium fusus</i>	鹿兒島湾奥部	3400
1998. 11. 9	1998. 11. 16	8	<i>Noctiluca scintillans</i>	鹿兒島湾奥～湾口	
1999. 4. 1	1999. 4. 30	30	<i>Noctiluca scintillans</i>	鹿兒島湾奥	
1999. 4. 20	1999. 4. 30	11	<i>Ceratium fusus</i>	鹿兒島湾奥東及び桜島北側	133
1999. 6. 29	1999. 6. 30	2	<i>Prorocentrum dentatum</i>	山川湾	5550
2000. 4. 22	2000. 4. 30	9	<i>Noctiluca scintillans</i>	鹿兒島湾奥部	
2000. 5. 8	2000. 5. 25	18	<i>Noctiluca scintillans</i>	鹿兒島湾中央部	510
2000. 6. 13	2000. 6. 13	1	<i>Chattonella marina</i>	鹿兒島湾奥	1800
2000. 8. 10	2000. 9. 23	45	<i>Prorocentrum compressum</i>	鹿兒島湾奥	500
2000. 8. 19	2000. 8. 19	1	<i>Prorocentrum sigmoides</i>	鹿兒島湾奥	850
2001. 3. 31	2001. 4. 14	16	<i>Heterosigma akashiwo</i>	鹿兒島湾中央以北	485000
2001. 4. 2	2001. 4. 23	22	<i>Noctiluca scintillans</i>	鹿兒島湾中央部	
2001. 4. 24	2001. 4. 24	1	<i>Mesodinium rubrum</i>	鹿兒島湾中央部	5000
2001. 6. 21	2001. 6. 28	8	<i>Fragilidium sp.</i>	鹿兒島湾奥 牛根沖	900
2001. 8. 29	2001. 9. 14	17	<i>Prorocentrum sigmoides</i>	鹿兒島湾奥部	4000

(鹿兒島県水産試験場; 資料)



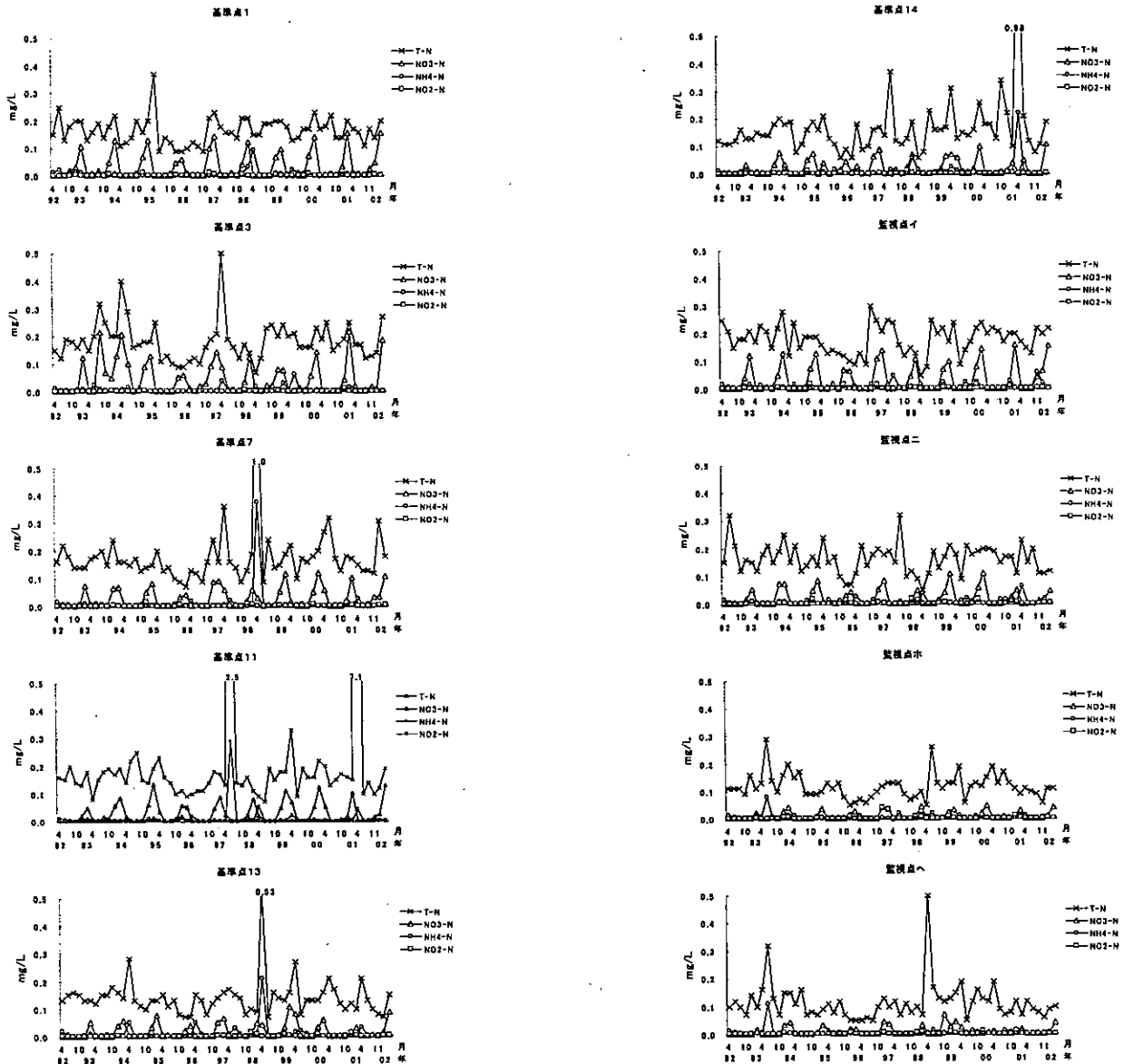


図13-2 無機態窒素及び全窒素経月変化 (表層)

層まで完全に鉛直混合が行われにくかったことが考えられる。

窒素は、生物の主要な構成元素である。窒素濃度の増加は、プランクトンの増殖要因でもあり、非常に重要な項目である。窒素濃度の上昇は、内部生産の増加につながり、結果的にCODの濃度上昇につながるといわれている。よって、近年のCODの環境基準超過原因として、窒素濃度の増加に伴う内部生産の増加が要因の一つにあげられる。

#### 4.8 りん

りんはりん酸態りん及び全りんの測定を行っている。全りんは全窒素と同じ地点で測定を行っており、りん酸態りんは無機態窒素と同じ地点で測定を行っている。全

りんの経月変化を図14-1、りん酸態りん及び全りんの経月変化を図14-2に示す。

環境基準は表層において全りんが0.03mg/Lであるが、流入河川の影響を受けやすい地点(基準点2, 10)は全りん濃度の変動が大きく、環境基準を超過することがしばしばみられた。26地点で測定が開始された1996年度からの表層の平均値をみると、概ね環境基準値(0.03mg/L)を満足していた。年度別にみると、1997年に全りんの平均値が0.02mg/Lを超過し、以後2000年度を除いて0.02mg/Lを超える状態が続いている。特に2001年度は4月の調査で湾中部で赤潮が広範囲でみられたこともあり、軒並み環境基準を超過していた。全りんの環境基準は、表層の平均値で評価するので、平均が高い地点がみられた2001年度はその地点が平均を押し上げる形となり、結果

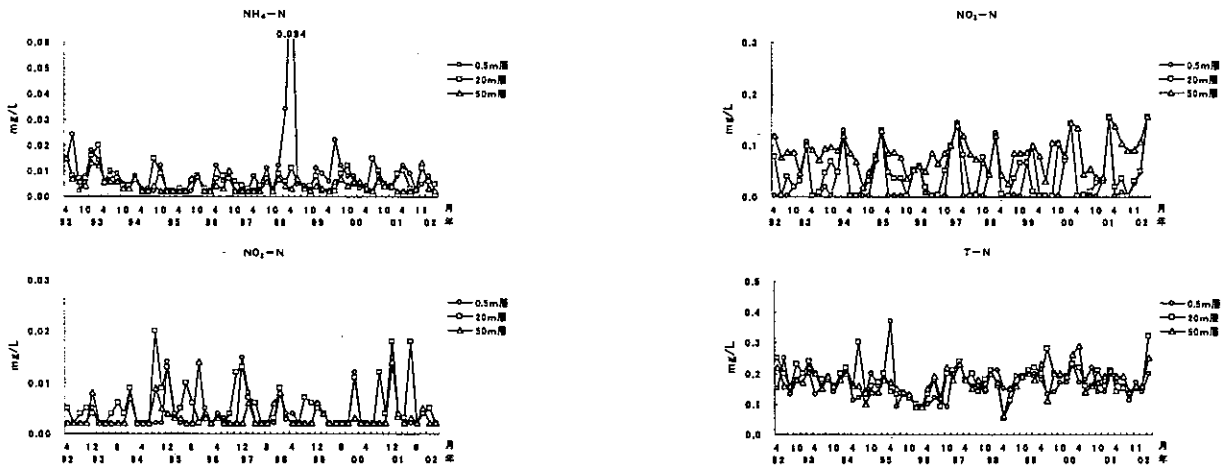


図13-3 無機態窒素及び全窒素経月変化 (基準点1全層)

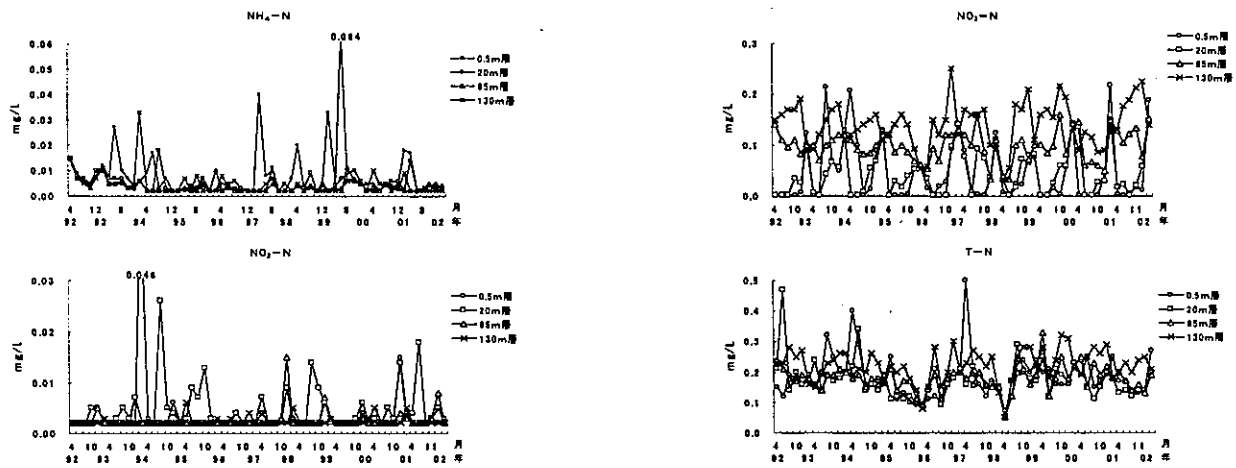


図13-3 無機態窒素及び全窒素経月変化 (基準点3全層)

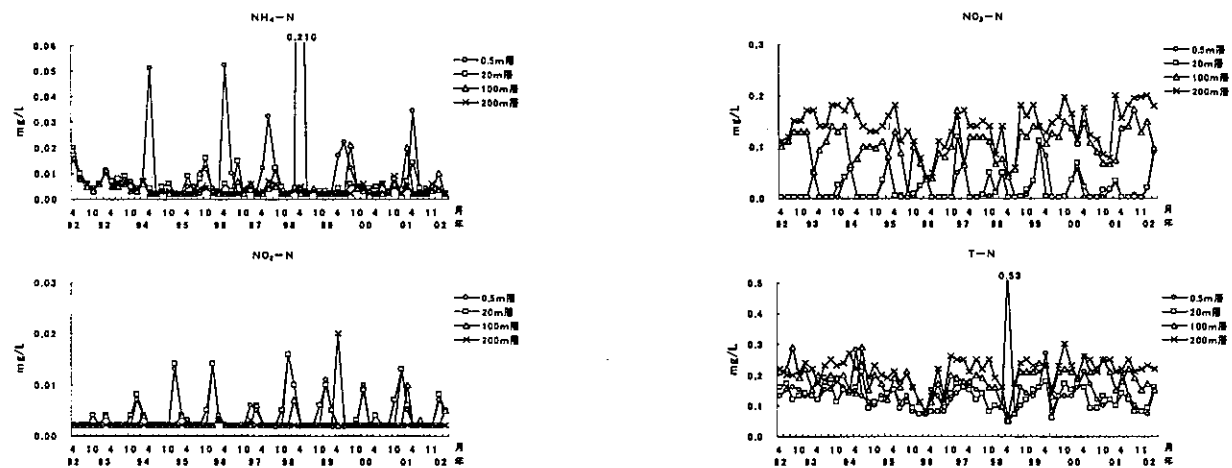


図13-3 無機態窒素及び全窒素経月変化 (基準点13全層)

的に環境基準を超過する，という結果となった。また，全体的にみると，鹿児島市沖（北部，南部）がりん濃度が高く，湾央・指宿域が低い傾向にあった。

全りん・りん酸態りんとものにはっきりした季節変動がみられ，循環期を迎えた冬季に上昇する傾向にあった。

まれに循環期でない時期に全りん及びりん酸態りんが上昇する 때가あったが，これは主に赤潮が原因であると思われる。

多層採水している地点（基準点1，3及び13）のりん酸態りん及び全りんの経月変化を図14-3に示す。全りん，

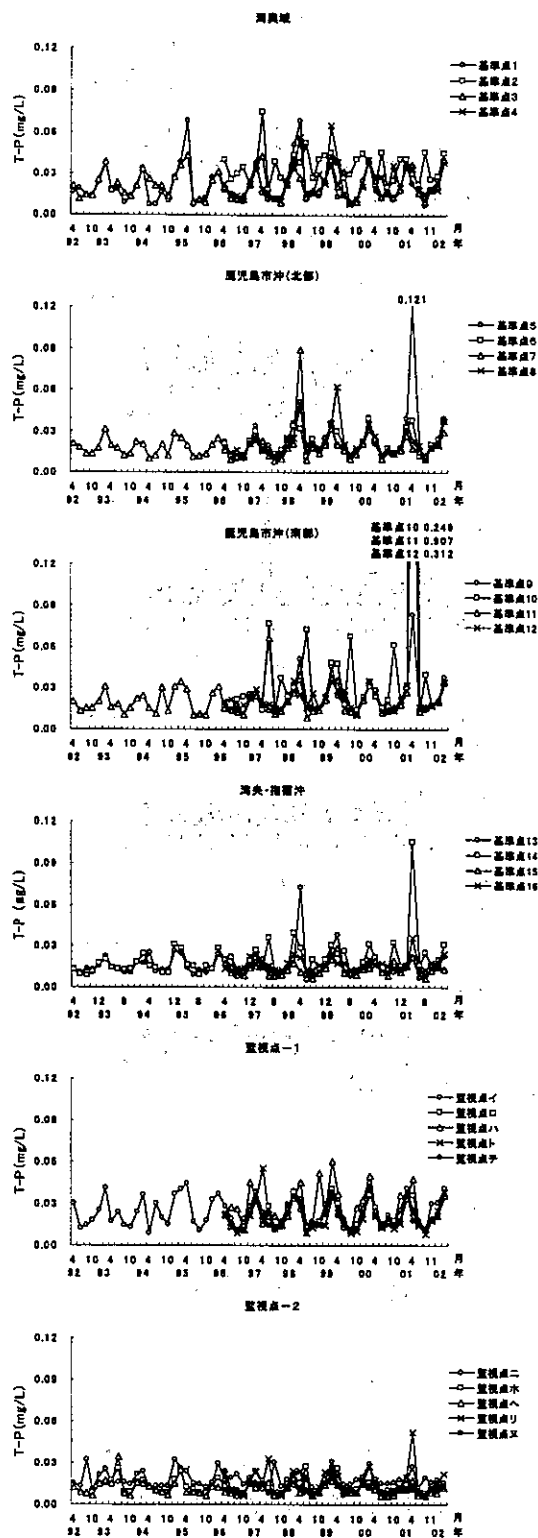


図14-1 全りん経月変化 (表層)

りん酸態りんとも表層同様、はっきりとした季節変動がみられた。全りん、りん酸態りんともに成層期である夏季に表層と最下層の濃度差が大きくなるが、循環期である冬季には表層と最下層の濃度がほぼ一定になる。しかし、基準点13は、水深が深いせいもあり鉛直混合が完全

に行われないことが多く、200m層の全りん、りん酸態りん濃度が上層に比べて高かった。

りんも窒素同様、生物の主要な構成元素である。りん濃度の増加は、プランクトンの増殖要因でもあり、非常に重要な項目である。りん濃度の上昇は、内部生産の増加につながり、結果的にCODの濃度上昇につながるといわれている。よって、近年のCODの環境基準超過原因として、りん濃度の増加に伴う内部生産の増加が要因の一つにあげられる。

#### 4.9 クロロフィルa

クロロフィルaは無機態窒素と同じ地点で測定を行っている。クロロフィルaの経月変化を図15-1に示す。どの地点も季節変動的要素はみられなかった。海域別にみると、鹿児島市沖(北部、南部)がクロロフィルa濃度が高く、湾口域が低い傾向にあった。

多層採水している地点(基準点1, 3及び13)のクロロフィルaの経月変化を図15-2に示す。3地点とも20m層まではクロロフィルaが存在しているが、それより下層では、ほとんどクロロフィルaは検出されなかった。クロロフィルaは、すべての藻類に含まれる光合成色素であり、植物性プランクトン量の日安として用いられていることから、下層では光合成がほとんど行われていないと思われる。

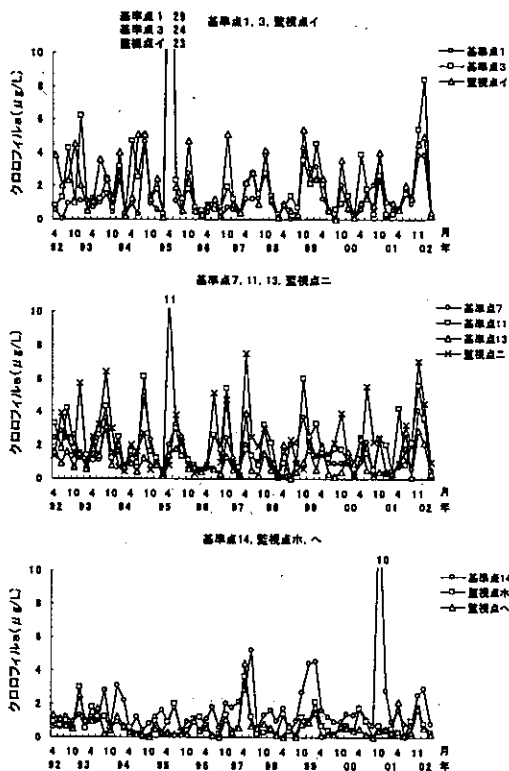


図15-1 クロロフィルa経月変化 (表層)

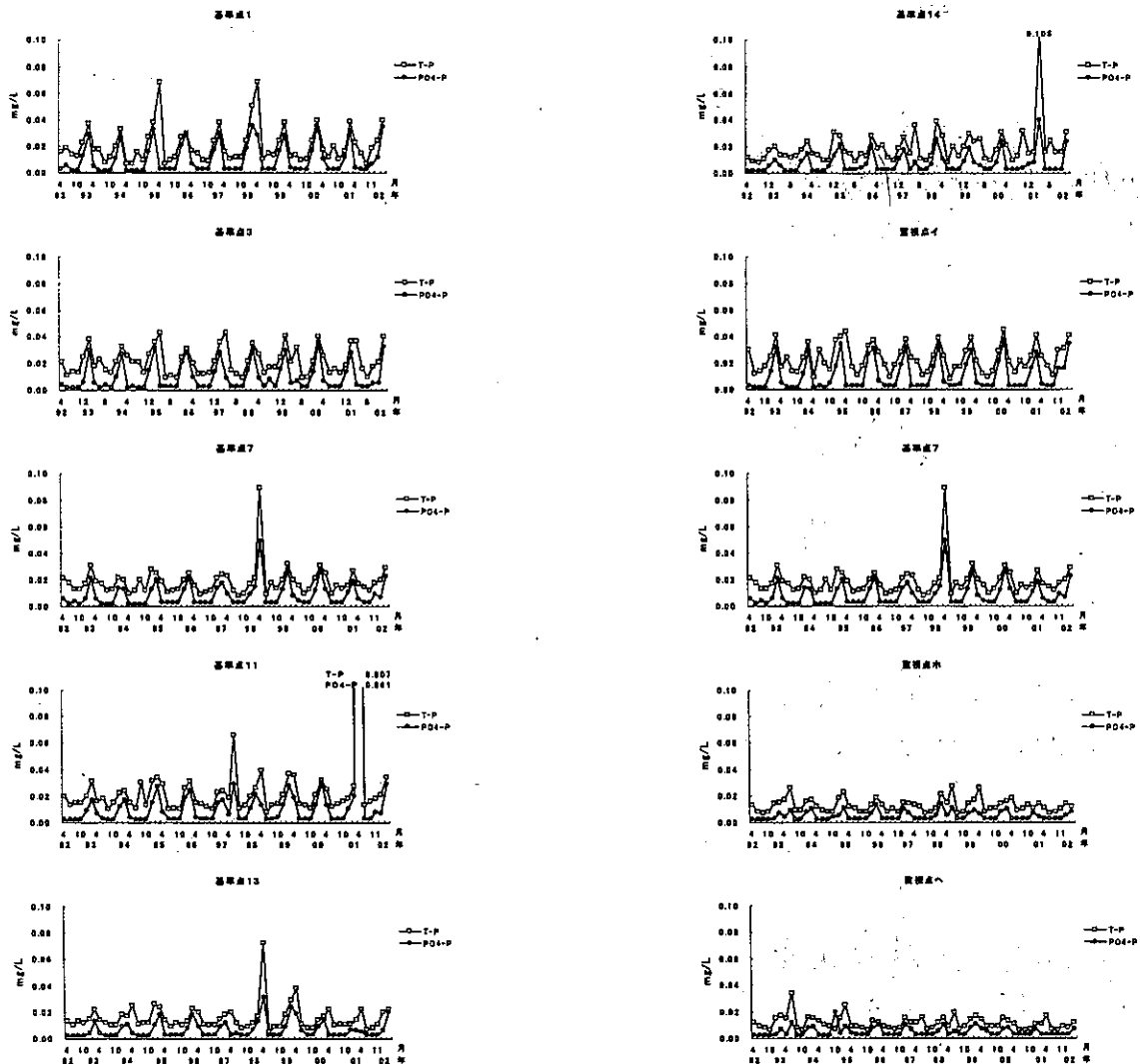


図14-2 リン酸態りん及び全りん経月変化 (表層)

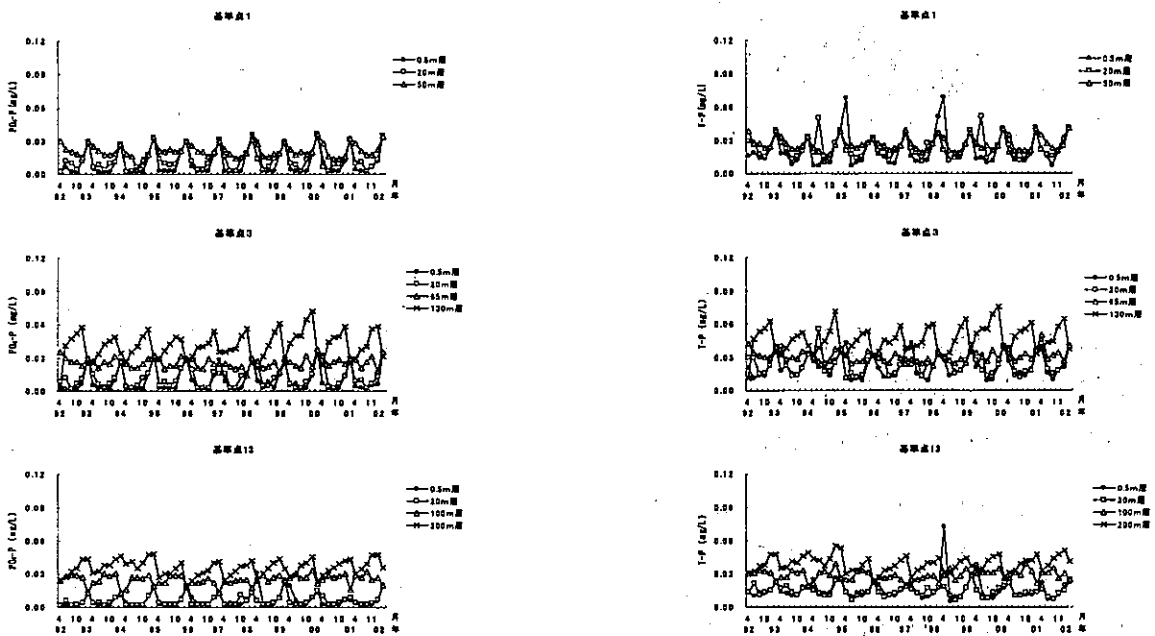


図14-3 リン酸態りん及び全りん経月変化 (基準点1, 3及び13全層)

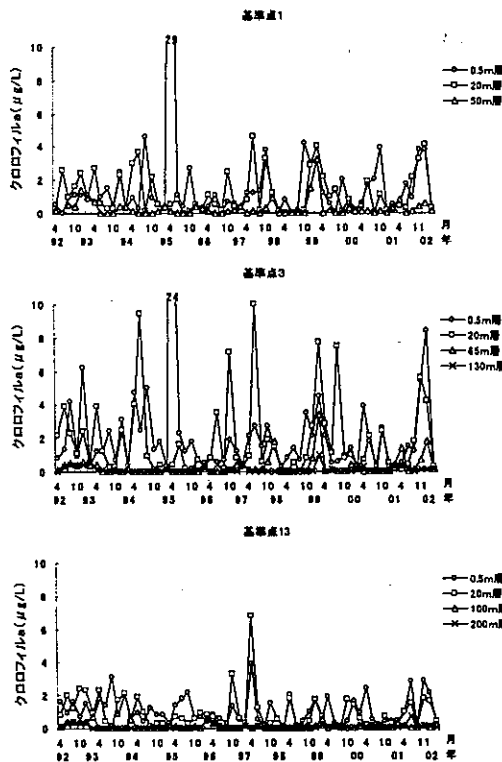


図15-2 クロロフィルa経月変化(基準点1, 3及び13全層)

内部生産CODにクロロフィルaは関係しているといわれている。クロロフィルaと内部生産の関係については、後述する。

#### 4. 10 塩化物イオン

塩化物イオンの経月変化を図16-1に示す。流入河川の影響を受けやすい地点や、降水量の多い夏季に塩化物イオンが低くなる傾向にあった。参考までに、ほとんどの地点で塩化物イオンが低い1993年8月は、「8.6水害」とよばれる、鹿児島県本土に大きな爪痕を残した歴史的豪雨後(8月30日)に採水している。

多層採水している地点(基準点1, 3, 13及び監視点ト)の塩化物イオンの経月変化を図16-2に示す。下層は降水や流入河川の影響をうけないので、塩化物イオン濃度はほぼ一定であった。

### 5 考察

#### 5. 1 内部生産寄与率

CODを支配する要因として、主に陸域からの流入負荷や植物性プランクトンの増殖によるCODの内部生産が考えられる。なかでも、海域における富栄養化の結果として植物性プランクトンの増殖により生産される有機物、すなわち内部生産CODが指摘されている<sup>7)</sup>。しかし、CODの測定だけで内部生産CODは直接求めるこ

とができない。内部生産CODの推定法として最も簡単な方法は、水域で測定した全CODから予測した外部負荷CODを差し引く方法であり、以下の式で示される。

$$\text{内部生産COD} = \text{全COD (実測)} - \text{外部負荷COD (予測)} \dots \text{①}$$

①式で外部負荷COD(予測)を年間のCOD最小濃度(COD<sub>min</sub>)とする方法をΔCOD法という。すなわち、①式は以下の式で示される。

$$\Delta \text{COD (内部生産COD)} = \text{COD (実測)} - \text{COD}_{\text{min}} (\text{年間のCOD最小濃度}) \dots \text{②}$$

この方法では、一般に夏季に高く冬季に低いCODの季節変動は、主に植物性プランクトンの増減に由来するものであり、CODが最小値を示す時期、すなわち冬季には基礎生産はなく、すべてのCODは外部負荷CODで構成されているという仮定のもとで成り立っている。実際にはCOD<sub>min</sub>の時期である冬季にも基礎生産は行われているが、外部負荷CODの年間の平均値がCOD<sub>min</sub>に相当するという仮定に基づいている。CODに占める内部生産CODの割合、すなわち内部生産寄与率は以下の式で示される。

$$\text{内部生産寄与率 (\%)} = \Delta \text{COD} / \text{COD (実測)} \times 100 \dots \text{③}$$

①式から、各地点における平均内部生産寄与率及び最大内部生産寄与率を求めた。地点別内部生産寄与率とCOD<sub>min</sub>の関係を図17に示す。ほとんどの地点でCODが環境基準を超過した1998年度からCOD<sub>min</sub>が上昇傾向であった。しかしながら、ほとんどの地点で平均内部生産寄与率・最大内部生産寄与率ともに、極端な上昇傾向はみられなかった。このことは、1998年度あたりからCODの基礎生産が上昇しているが、内部生産寄与率の減少がないため結果的にCODの増加につながっているといえる。

鹿児島湾全体の平均内部生産寄与率の年度別平均値は29.7%から46.2%の範囲であり、それらをさらに平均すると39.0%であった。同様に、最大内部生産寄与率の年度別平均値は、47.8%から66.3%の範囲であり、それらをさらに平均すると57.9%であった。したがって鹿児島湾では、CODの平均4割が植物性プランクトン増殖による基礎生産由来のものであり、夏季の基礎生産は6割弱を占めていることになる。海域ごとの平均内部生産寄与率及び最大内部生産寄与率の年度別平均値はともに湾奥域、鹿児島市沖(北部)及び鹿児島市沖(南部)が高い傾向にあり、湾央・指宿沖及び港湾域が低い傾向にあ

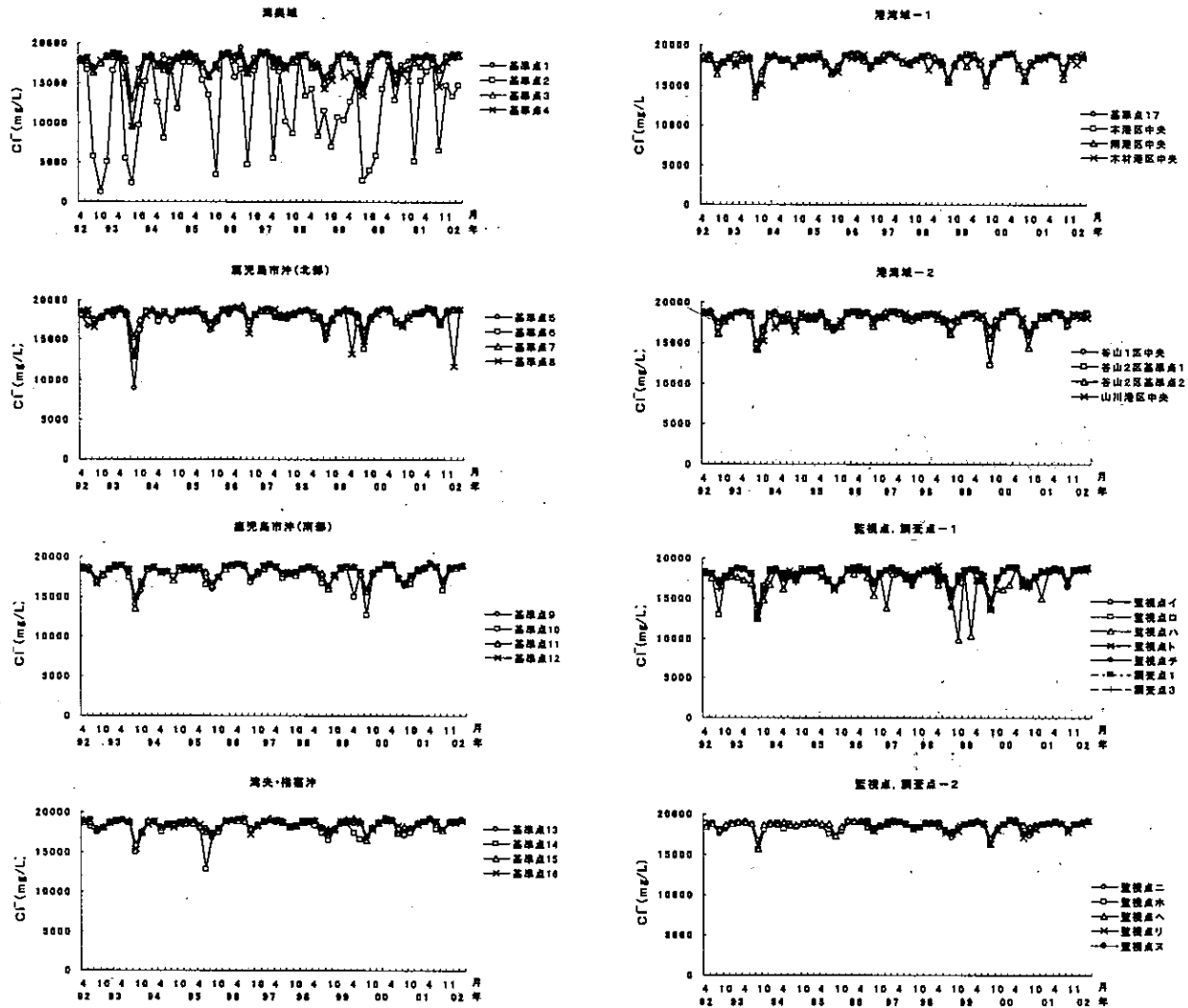


図16-1 塩化物イオン経月変化 (表層)

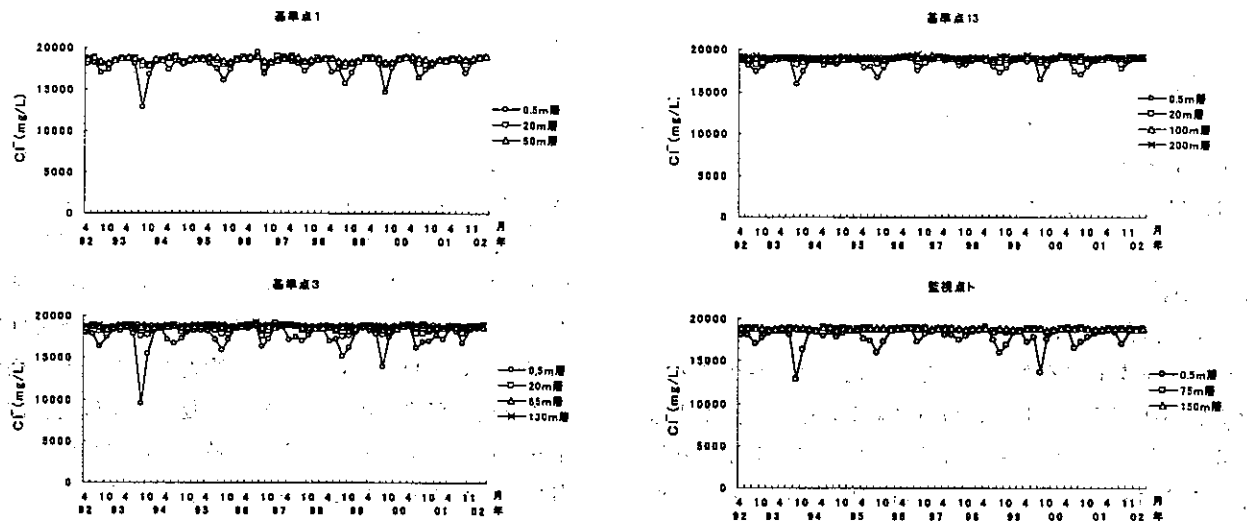


図16-2 塩化物イオン経月変化 (基準点1, 3, 13及び監視点14)

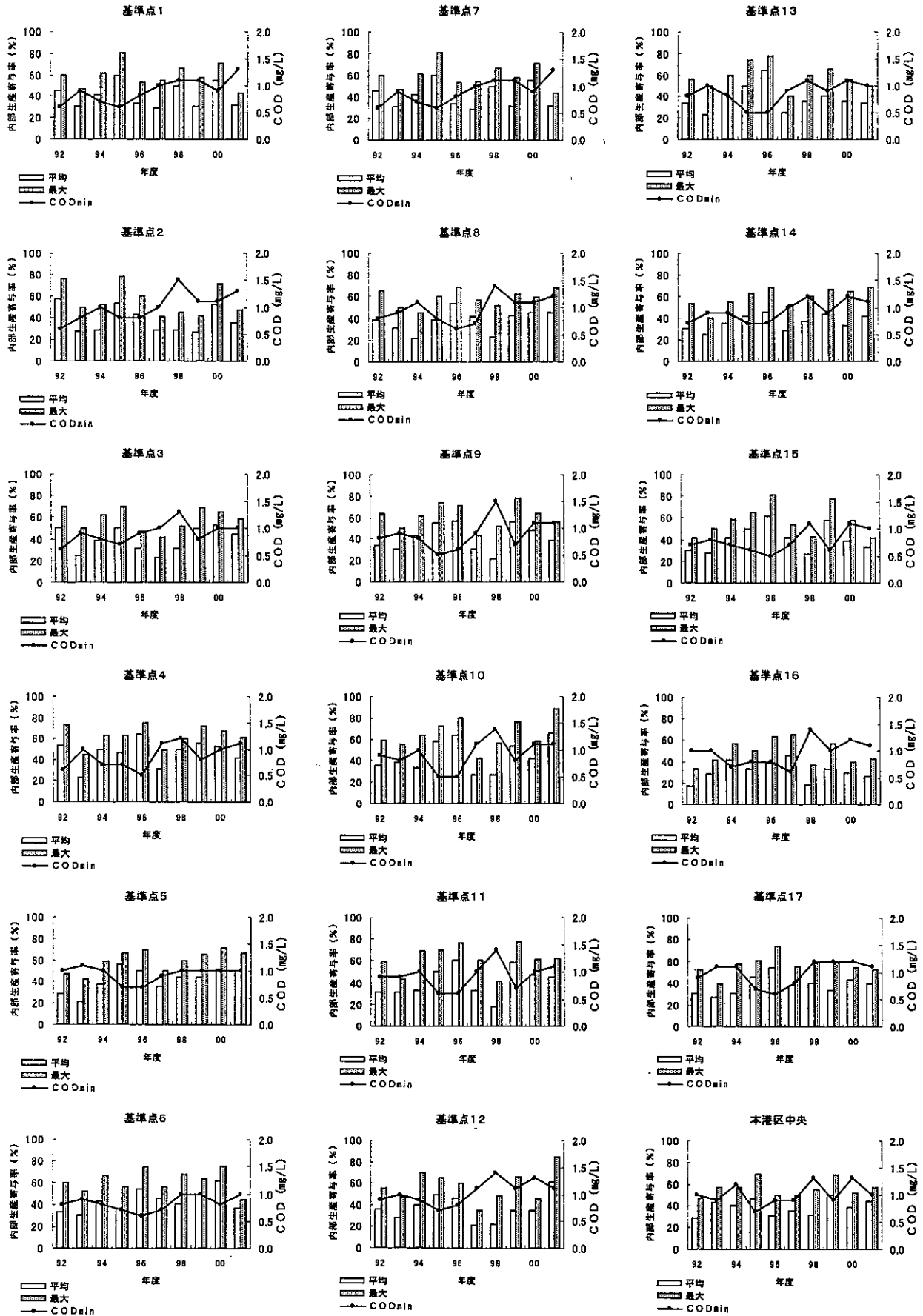


図17 内部生産寄与率とCODminの経年変化 (その1)

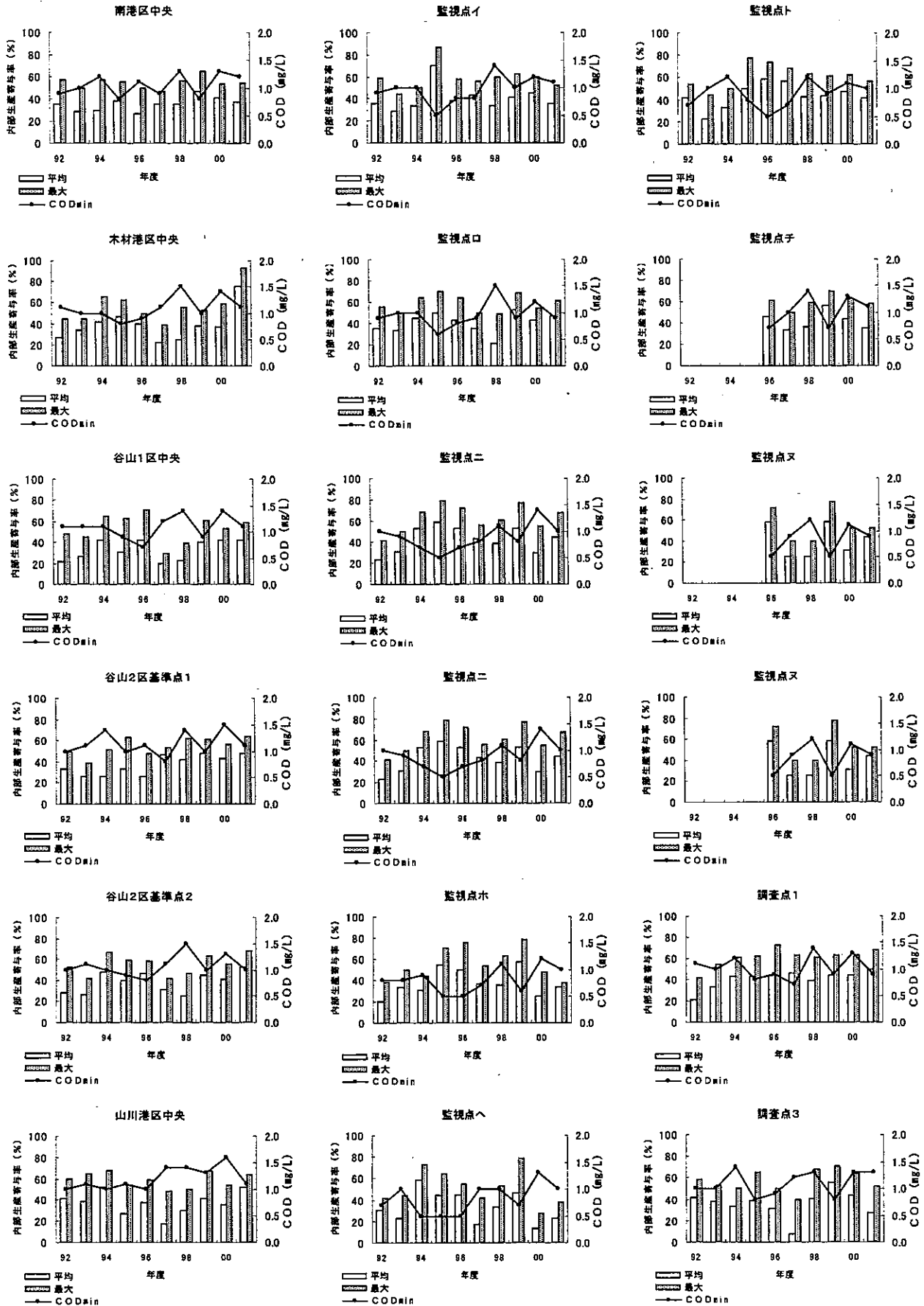


図17 内部生産寄与率とCODminの経年変化 (その2)



った。(表5-1及び5-2)また、平均内部生産寄与率及び最大内部生産寄与率ともにCODとの相関性は高くなかった。

表5-1 海域別平均内部生産寄与率

(単位: %)							
年度	湾奥域	鹿児島前沖 (北部)	鹿児島前沖 (南部)	湾央・ 指宿沖	港湾域	監視点 調査点	全体
1992	51.6	36.6	33.9	27.5	30.8	30.8	34.0
1993	26.5	27.6	32.1	26.0	31.4	31.2	29.7
1994	39.7	35.1	37.4	40.5	38.8	41.0	39.1
1995	52.3	41.1	53.2	43.8	38.5	50.6	46.2
1996	42.8	48.4	57.0	52.6	38.0	45.1	45.8
1997	27.9	36.7	28.0	35.2	30.9	32.9	32.0
1998	40.0	40.2	21.8	29.1	31.3	34.8	33.1
1999	40.9	47.5	50.8	43.6	42.5	48.1	45.8
2000	53.0	55.1	43.0	34.2	39.9	37.0	41.8
2001	38.3	43.2	52.6	33.9	48.7	39.4	42.6
1992-2001平均	41.3	41.1	41.0	36.6	37.1	39.1	39.0

表5-2 海域別最大内部生産寄与率

(単位: %)							
年度	湾奥域	鹿児島前沖 (北部)	鹿児島前沖 (南部)	湾央・ 指宿沖	港湾域	監視点 調査点	全体
1992	69.7	60.2	59.2	46.0	51.5	48.5	54.2
1993	47.9	45.8	49.2	45.3	47.6	49.2	47.8
1994	59.6	58.0	66.2	57.5	61.0	57.7	59.8
1995	72.8	58.2	70.2	62.9	60.9	71.4	66.2
1996	58.8	69.0	71.9	72.7	57.3	64.3	64.4
1997	46.7	49.0	45.3	52.6	45.5	50.5	48.5
1998	55.7	63.0	49.4	49.4	53.0	56.7	54.9
1999	60.1	66.5	74.1	66.6	62.1	68.5	66.3
2000	68.7	70.8	57.1	54.6	54.6	54.9	58.3
2001	52.6	60.7	72.9	50.5	63.9	55.4	58.9
1992-2001平均	59.3	60.3	61.5	55.8	55.7	57.7	57.9

内部生産の増加の要因としては、窒素・リンの増加が一つにあげられる。窒素・リンの増加の要因としては、底質からの溶出や陸域からの流入負荷などが考えられる。

5.2 クロロフィルaと内部生産

内部生産CODが全体の約4割を占めていることから、植物性プランクトン量の目安として用いられるクロロフィルaと内部生産CODは密接な関係にあると推測される。クロロフィルaとCOD及び内部生産CODとの相関を表6に示す。全体でみるとクロロフィルaとCOD及び内部生産CODの間に有意な正の相関が認められたが、各地点でみると基準点1、14及び監視点イ以外ではクロロフィルaとCOD及び内部生産CODの間には相関が認められなかった。このことは鹿児島湾において基準点1、14及び監視点イ以外では植物性プランクトンの増減がCODにあまり反映されていないことを示しており、陸域からの流入負荷等、他の要素が関係していると考えられる。また、地点により相違があるが、クロロフィルaとの相関は、CODも内部生産CODもほぼ同程度であった。

植物性プランクトン増殖が盛んに行われる夏季にはDO飽和率が高くなる(図11-1)。DO飽和率とCOD及び内部生産CODとの相関をとって見たが、どの地点も有意な相関が認められた(表7)。

表6 クロロフィルaとの相関 (n=60, \*p<0.01)

	COD	内部生産COD
基準点1	0.339*	0.401*
基準点3	0.247	0.291
基準点7	0.130	0.136
基準点11	0.287	0.287
基準点13	0.044	0.009
基準点14	0.392*	0.333*
監視点イ	0.434*	0.525*
監視点二	0.299	0.284
監視点ホ	0.025	0.011
監視点ハ	0.082	0.000
全体	0.306*	0.313*

表7 DO飽和率との相関 (n=60, \*p<0.01)

	COD	内部生産COD
基準点1	0.437*	0.474*
基準点3	0.567*	0.570*
基準点7	0.581*	0.577*
基準点11	0.618*	0.638*
基準点13	0.564*	0.618*
基準点14	0.437*	0.489*
監視点イ	0.576*	0.616*
監視点二	0.729*	0.774*
監視点ホ	0.465*	0.511*
監視点ハ	0.429*	0.463*
全体	0.532*	0.565*

5.3 水温・気温とCOD

図18に水温とCODの相関を示す。基準点2及び木材港区中央以外の地点で有意な正の相関が認められた。基準点2は流入河川の影響を最も受けやすい地点であるため、また、木材港区中央は、2001年4月のCODが大きいため相関係数が低かったものと推測される。また、鹿児島湾全体でみると有意な正の相関が認められた(n=2268, r=0.462)。ほとんどの地点で水温のパターンとCODのパターンがよく一致しており、水温が上昇するとCODも高くなる、という傾向がみられた。

水温に一番影響を及ぼす要因は、気温である。平均気温と鹿児島湾の代表的な基準点である基準点3、13の関係を図19に示す。なお、平均気温のデータは鹿児島県気象月報より鹿児島島の気温を用いた。水温同様、気温のパターンとCODのパターンは一致していた。図20に1992

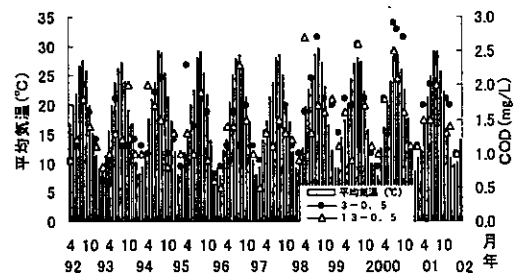


図19 平均気温とCODの関係

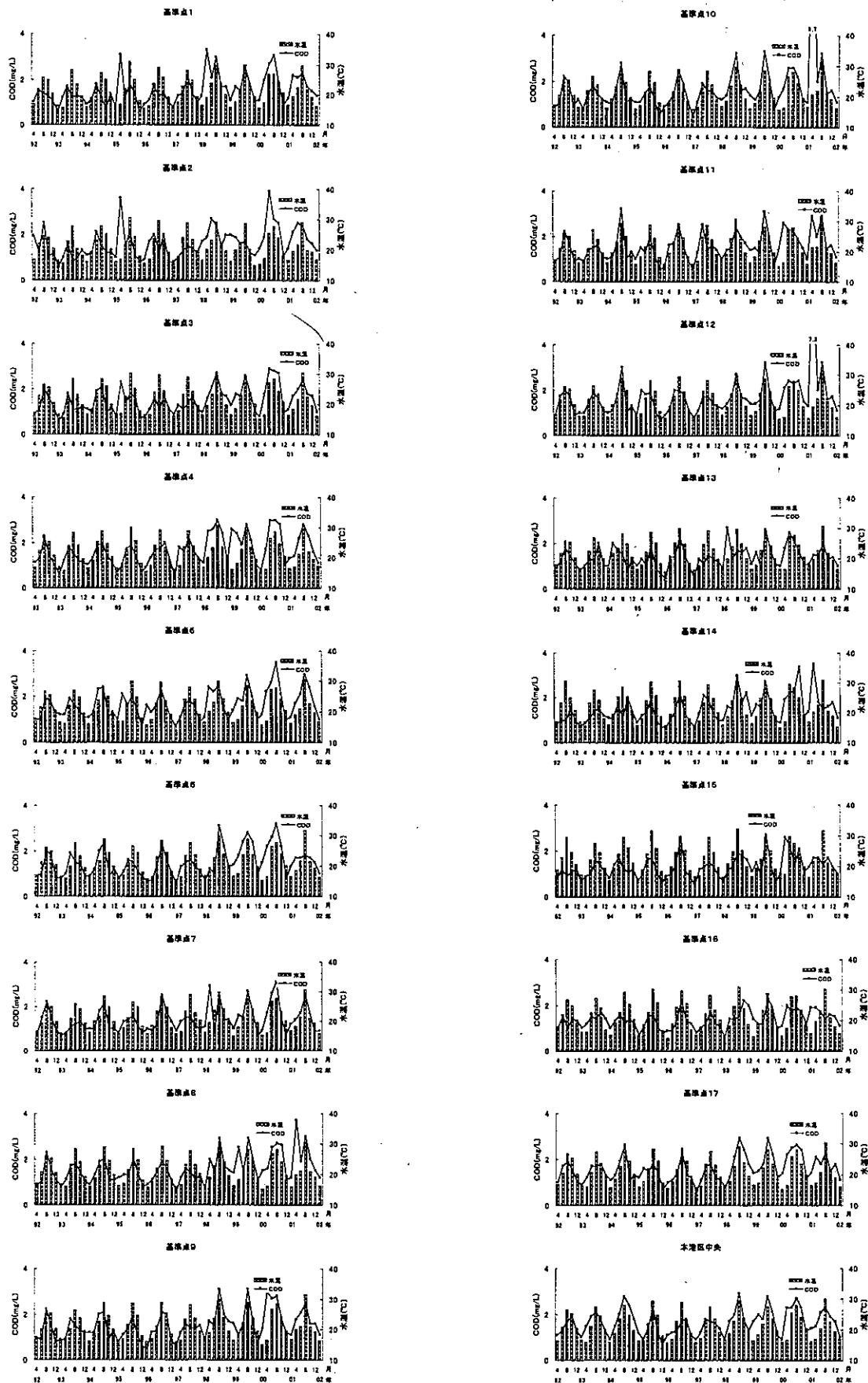


図18 水温とCOD経月変化 (その1)

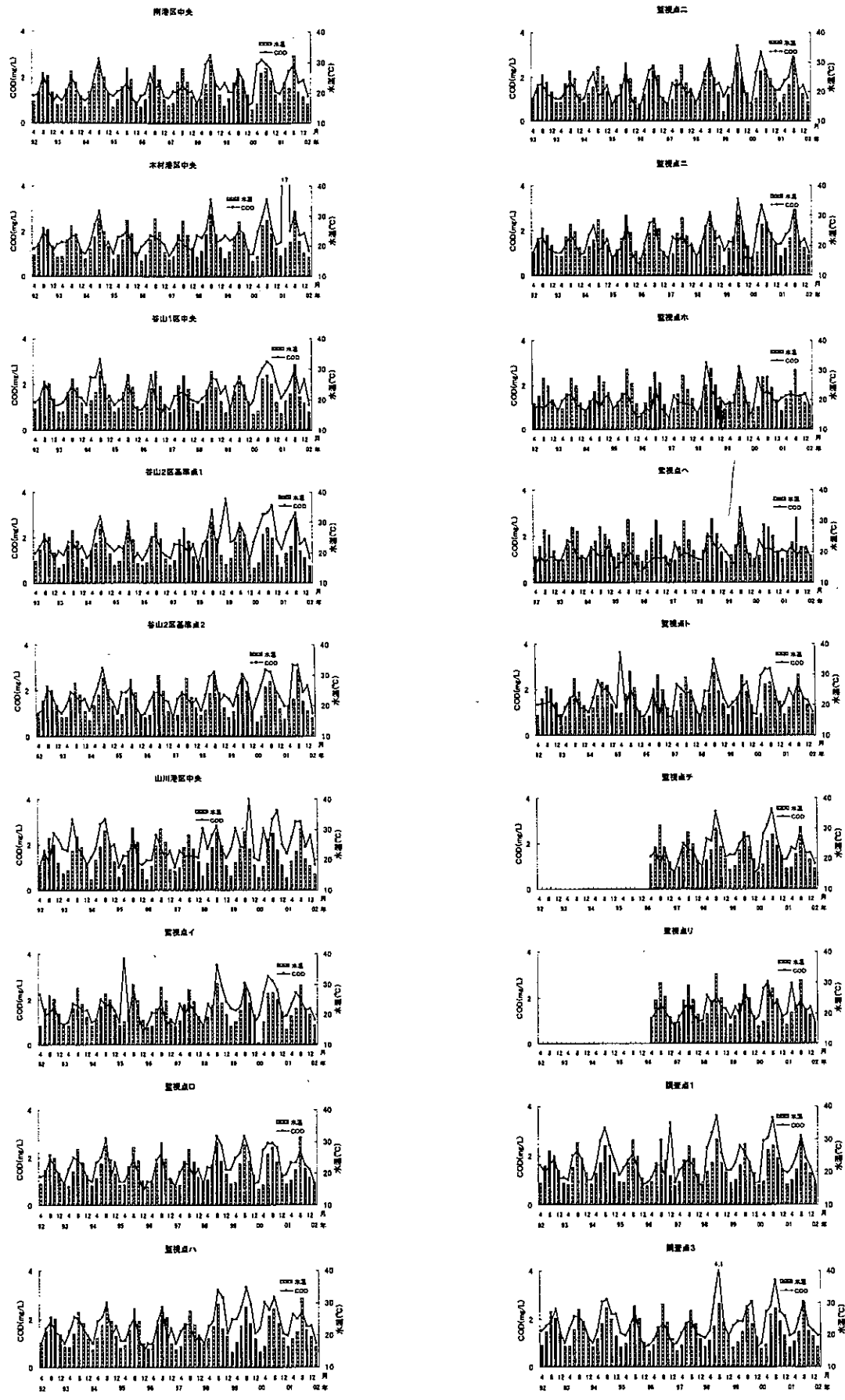


図18 水温とCOD経月変化 (その2)

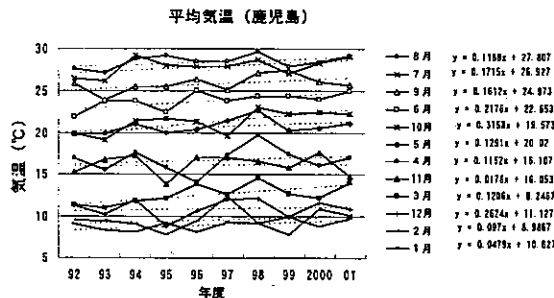


図20 平均気温経年変化

年度から2001年度までの月別平均気温を示す。気温はどの月も漸次上昇傾向にあり、近年の地球温暖化を象徴する結果であった。

上記より、気温が上昇したことにより水温が上昇し、CODの上昇につながっていると推測される。

5. 4 降水量とCOD

表8に調査日前7日間総雨量、3日間総雨量、2日間総雨量及び1日間総雨量とCODの相関を示す。猪狩ら<sup>8)</sup>は、降水量が多くなってもCODが高くなるとは限ら

表8 降水量とCODの相関

(n=60, \* p<0.01)

地点名	総雨量計	7日間 累計	3日間 累計	2日間 累計	1日間 累計
基準点1		0.282	0.324	0.362*	0.401*
基準点2		0.206	0.177	0.206	0.297
基準点3		0.294	0.186	0.168	0.155
基準点4		0.301	0.291	0.205	0.077
基準点5		0.157	0.219	0.210	0.126
基準点6		0.222	0.197	0.084	0.146
基準点7		0.139	0.362*	0.371*	0.233
基準点8		0.080	0.217	0.189	0.163
基準点9		0.197	0.255	0.166	0.197
基準点10		-0.003	0.048	0.011	0.048
基準点11		0.148	0.184	0.058	0.151
基準点12		0.061	0.054	0.004	0.070
基準点13		0.222	0.272	0.278	0.153
基準点14		0.010	0.067	-0.019	-0.034
基準点15		0.030	0.056	-0.067	-0.018
基準点16		-0.042	-0.182	-0.268	-0.191
基準点17		0.245	0.204	0.052	0.114
本港区中央		0.131	0.202	0.082	0.066
南港区中央		0.111	0.192	0.075	0.124
木材港区中央		-0.022	0.007	-0.008	0.009
谷山1区中央		0.242	0.105	-0.019	0.066
谷山2区基準点1		0.010	0.067	-0.001	0.041
谷山2区基準点2		0.150	-0.151	0.099	0.127
山川港区中央		0.043	-0.098	-0.146	-0.004
監視点イ		0.317	0.235	0.116	0.235
監視点ロ		0.296	0.263	0.113	0.133
監視点ハ		0.300	0.227	0.066	0.079
監視点ニ		-0.026	-0.018	-0.048	-0.110
監視点ホ		0.044	0.044	-0.040	-0.029
監視点ヘ		-0.036	0.093	-0.153	-0.036
監視点ト		0.307	0.219	0.168	0.293
監視点チ		0.376*	0.288	0.169	0.118
監視点リ		0.208	0.225	0.218	0.168
監視点ヌ		0.002	0.046	-0.281	-0.279
調査点1		0.220	0.280	0.163	0.067

なかったとしているが、今回の報告でもほぼ同様な結果が得られた。また、地点毎にみても、湾奥部の相関係数が高く、港湾部の相関係数が低い傾向にあった。港湾部の相関係数が低い理由として、流域面積の小さい閉鎖性の湾では降水量が増えると流入負荷で水質汚濁する効果と降水による希釈効果が行われて、相関係数が低く降水量が増えてもCODは増加しないと考えられる。また、調査日前総雨量の日数による差異も地点により様でなく、傾向がつかめなかった。なお、降水量は鹿児島県気象月報より、下記の地点の降水量を用いた。

- 基準点1, 監視点イ, ト : 牧之原
- 基準点2~4, 監視点チ : 溝辺
- 基準点5~13, 17, 山川港区中央を除く港湾域, 監視点ロ, ハ, 調査点 : 鹿児島
- 監視点ニ : 高峠
- 基準点14, 監視点リ : 喜入
- 基準点15 : 鹿屋
- 基準点16, 山川港区中央, 監視点ホ : 指宿
- 監視点ヘ, ヌ : 田代

6 まとめ

鹿児島湾の水質を調査したところ、以下のようなことがわかった。

- 1) 表層CODは全体的に夏季に増加し、冬季に減少する傾向にあった。湾奥部及び鹿児島市沖（北部、南部）が環境基準を超過する傾向にあった。
- 2) 表層水温は夏季に上昇し、冬季に減少する明確な季節変動がみられた。また、長期的にみると上昇傾向にあった。
- 3) 透明度は湾央・指宿沖で高く、湾奥域及び鹿児島市沖（北部、南部）が低い傾向にあった。
- 4) 水色は、夏季に大きくなり、冬季に小さくなる傾向にあった。
- 5) pHは夏季に高くなり、冬季に低くなる傾向にあった。夏季には炭酸同化作用の影響で環境基準の範囲をはずれることがしばしばみられた。
- 6) DOは、夏季に過飽和状態になりやすく冬季にDO飽和率が100%を割る傾向にあり、経月変化も春季から夏季にかけて増加し秋季から冬季にかけて減少していくが、環境基準は夏季に未達成な状態がしばしばみられた。
- 7) 大腸菌群数は流入河川の影響を受けやすい地点で環境基準を超過することが多かった。
- 8) 全窒素は流入河川の影響を受けやすい地点で環境基準を超過することが多かった。また、季節変動的要素

はみうけられられなかった。鹿児島市沖が高く、湾央・指宿沖で低かった。

- 9) アンモニア態窒素は赤潮等の影響により高い値を示すときがあった。亜硝酸態窒素はほとんど報告下限値未満であった。硝酸態窒素は冬季に増加し、以後減少していくといった季節変動がみられた。
- 10) 全りんは流入河川の影響を受けやすい地点で環境基準を超過することが多かった。循環期を迎える冬期に濃度が上昇し、以後減少していくという季節変動がみられた。また、鹿児島市沖が高く、湾央・指宿沖で低かった。
- 11) りん酸態りんは循環期を迎える冬期に濃度が上昇し、以後減少していくという全りんと同様の傾向を示した。
- 12) クロロフィルaは鹿児島市沖が高く、湾央・指宿沖で低かった。また、季節変動的要素はみうけられなかった。
- 13) CODが環境基準を超過した理由として、内部生産の増加があげられるが、内部生産の増加の要因としてCOD<sub>min</sub>の上昇が関係していた。
- 14) ΔCOD法で計算した結果、鹿児島湾のCODの約4割が植物プランクトン増殖に由来する内部生産CODであった。
- 15) 海域全体でみると、内部生産と密接な関係にあると推測されるクロロフィルaとCODの相関係数は認められ、クロロフィルaが内部生産増加の要因として関係していると推測された。
- 16) 水温とCODの間に有意な正の相関が認められ、水温の上昇がCODの増加の要因の一つであった。
- 17) 降水量とCODの相関は低く、COD増加の要因としては認められなかった。

## 7 おわりに

今回、鹿児島湾のCOD環境基準未達成要因として内部生産・降水量・水温を中心に解析を行ったが、他の要素として流入負荷・底質からの窒素・りん溶出などが考えられる。また、平面的な解析を中心に行ったために鉛直方向の解析等を行い、さらにCOD環境基準超過要因を解明する必要がある。

## 参考文献

- 1) 鹿児島県；鹿児島湾水質環境管理計画（1979年5月）
- 2) 鹿児島県；第2期鹿児島湾水質環境管理計画（1986年3月）
- 3) 鹿児島県；第3期鹿児島湾水質環境管理計画（1995年3月）
- 4) 鹿児島県；市町村別・年次別人口及び世帯数の推移（昭和10年～平成13年）（平成14年3月）
- 5) 鹿児島県；公共用水域及び地下水の水質測定結果（平成4年度～12年度）
- 6) 鹿児島県；鹿児島湾の水銀に係る環境調査報告書（昭和53年6月）
- 7) 中西弘；海域の富栄養化の機構と予測，環境管理，30，276～281（1994）
- 8) 猪狩忠光，犬童新六，他；鹿児島湾における化学的酸素要求量と調査月，降雨量，栄養塩，クロロフィルaとの関連性について，鹿児島県環境センター所報，9，118～123（1993）

## Water Quality of Kagoshima Bay and Factors of Exceeding the Environmental Standards Regarding Chemical Oxygen Demand

Daisuke OBA, Kaneharu NAKAO, Yoshio TAHARA  
Yoshio HORINOKUCHI

(Kagoshima Prefectural Institute of Environmental Research and Public Health, 18 Jonan-cho  
Kagoshima-shi, 892-0835, JAPAN)

### Abstract

We researched about water quality of kagoshima bay from 1992 to 2001. As a consequence, we found that the water quality get recognition on the rise of COD, nitrogen, and phosphorus. Especially exceeding the environmental standards regarding COD was for the fourth year in a row from 1998, so that we make a study of it on factor. Consequently it would appear that exceeding the environmental standards regarding COD is concerning to increasing autochthonous production and increasing water temperature of kagoshima bay. It would appear that increasing autochthonous production is involved of rising of CODmin, chlorophyll a and water temperature. And we thought that autochthonous production is derived from COD of kagoshima bay four out of ten.

Key words : COD, environmental standards, autochthonous production, CODmin, water temperature