

1 1) 有明海・八代海重点調査結果

－水質，底質，栄養塩の溶出速度について－

大津 一哲 中堀 靖範 有村 友希 和久田 俊裕* 上本 清次

要 旨

平成 21～23 年度に有明海・八代海の各 10 地点で水質調査を行った結果，全窒素，全燐について，多くの地点で夏季に高い傾向を示した。溶存酸素については，夏季に有明海で 4.7 mg/L，八代海で 4.2 mg/L の地点が見られ，貧酸素に近い状況が確認された。また，底質の間隙水と底質直上水の栄養塩濃度を測定し，拡散方程式から溶出速度を算出した結果，平均で有明海は三態窒素が 8.3 mg/m²/d，リン酸態リンが 0.32 mg/m²/d，八代海は三態窒素が 7.9 mg/m²/d，リン酸態リンが 0.32 mg/m²/d の速度で溶出しており，海域水中への負荷の一因になっていると考えられた。

キーワード: 有明海, 八代海, 全窒素, 全燐, 溶出速度

はじめに

近年，有明海及び八代海にて COD や全燐について環境基準未達成となる海域が確認されており，平成 19～23 年度の 5 年度間の有明海・八代海の水質環境基準達成率は，COD は 68.4～89.5%，全燐は 50.0～71.4% で推移している。なお，全窒素は 100% の達成状況を維持している。

本県では，平成 14 年 11 月の「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」の施行を受け，「有明海・八代海再生に向けた熊本県計画」を策定し，有明海及び八代海的环境改善等を目指した取組を推進しているところである。

このような状況下で，両海域での環境基準超過のメカニズム，要因検証に資する基礎データの蓄積を目的とし，平成 21 年度から水質環境重点調査事業を実施した。今回，これらの結果について解析を加え，知見が得られたので報告する。

調査方法

1 調査地点

調査地点は，有明海及び八代海の環境基準点を主と

し選定した。有明海では，沿岸部の比較的水深が浅い St-1 (荒尾地先) から K-12 (熊本地先) までの 7 地点と，沖合の K-20 (岱明沖) から K-11 (熊本港沖) の 3 地点の計 10 地点を調査地点とした。八代海においても，比較的水深が浅い，湾奥で北部の St-9 (松合港地先) から St-8 (球磨川河口) までの 7 地点と，八代海南部の St-18 (田浦沖) から St-20 (栖本湾沖) の 3 地点の計 10 地点を調査地点とした。それぞれの調査地点を図 1～2 に示した。

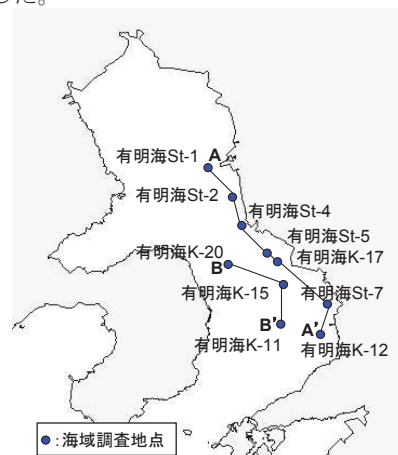


図 1 調査地点 (有明海)

* 現熊本県環境生活部環境局環境保全課



図2 調査地点（八代海）

2 水質調査

水質試料は、船上からバンドーン採水器を用いて表層（水深0.5 m）から底層（海底から0.5 m上）まで、水深に合わせ鉛直方向に2~7点で採水を行った。調査日及び調査項目等の概要を表1~2に、各調査地点での調査水深及び平均水深を表3~4に示した。また、各調査項目の測定方法を表5に示した。

表1 水質調査項目等（有明海）

調査地点	有明海St-1,2,4,5,7 有明海K-11,12,15,17,20
調査日	平成23年 2月24日, 3月17日, 8月9日, 9月14日
調査項目	pH,水温,塩分,DO,COD,SS,クロロフィルa,全窒素,全燐, NO ₂ -N,NO ₃ -N,NH ₄ -N,PO ₄ -P

表2 水質調査概要（八代海）

調査地点	八代海St-9,10,17,18,19 ^{※1} ,20 ^{※1} 八代地先St-6,7,8 St-35
調査日	平成21年 7月23日, 7月29日, 8月20日, 8月27日, 9月18日, 9月25日, 10月26日, 11月9日, 12月9日, 12月16日 ^{※2} 平成22年 1月7日, 1月15日 ^{※2} , 2月5日, 2月12日 ^{※2} , 3月1日, 3月15日 平成23年 2月24日, 3月17日, 8月9日, 9月14日
調査項目	pH,水温,塩分,DO,COD,SS,クロロフィルa,全窒素,全燐, NO ₂ -N,NO ₃ -N,NH ₄ -N,PO ₄ -P

※1 平成23年のみ調査を実施

※2 八代海St-18,八代地先St-8,St-35のみ調査を実施

表3 調査水深（有明海）

	調査水深 (m)							平均水深 (m)
	0.5	2	5	10	20	30	B	
有明海 St-1	○	○	○	○			○	16.1
有明海 St-2	○						○	1.5
有明海 St-4	○	○	○				○	7.4
有明海 St-5	○	○	○	○			○	11.8
有明海 K-17	○	○	○	○			○	11.7
有明海 St-7	○	○					○	4.3
有明海 K-12	○	○					○	5.0
有明海 K-20	○	○	○	○	○	○	○	38.5
有明海 K-15	○	○	○	○			○	14.4
有明海 K-11	○	○	○	○			○	21.9

水深B: 海底から0.5m上の地点で採水

表4 調査水深（八代海）

	調査水深 (m)							平均水深 (m)	
	0.5	2	5	10	20	30	40		B
八代海 St-9	○	○						○	3.9
八代海 St-10	○	△						○	3.8
八代海 St-17	○	○	○					○	8.8
八代地先 St-6	○	○	○					○	8.4
八代地先 St-7	○	○	○					○	10.4
St-35	○	○	○					○	9.1
八代地先 St-8	○							○	2.0
八代海 St-18	○	△	○	○	○	△		○	33.2
八代海 St-19	○		○	○	○	○		○	38.6
八代海 St-20	○		○	○	○	○	○	○	47.1

水深B: 海底から0.5m上の地点で採水

△: H21,22年のみ調査実施

表5 測定方法

項目	測定方法
pH	JIS K0102 12.1 ガラス電極法
塩分	海洋観測指針 5.3 サリノメータ法
DO	JIS K0102 32.1 ウィンクラー・アジ化ナトリウム法
COD	JIS K0102 17 過マンガン酸カリウム法
SS	JIS K0102 14 懸濁物質
クロロフィルa	アセトン抽出吸光度法
全窒素,全燐, NO ₂ -N,NO ₃ -N, NH ₄ -N,PO ₄ -P	JIS K0102 に基づくオートアナライザー法

3 底質調査

底質試料は、エグマンバージ採泥器により採取を行い、2 mm メッシュのふるいにかけてものを試料とした。調査日及び調査項目等の概要を表6に示した。各調査項目は、底質調査方法（昭和 63 年環水管第 127 号）に基づき分析を行った。

表6 底質調査

調査地点	有明海St-1,2,4,5,7 有明海K-11,12,15,17,20 八代海St-9,10,17,18,19,20 八代地先St-6,7,8 St-35
調査日	平成23年 2月24日, 3月17日, 8月9日, 9月14日
調査項目	COD,全硫化物,強熱減量, 全窒素,全燐,ORP,粒度組成

4 底質からの溶出速度調査

底質からの窒素・燐の溶出速度を算出するため、底質の直上水及び底質間隙水測定用の底質試料を採取した。これらは、底質の巻き上げや拡散が起らないよう「3 底質調査」の検体とは別に、潜水したダイバーによる直接採取を行った。底質の間隙水は、底質の表層 1 cm までの部分を 10,000 rpm で 5 分間遠心分離し、その上澄みを試料とした。調査日及び調査項目等の概要を表7に示した。各項目の分析方法は「2 水質調査」と同様である。

表 7 底質からの溶出速度調査

調査地点	有明海St-1,2,4,5,7 有明海K-11,12,15,17,20 八代海St-9,10,17,18,19,20 八代地先St-6,7,8 St-35
調査日	平成23年 2月24日, 3月17日, 8月9日, 9月14日
調査項目	直上水・ 間隙水 NO ₂ -N,NO ₃ -N,NH ₄ -N,PO ₄ -P

結果と考察

1 水質調査結果

有明海及び八代海の COD, 全窒素 (以下, T-N という。), 全燐 (以下, T-P という。), DO, クロロフィル a (以下, Chl-a という。), SS, 塩分の結果を付表 1~2 に示した。

有明海において COD は St-7 の 3.8 mg/l (H23.8.9 水深 3.4 m 底層) が最高値であった。T-N は K-20 の 0.88 mg/l (H23.9.14 水深 2 m), T-P は St-7 の 0.12 mg/l (H23.8.9 水深 3.4m 底層) が最高値であった。T-N, T-P については, 夏季に高く, 冬季に低い傾向であった。全地点, 全水深での平均値は, COD が 2.1 mg/l, T-N が 0.22 mg/l, T-P が 0.037 mg/l であった。

八代海において COD は St-10 の 3.6 mg/l (H23.8.9 水深 0.5 m) が最高値であった。T-N は St-6 の 0.80 mg/l (H21.7.23 水深 0.5 m), T-P は St-9 の 0.16 mg/l (H23.8.9 水深 2.0 m 底層) が最高値であった。有明海同様に, T-N, T-P については, 夏季に高い傾向であった。また, 湾奥に行くほど, これら項目の濃度が高くなる傾向が見られ, T-N の平均値では St-10 の水深 2 m が 0.35 mg/l, T-P の平均値では St-9 の表層が 0.078 mg/l と最も高かった。全地点, 全水深での平均値は, COD が 1.9 mg/l, T-N が 0.22 mg/l, T-P が 0.037 mg/l であった。

各地点の深度毎の水質分析結果から, 図 1~2 に示した A-A', B-B', C-C', D-D' での代表的な濃度カウンター図 (使用ソフト Graph R) を付図 1~10 に示した。

有明海 A-A' 断面

H23.8.9 (夏季) の分析結果を付図 1 に示した。T-N, T-P が冬季に比べ高い値を示した。St-7 においては Chl-a が水深 0.5 m で 41 μg/l であった。当日の有明海全地点の Chl-a 濃度平均値は 7.4 μg/l であり, 他地点と比較し植物プランクトンが多く発生していたと考えられる。また, 同地点の DO の値も高く, 植物プランクトンの光合成による酸素の供給があったと推測される。DO は水深が深くなるに従い低くなる傾向が見られ, K-17 の底層では 4.7 mg/l と, 一般的に貧酸素状態と言われる 4 mg/l 以下ではなかったものの低い値を示

した。

H23.2.24 (冬季) の結果を付図 2 に示した。H23.8.9 (夏季) よりも低い値を示しており, コンター図からもその様子が伺えた。

有明海 B-B' 断面

H23.8.9 の分析結果を付図 3 に示した。同日の, より沿岸に近い A-A' 断面の地点より COD, T-N, T-P は低い値を示した。DO は水深が深くなるに従い低くなる傾向が見られ, K-20 の底層では 5.4 mg/l, K-11 の底層では 5.1 mg/l であった。

H23.2.24 (冬季) の結果を付図 4 に示した。こちらにも, T-N, T-P とも夏季に比べ低い値であり, 塩分や水温も採水地点による差は少なかった。

八代海 C-C' 断面

H21.7.23 及び H21.7.29 (夏季) の分析結果を付図 5~6 に示した。T-N, T-P については, 湾奥部で高い値を示していた。H21.7.29 においては, 表層付近の Chl-a の濃度が高く, 最高値は 56 μg/l (St-10 水深 0.5 m) であり, 植物プランクトンが多く発生していたと考えられる。DO も高濃度で観測されており, これら植物プランクトンの光合成により酸素が供給されていたと考えられる。しかし, 下層に行くに従い DO は低くなっており, St-17 の底層では最も低く 4.2 mg/l であり, その他の地点でも約 4~5 mg/l の値が見られた。

また, 塩分は, 八代海湾奥部や, 球磨川河口において低く, 湾奥部の St-9, St-10 ではこの両日とも 20‰ の低い塩分が見られた。

H23.8.4 (夏季) の分析結果を付図 7 に示した。前述した H21.7.23, H21.7.29 の調査日ほどではないが, 湾奥部で塩分が低く, St-9 の水深 0.5 m で 27‰ であった。T-N, T-P についても, 他地点と比較し, 湾奥部で高い傾向であった。

H23.2.24 (冬季) の分析結果を付図 8 に示した。T-N, T-P 等については, 他地点と比較すると湾奥部が高いものの, 夏季に比べ低い濃度であった。塩分や水温も採水地点による差は少なかった。

八代海 D-D' 断面

H23.8.9 (夏季) と H23.2.24 (冬季) の分析結果をそれぞれ付図 9~10 に示した。これらの地点では COD, T-N, T-P 等で高い値を示すものは無く, 夏季・冬季でも大きな違いはなかった。近くに負荷量の大きな河川が少ないことや, 八代海の湾奥に比べ外海の海水との交換 (希釈) も起こりやすいためと考えられた。

2 底質調査結果

底質の分析結果を表 8 に示した（網掛けは各海域で最も高濃度を示した地点）。有明海では St-4 で、八代海については湾奥部である St-9 で、他地点と比較し全項目に渡って高い濃度がみられた。

表 8 底質分析結果（平均値）

	COD (mg/g)	全硫化物 (mg/g)	強熱減量 (%)	全窒素 (mg/g)	全燐 (mg/g)	泥比率 [%]
有明海 St-1	2.6	0.19	6.0	0.54	0.50	17.3
有明海 St-2	1.8	0.18	4.1	0.32	0.41	13.4
有明海 St-4	6.9	0.42	9.8	1.6	0.80	91.5
有明海 St-5	4.7	0.34	9.3	1.5	0.73	49.5
有明海 K-17	5.9	0.39	9.1	1.3	0.67	55.7
有明海 St-7	5.2	0.23	7.7	1.8	0.83	85.9
有明海 K-12	4.1	0.21	5.2	0.91	0.58	43.1
有明海 K-20	1.3	0.03	3.7	0.21	0.46	5.8
有明海 K-15	5.8	0.30	9.3	1.5	0.72	73.7
有明海 K-11	4.1	0.33	8.4	1.1	0.67	78.3
八代海 St-9	8.5	0.40	10.1	1.6	0.92	94.4
八代海 St-10	5.6	0.23	7.9	1.4	0.65	79.4
八代海 St-17	6.9	0.39	9.3	1.5	0.73	99.1
八代地先 St-6	6.2	0.30	8.9	1.7	0.75	97.4
八代地先 St-7	5.6	0.23	7.1	1.3	0.57	80.7
St-35	5.7	0.27	7.3	1.3	0.63	91.5
八代地先 St-8	2.9	0.08	3.1	0.37	0.33	21.1
八代海 St-18	7.0	0.33	10.4	1.7	0.66	95.9
八代海 St-19	7.2	0.22	13.9	1.7	0.62	76.7
八代海 St-20	2.9	0.19	12.3	1.2	0.71	53.3

表 9, 10 に有明海, 八代海の底質各項目の分析結果の相関を示した。有明海においては COD, 全窒素, 全燐, 強熱減量において, 相関係数 0.8 以上が多く, 比較的良い相関が得られ, これら項目の環境中での分布状況が近いことが示唆された。

一方, 八代海においては, 全窒素と全燐の相関係数 0.712 が最高値であり, 有明海のように良い相関が得られなかった。特に, 強熱減量と各項目の相関が, 有明海に比べ低くなっており, 同じ有機性物質の指標である COD との相関係数は 0.339 と低かった。

表 9 底質分析結果の相関係数（有明海）

	COD	全硫化物	強熱減量	全窒素	全燐
COD	1				
全硫化物	0.589	1			
強熱減量	0.816	0.683	1		
全窒素	0.797	0.560	0.827	1	
全燐	0.810	0.472	0.820	0.885	1

表 10 底質分析結果の相関係数（八代海）

	COD	全硫化物	強熱減量	全窒素	全燐
COD	1				
全硫化物	0.385	1			
強熱減量	0.339	0.308	1		
全窒素	0.596	0.486	0.599	1	
全燐	0.571	0.523	0.565	0.712	1

粒度分布を測定し, 砂・泥に分画した際の泥分の重量割合を, 表 8 中に泥比率として示した。底質の COD 等各項目は底質乾燥重量当たりの値で表すことから,

砂分が多い（泥比率が小さい）と, 値が小さくなる傾向がある。しかし, 八代海 St-19, St-20 では泥比率に対し強熱減量が比較的高いことから, 他地点と底質の状況が異なっていると考えられた。

図 3 に八代海 St-20 の底質の写真を示した。底質中には白い貝殻の破片が多く含まれており, St-19 についても同様であった。



図 3 八代海 St-20 の底質 (H23. 2. 24)

貝殻の主成分である炭酸カルシウムは, 強熱すると 550℃付近から次式による分解が始まることが報告されている¹⁾。



今回行った強熱減量の分析（底質調査法 昭和 63 年環境庁）では, 600℃で 2 時間強熱することとなっているため, 炭酸カルシウムの減量分が強熱減量の結果に影響している可能性が考えられた。

そこで, 炭酸カルシウムの分解が始まらないとされる 540℃6 時間 (IL₅₄₀), 底質調査法の 600℃2 時間 (IL₆₀₀), 分解が完全に終わるとされる 900℃2 時間 (IL₉₀₀) の 3 条件で強熱を行い, その比較を行った。検体は, 八代海 St-19, St-20 に加え, 比較用として八代海湾奥部である St-9, St-10 を用いた。

表 11 に結果を示した。各地点とも, 強熱温度が高くなるに従い, 減量割合が高くなることが確認された。IL₅₄₀ と IL₆₀₀ の比較では, その差は St-19, St20 が大きく, また, IL₉₀₀ ではそれぞれ 16.28%, 19.40% と高い値を示していることから, 炭酸カルシウム等の強熱分解性物質の影響が, 他地点よりも大きいことが示唆された。

表 11 各温度での強熱減量 (括弧は IL₆₀₀ との差)

		強熱減量 [%]		
		IL ₅₄₀	IL ₆₀₀	IL ₉₀₀
八代海	St-9	8.38 (-0.35)	8.73	9.85 (+1.12)
八代海	St-10	7.56 (-0.57)	8.13	9.35 (+1.22)
八代海	St-19	10.59 (-1.26)	11.85	16.28 (+4.43)
八代海	St-20	8.17 (-1.36)	9.53	19.40 (+9.87)

これらの結果から、八代海 St-19, St-20 の強熱減量 (IL₆₀₀) には、炭酸カルシウム等の強熱分解性物質の影響が他の地点よりも大きく、強熱減量の値が有機物量に比較して大きくなると考えられる。また、600℃の強熱では、炭酸カルシウムは不完全な分解となってしまうため、分解の状態が試験毎に異なり、その結果、強熱減量の値がバラつくことも報告されており¹⁾、結果の取り扱いには注意が必要である。

3 底質からの栄養塩の溶出速度

底質からの物質の溶出速度は、原口らの方法²⁾ によらない、底質中の間隙水と直上水の間に生じる濃度勾配と分子拡散係数の積で算出する拡散方程式から求める方法で行った。間隙水中の栄養塩濃度は直上水と比較して一般的に高濃度であるため、両者の間に濃度勾配が生じ、それによって発生する物質の拡散作用により間隙水から直上水に移行する³⁾。

$$R = \phi D_s (C_i - C_o) / \Delta Z$$

R : 溶出速度 [mg/m²/d]

φ : 空隙率 (底泥表層の含水率) [-]

D_s : 堆積物中での分子拡散係数 [m²/d]

C_i : 底質表層間隙水の濃度 [mg/l]

C_o : 直上水の濃度 [mg/l]

ΔZ : 泥深 (0.5cm)

図 4 に間隙水中の三態窒素 (NO₂-N, NO₃-N, NH₄-N) 各種の平均濃度を示した。間隙水中の窒素の大部分は NH₄-N の形態であり、全ての地点で 9 割以上の割合であった。これは、底質中では分子状酸素は表面から数ミリメートル程度にしか存在しないため硝化が進行しないとされており、その結果窒素の大部分は還元型である NH₄-N の形態で存在しているためであると考えられる。

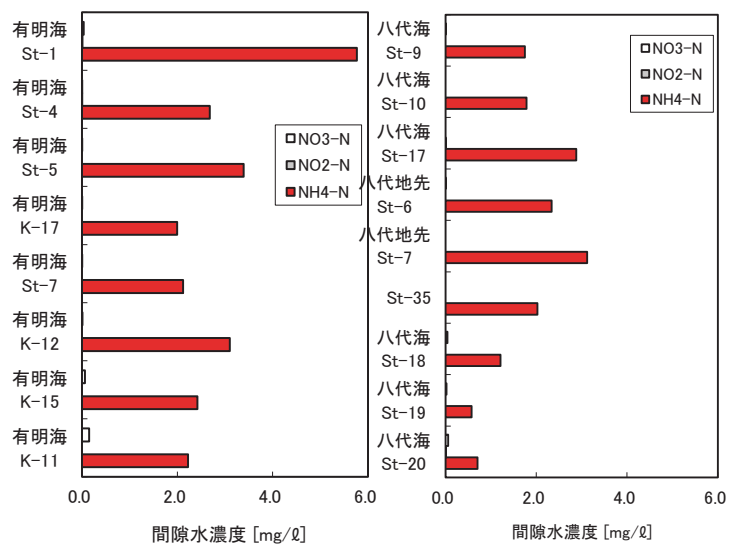


図 4 間隙水中の三態窒素平均濃度

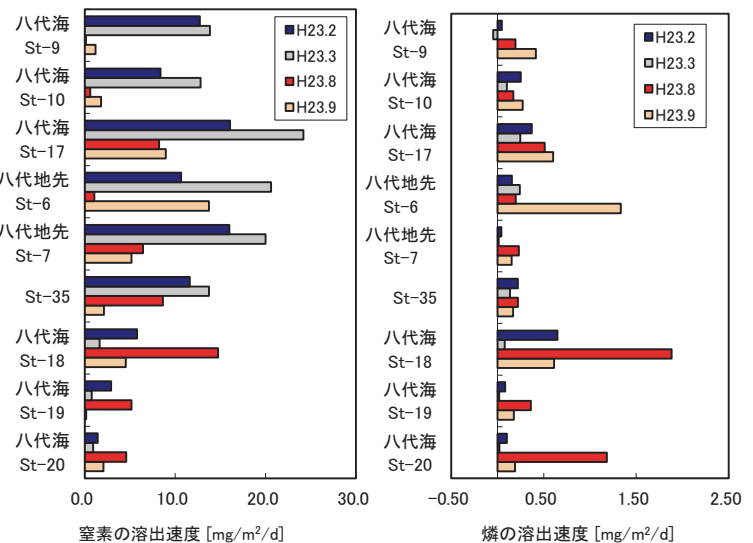
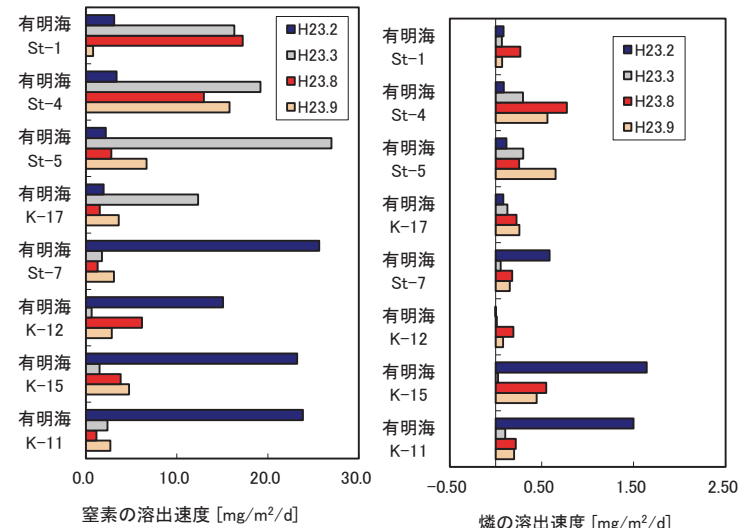


図 5 栄養塩の溶出速度

図5に各地点における窒素（NO₂-N, NO₃-N, NH₄-Nの合計）及びリン（PO₄-P）の溶出速度を示した。なお、有明海の2地点（St-2, K-20）及び八代海の1地点（St-8）は、底質が砂質であり、分析に必要な間隙水が採取できなかったことから対象から除外した。

溶出速度は地点、調査日によって大きく異なっていた。三態窒素の合計の溶出速度の最大値は、27 mg/m²/d（有明海 St-5）であった。有明海では、北部（St-1, St-4）の調査地点では3月、8月に高い値を示したが、南部（St-7, K-12, K-15, K-11）では2月に高い傾向が見られた。また、八代海においては、北部の（St-9～St-35）では2月、3月の冬季に高い値を示したが、その他の地点では、調査月による違いは見られなかった。有明海、八代海の平均値はそれぞれ 8.3 mg/m²/d, 7.9 mg/m²/dであった。

リン酸態リンの溶出速度の最大値は、1.8 mg/m²/d（八代海 St-18）であった。有明海北部の調査地点においては、8月、9月に高くなる傾向が見られたが、南部（K-15, K-11）については2月に高い値を示した。八代海については、8月、9月に高い値を示す地点が多かった。平均値は両海域とも 0.32 mg/m²/dであった。

これら底質からの溶出は、海域への汚濁負荷の一因となっており、特に汚泥の堆積した水域でその影響は非常に大きいと言われている⁴⁾。最近では、製鋼スラグにより底質からのリン溶出を抑制する技術や、海底耕耘等により、直接的に底質環境を改善する技術が一部で導入され、その効果も実証されており⁵⁾、今後、このような技術の更なる適用が期待される場所である。

まとめ

- ・平成21～23年度に有明海・八代海の各10地点で水質調査を行った結果、全窒素、全リンについて、多くの地点で夏季に高い傾向を示した。DOについては、夏季に有明海で4.7 mg/L、八代海で4.2 mg/Lの地点が見られ、貧酸素に近い状況が確認された。
- ・各地点の底質のCOD、強熱減量、全硫化物、T-N、T-Pを測定した結果、有明海ではSt-4（長洲地先）で、八代海については湾奥部であるSt-9（松合地先）で、他地点と比較し全項目に渡って高い濃度がみられた。
- ・底質の間隙水と底質直上水の栄養塩濃度を測定し、拡散方程式から溶出速度を算出した結果、平均で有明海は三態窒素が8.3 mg/m²/d、リン酸態リンが0.32 mg/m²/d、八代海は三態窒素が7.9 mg/m²/d、リン酸態リンが0.32 mg/m²/dの速度で溶出しており、海域水中への負荷の一因となっていると考えられた。

参考文献

- 1) 佐藤善徳, 長沢トシ子: 日水研報告, 43, 105-115 (1993)
- 2) 原口浩一, 櫻田清成, 大和田紘一: 用水と排水, 53(3), 205-212 (2011) .
- 3) 吉村直晃, 黒木善之, 吉田雄一, 小山長久: 熊本県水産研究センター研究報告, 6, 51-57 (2004) .
- 4) 白柳康夫, 大矢正代: 横浜市公害研究所報, 15, 57-66 (1991)
- 5) 環境省: 環境技術実証事業 実証済技術, 平成25年3月版

付表 1-1 水質調査結果(有明海)

地点	水深 [m]	COD [mg/ℓ]	T-N [mg/ℓ]	T-P [mg/ℓ]	DO [mg/ℓ]	Cha [μ g/ℓ]	SS [mg/ℓ]	塩分 [‰]
有明海 St-1	0.5	2.2 (2.7) [2.3・2.1]	0.20 (0.30) [0.29・0.12]	0.044 (0.073) [0.064・0.024]	8.6 (10) [7.4・9.8]	4.5 (8.1) [5.1・4.0]	2 (3) [2・3]	30 (31) [29・31]
	2	2.1 (2.4) [2.2・2.0]	0.23 (0.35) [0.33・0.12]	0.042 (0.073) [0.059・0.024]	8.4 (10) [7.1・9.7]	6.1 (11) [7.4・4.8]	4 (9) [5・3]	31 (31) [30・31]
	5	2.2 (2.7) [2.4・2.1]	0.22 (0.37) [0.32・0.13]	0.040 (0.069) [0.056・0.024]	8.1 (9.9) [6.6・9.7]	5.2 (10) [6.3・4.1]	3 (5) [3・3]	31 (31) [30・31]
	10	2.2 (2.8) [2.0・2.3]	0.25 (0.36) [0.32・0.18]	0.043 (0.067) [0.055・0.031]	7.7 (9.7) [5.8・9.6]	5.3 (9.6) [3.7・7.0]	5 (10) [3・7]	31 (31) [30・31]
	B	2.1 (3.0) [1.7・2.6]	0.26 (0.36) [0.28・0.24]	0.050 (0.070) [0.052・0.049]	7.5 (9.7) [5.4・9.6]	6.0 (15) [2.1・9.9]	6 (11) [3・10]	31 (31) [30・31]
有明海 St-2	0.5	2.4 (2.9) [2.5・2.2]	0.29 (0.43) [0.42・0.15]	0.048 (0.081) [0.069・0.028]	8.2 (10) [6.4・10]	7.6 (11) [4.2・11]	13 (29) [17・9]	31 (32) [30・32]
	B	2.6 (3.1) [2.7・2.6]	0.25 (0.33) [0.29・0.21]	0.048 (0.067) [0.062・0.035]	8.1 (10) [6.3・9.9]	9.9 (16) [5.3・15]	12 (16) [12・12]	31 (32) [30・32]
有明海 St-4	0.5	2.3 (2.6) [2.4・2.1]	0.21 (0.29) [0.27・0.16]	0.043 (0.063) [0.055・0.032]	8.4 (10) [6.9・10]	9.7 (15) [9.8・9.6]	6 (9) [5・7]	30 (32) [30・31]
	2	2.5 (3.1) [2.7・2.2]	0.25 (0.38) [0.33・0.17]	0.048 (0.087) [0.067・0.030]	8.1 (9.9) [6.4・9.8]	9.8 (18) [7.0・13]	12 (28) [16・8]	31 (32) [30・32]
	5	2.4 (2.7) [2.4・2.4]	0.24 (0.33) [0.32・0.16]	0.043 (0.066) [0.057・0.028]	7.9 (9.6) [6.1・9.6]	9.2 (14) [6.5・12]	5 (6) [5・6]	31 (32) [30・32]
	B	2.3 (2.6) [2.5・2.2]	0.26 (0.32) [0.31・0.22]	0.055 (0.070) [0.065・0.044]	7.5 (9.6) [5.4・9.6]	11 (23) [5.1・16]	12 (17) [12・13]	31 (32) [30・32]
有明海 St-5	0.5	2.3 (2.6) [2.4・2.2]	0.18 (0.33) [0.25・0.11]	0.036 (0.077) [0.055・0.018]	8.9 (11) [7.5・10]	6.7 (7.5) [7.3・6.1]	2 (2) [2・1]	30 (31) [29・31]
	2	2.5 (2.9) [2.7・2.3]	0.28 (0.55) [0.45・0.11]	0.033 (0.070) [0.050・0.017]	8.8 (10) [7.4・10]	4.7 (6.8) [4.8・4.6]	2 (2) [2・2]	30 (32) [29・32]
	5	2.3 (2.5) [2.1・2.4]	0.21 (0.35) [0.30・0.13]	0.032 (0.052) [0.044・0.020]	8.5 (9.8) [7.3・9.8]	6.5 (10) [5.2・7.8]	3 (6) [2・5]	31 (32) [29・32]
	10	2.0 (2.2) [1.9・2.2]	0.22 (0.31) [0.29・0.15]	0.035 (0.053) [0.045・0.025]	8.0 (9.7) [6.3・9.6]	7.7 (17) [4.3・11]	5 (8) [4・7]	32 (32) [31・32]
	B	2.1 (2.3) [2.0・2.2]	0.23 (0.31) [0.28・0.19]	0.038 (0.059) [0.049・0.027]	7.9 (9.6) [6.2・9.5]	7.7 (17) [4.0・11]	5 (7) [4・6]	31 (32) [31・32]
有明海 K-17	0.5	1.9 (2.3) [2.1・1.8]	0.24 (0.45) [0.37・0.11]	0.043 (0.088) [0.069・0.017]	9.0 (11) [7.3・11]	8.5 (12) [11・6.4]	3 (5) [4・2]	29 (31) [27・31]
	2	2.0 (2.4) [2.2・1.8]	0.27 (0.53) [0.43・0.11]	0.040 (0.075) [0.063・0.017]	8.8 (11) [7.2・10]	8.5 (14) [11・5.7]	5 (9) [4・6]	30 (31) [28・31]
	5	2.2 (2.5) [2.3・2.1]	0.20 (0.29) [0.29・0.12]	0.033 (0.049) [0.048・0.018]	8.5 (11) [6.8・10]	6.1 (8.9) [7.7・4.5]	4 (9) [3・5]	31 (32) [29・32]
	10	2.1 (2.3) [2.1・2.1]	0.20 (0.31) [0.28・0.13]	0.035 (0.058) [0.049・0.021]	7.9 (10) [5.9・9.9]	5.8 (9.5) [4.9・6.7]	5 (7) [6・4]	31 (32) [31・32]
	B	2.3 (2.4) [2.2・2.4]	0.25 (0.36) [0.34・0.16]	0.041 (0.066) [0.055・0.027]	7.4 (10) [5.1・9.8]	6.1 (8.6) [4.4・7.7]	10 (15) [11・10]	31 (32) [31・32]

表の見方

Ave. (Max)
[夏季Ave.・冬季Ave.]

夏季Ave.:7,8月の平均
冬季Ave.:2,3月の平均

付表 1-2 水質調査結果 (有明海)

地点	水深 [m]	COD [mg/ℓ]	T-N [mg/ℓ]	T-P [mg/ℓ]	DO [mg/ℓ]	Cha [μ g/ℓ]	SS [mg/ℓ]	塩分 [%]
有明海 St-7	0.5	2.5 (3.3) [2.8・2.2]	0.33 (0.45) [0.40・0.26]	0.057 (0.088) [0.073・0.041]	8.9 (11) [7.8・10]	13 (41) [24・3.2]	4 (5) [4・3]	29 (30) [28・30]
	2	2.5 (2.8) [2.7・2.3]	0.29 (0.33) [0.33・0.26]	0.050 (0.070) [0.061・0.039]	8.7 (11) [7.4・10]	10 (28) [16・4.5]	4 (6) [5・4]	30 (31) [29・30]
	B	2.6 (3.8) [3.0・2.2]	0.29 (0.38) [0.33・0.25]	0.059 (0.12) [0.088・0.030]	7.9 (10) [6.0・9.9]	11 (21) [12・9.8]	21 (69) [37・6]	30 (31) [29・31]
有明海 K-12	0.5	1.8 (2.2) [1.9・1.8]	0.23 (0.34) [0.22・0.25]	0.039 (0.061) [0.048・0.031]	8.6 (10) [7.2・9.9]	4.1 (6.1) [4.5・3.8]	3 (8) [2・5]	30 (31) [30・30]
	2	2.0 (2.3) [2.1・2.0]	0.24 (0.35) [0.22・0.26]	0.041 (0.061) [0.050・0.032]	8.3 (10) [6.7・9.9]	4.8 (7.5) [5.7・4.0]	4 (7) [5・3]	30 (31) [30・30]
	B	2.2 (2.5) [2.1・2.4]	0.20 (0.24) [0.22・0.19]	0.034 (0.050) [0.046・0.023]	8.1 (10) [6.3・9.9]	5.7 (11) [2.7・8.7]	5 (6) [5・5]	31 (32) [31・32]
有明海 K-20	0.5	2.1 (2.4) [2.4・1.8]	0.20 (0.41) [0.32・0.09]	0.029 (0.051) [0.044・0.015]	8.6 (10) [7.5・9.8]	3.8 (6.5) [5.1・2.5]	2 (4) [1・3]	31 (32) [30・32]
	2	2.2 (2.7) [1.7・2.3]	0.34 (0.88) [0.08・0.19]	0.030 (0.052) [0.015・0.017]	8.4 (9.8) [9.3・9.8]	4.0 (6.7) [2.2・2.4]	2 (2) [2・1]	31 (32) [32・32]
	5	2.2 (2.4) [2.4・2.0]	0.19 (0.32) [0.27・0.11]	0.029 (0.049) [0.043・0.016]	8.3 (9.8) [7.1・9.6]	3.6 (5.1) [4.9・2.3]	1 (1) [1・1]	31 (32) [30・32]
	10	2.0 (2.2) [2.0・1.9]	0.20 (0.30) [0.27・0.13]	0.030 (0.045) [0.043・0.017]	7.9 (9.7) [6.3・9.5]	3.5 (4.6) [4.3・2.8]	2 (3) [1・3]	31 (32) [30・32]
	20	1.7 (1.8) [1.7・1.7]	0.21 (0.32) [0.28・0.13]	0.026 (0.036) [0.035・0.018]	7.5 (9.7) [5.6・9.5]	2.3 (4.2) [1.1・3.5]	2 (3) [2・3]	32 (32) [32・32]
	30	1.6 (1.9) [1.6・1.7]	0.17 (0.25) [0.24・0.11]	0.026 (0.035) [0.035・0.017]	7.4 (9.6) [5.5・9.4]	2.1 (3.5) [0.9・3.3]	2 (4) [2・3]	31 (32) [31・32]
	B	1.6 (1.8) [1.6・1.6]	0.19 (0.28) [0.27・0.11]	0.027 (0.036) [0.036・0.018]	7.4 (9.5) [5.4・9.4]	2.2 (4.2) [0.6・3.7]	3 (4) [3・3]	32 (32) [31・32]
有明海 K-15	0.5	2.2 (2.4) [2.2・2.2]	0.13 (0.17) [0.16・0.11]	0.027 (0.046) [0.041・0.014]	9.4 (12) [7.8・11]	4.9 (7.1) [3.6・6.3]	2 (2) [1・2]	31 (32) [30・31]
	2	2.3 (2.7) [2.1・2.5]	0.15 (0.19) [0.17・0.13]	0.028 (0.048) [0.041・0.014]	9.3 (12) [7.7・11]	5.3 (7.6) [3.8・6.8]	3 (4) [2・4]	30 (31) [30・31]
	5	2.3 (2.6) [2.2・2.4]	0.16 (0.21) [0.19・0.13]	0.028 (0.048) [0.042・0.014]	8.7 (11) [7.0・10]	5.5 (7.4) [4.4・6.7]	2 (3) [2・3]	31 (31) [30・31]
	10	1.9 (1.9) [1.9・1.9]	0.18 (0.24) [0.21・0.15]	0.035 (0.051) [0.046・0.023]	7.6 (9.5) [5.7・9.5]	5.1 (9.1) [3.3・7.0]	3 (4) [2・4]	32 (32) [31・32]
	B	1.8 (1.9) [1.7・1.9]	0.20 (0.29) [0.25・0.15]	0.036 (0.057) [0.048・0.024]	7.5 (9.5) [5.6・9.5]	5.5 (11) [2.2・8.8]	4 (5) [4・5]	31 (32) [31・32]
有明海 K-11	0.5	2.0 (2.3) [2.1・1.9]	0.17 (0.32) [0.24・0.11]	0.032 (0.068) [0.049・0.015]	9.6 (11) [8.8・10]	7.0 (12) [8.3・5.8]	2 (3) [3・1]	31 (32) [29・32]
	2	2.3 (2.7) [2.4・2.3]	0.17 (0.19) [0.18・0.17]	0.024 (0.037) [0.034・0.015]	9.4 (11) [8.5・10]	5.3 (6.1) [5.3・5.3]	2 (2) [2・2]	31 (31) [30・31]
	5	2.3 (2.6) [2.6・2.0]	0.16 (0.20) [0.20・0.13]	0.025 (0.038) [0.036・0.015]	8.9 (10) [7.9・10]	4.8 (6.0) [4.9・4.7]	2 (3) [2・2]	31 (32) [31・32]
	10	2.0 (2.2) [2.2・1.7]	0.17 (0.21) [0.21・0.13]	0.029 (0.050) [0.042・0.017]	7.7 (9.7) [5.8・9.6]	3.8 (5.2) [3.5・4.2]	2 (3) [2・1]	32 (32) [31・32]
	B	1.7 (1.9) [1.7・1.8]	0.18 (0.23) [0.21・0.15]	0.031 (0.057) [0.045・0.018]	7.5 (9.5) [5.5・9.4]	3.9 (8.7) [1.8・6.0]	3 (6) [4・2]	31 (32) [31・32]

表の見方

Ave. (Max)
[夏季Ave.・冬季Ave.]

夏季Ave.:7,8月の平均
冬季Ave.:2,3月の平均

付表 2-1 水質調査結果 (八代海)

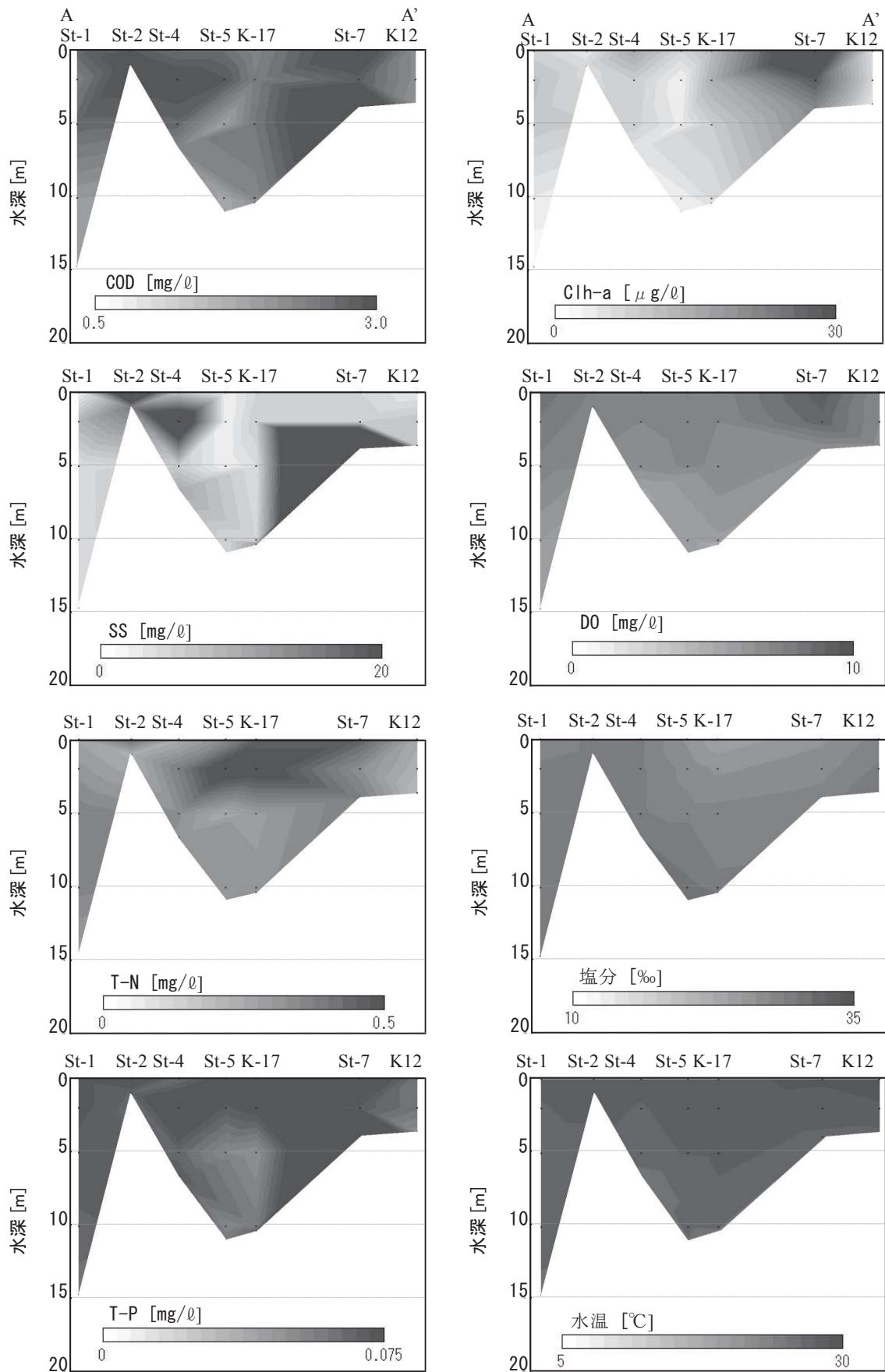
地点	水深 [m]	COD [mg/ℓ]	T-N [mg/ℓ]	T-P [mg/ℓ]	DO [mg/ℓ]	Cha [μ g/ℓ]	SS [mg/ℓ]	塩分 [‰]
八代海 St-9	0.5	2.6 (2.9) [2.7・2.5]	0.38 (0.65) [0.44・0.32]	0.080 (0.15) [0.10・0.058]	7.8 (10) [6.6・9.1]	12 (34) [14・9]	12 (29) [10・14]	28 (31) [27・29]
	B	2.6 (3.3) [2.6・2.5]	0.35 (0.53) [0.39・0.30]	0.078 (0.16) [0.098・0.059]	7.6 (10) [6.2・9.0]	11 (38) [13・10]	14 (32) [14・14]	29 (31) [28・30]
八代海 St-10	0.5	2.5 (3.6) [2.7・2.3]	0.31 (0.74) [0.40・0.23]	0.066 (0.12) [0.089・0.042]	8.1 (11) [6.9・9.2]	12 (56) [16・7.8]	9 (13) [9・9]	29 (31) [27・30]
	2	2.4 (3.4) [2.6・2.3]	0.37 (0.54) [0.41・0.32]	0.070 (0.10) [0.086・0.055]	7.8 (10) [6.5・9.0]	15 (50) [18・11]	10 (16) [11・9]	29 (31) [28・30]
	B	2.4 (3.1) [2.4・2.3]	0.31 (0.44) [0.35・0.27]	0.067 (0.12) [0.082・0.051]	7.7 (10) [6.3・9.1]	11 (41) [13・9.4]	12 (27) [13・12]	29 (31) [29・30]
八代海 St-17	0.5	2.1 (2.7) [2.2・1.9]	0.24 (0.54) [0.29・0.19]	0.041 (0.078) [0.052・0.031]	8.4 (11) [7.5・9.3]	11 (38) [15・7.0]	5 (10) [5・5]	29 (32) [28・30]
	2	2.2 (2.8) [2.3・2.0]	0.24 (0.48) [0.29・0.18]	0.041 (0.079) [0.053・0.030]	8.3 (10) [7.3・9.3]	11 (37) [15・8.1]	6 (11) [6・5]	30 (32) [29・31]
	5	2.1 (2.6) [2.1・2.1]	0.23 (0.34) [0.28・0.19]	0.046 (0.076) [0.058・0.034]	7.5 (10) [5.7・9.2]	8.7 (15) [9.1・8.3]	8 (14) [8・8]	30 (32) [30・31]
	B	2.0 (2.6) [2.0・2.0]	0.22 (0.34) [0.27・0.18]	0.046 (0.075) [0.059・0.032]	7.2 (10) [5.4・8.9]	7.3 (12) [6.4・8.3]	9 (18) [11・8]	31 (32) [31・31]
八代地先 St-6	0.5	2.2 (2.7) [2.4・2.0]	0.26 (0.80) [0.33・0.19]	0.041 (0.080) [0.054・0.029]	8.4 (10) [7.5・9.2]	11 (41) [16・7.0]	5 (11) [4・5]	29 (32) [29・30]
	2	2.2 (2.8) [2.3・2.0]	0.25 (0.45) [0.31・0.19]	0.042 (0.066) [0.054・0.031]	8.1 (10) [7.1・9.2]	12 (42) [16・7.5]	5 (11) [5・5]	30 (32) [29・31]
	5	2.1 (2.8) [2.2・2.0]	0.23 (0.33) [0.27・0.18]	0.042 (0.070) [0.053・0.031]	7.6 (10) [6.0・9.2]	9.1 (15) [10・7.9]	6 (13) [7・6]	30 (32) [30・31]
	B	2.0 (2.6) [2.0・2.1]	0.23 (0.32) [0.27・0.20]	0.046 (0.075) [0.059・0.034]	7.3 (10) [5.7・8.9]	8.0 (15) [7.7・8.3]	9 (16) [11・7]	31 (32) [31・31]
八代地先 St-7	0.5	2.0 (2.9) [2.2・1.8]	0.20 (0.45) [0.24・0.16]	0.030 (0.043) [0.037・0.023]	8.3 (10) [7.8・8.9]	7.9 (26) [12・4.2]	4 (7) [4・3]	30 (32) [29・31]
	2	2.0 (2.6) [2.1・1.9]	0.19 (0.36) [0.24・0.15]	0.030 (0.048) [0.038・0.022]	8.1 (10) [7.2・8.9]	7.8 (27) [11・4.8]	4 (6) [4・3]	31 (32) [30・32]
	5	1.8 (2.3) [1.8・1.8]	0.20 (0.29) [0.23・0.17]	0.032 (0.045) [0.040・0.024]	7.5 (10) [6.2・8.8]	6.8 (18) [8.7・4.8]	4 (8) [5・3]	32 (33) [31・32]
	B	1.8 (2.3) [1.8・1.7]	0.19 (0.32) [0.24・0.15]	0.038 (0.091) [0.051・0.024]	7.1 (10) [5.5・8.7]	4.9 (9.3) [5.1・4.7]	8 (34) [11・5]	32 (33) [31・32]
St-35	0.5	1.9 (3.1) [2.1・1.7]	0.17 (0.51) [0.22・0.15]	0.026 (0.058) [0.032・0.021]	8.4 (10) [7.5・9.0]	6.4 (46) [10・4.2]	3 (7) [2・3]	31 (33) [30・31]
	2	1.8 (3.2) [2.0・1.6]	0.18 (0.46) [0.22・0.14]	0.027 (0.056) [0.035・0.022]	8.3 (10) [7.3・8.9]	6.8 (49) [10・4.4]	3 (7) [3・4]	31 (33) [30・32]
	5	1.8 (2.3) [1.9・1.7]	0.18 (0.27) [0.22・0.15]	0.028 (0.049) [0.036・0.022]	7.8 (10) [6.2・8.9]	5.8 (22) [7.7・4.6]	4 (7) [4・4]	31 (33) [31・32]
	B	1.7 (2.8) [1.7・1.7]	0.20 (0.32) [0.24・0.17]	0.032 (0.061) [0.042・0.025]	7.4 (10) [5.4・8.7]	5.1 (8.6) [5.2・5.0]	7 (25) [7・7]	32 (33) [31・32]
八代地先 St-8	0.5	2.1 (3.4) [2.3・2.0]	0.30 (0.55) [0.40・0.24]	0.043 (0.073) [0.053・0.036]	8.0 (10) [6.6・9.0]	5.8 (20) [8.1・4.3]	8 (28) [8・7]	27 (32) [25・29]
	B	2.1 (3.1) [2.3・1.9]	0.25 (0.46) [0.29・0.23]	0.039 (0.066) [0.046・0.034]	7.9 (10) [6.4・8.9]	5.4 (10) [6.6・4.6]	8 (29) [8・8]	29 (32) [30・29]

表の見方 Ave. (Max) 夏季Ave.: 7~9月の平均
 [夏季Ave.・冬季Ave.] 冬季Ave.: その他月の平均

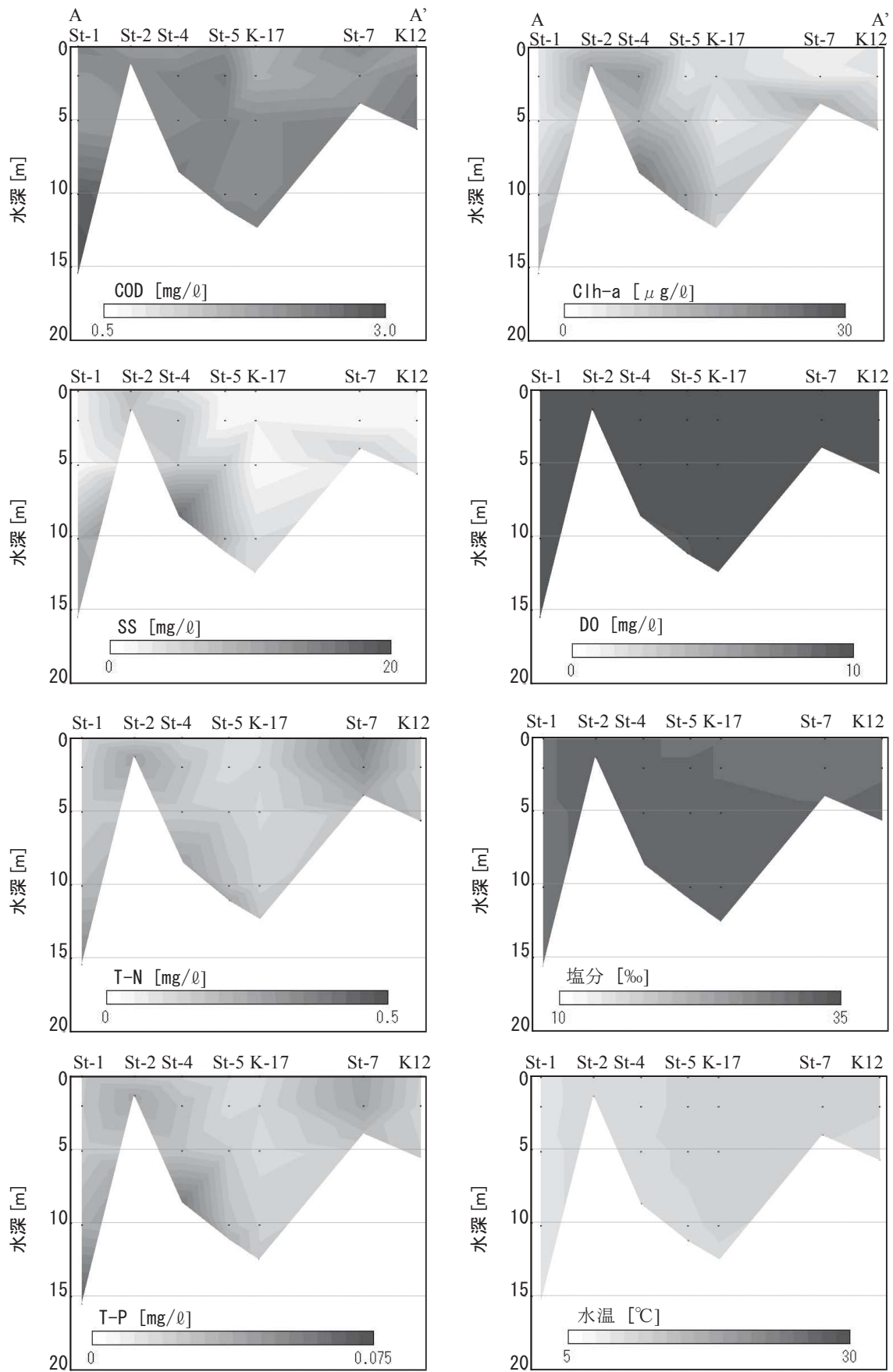
付表 2-2 水質調査結果 (八代海)

地点	水深 [m]	COD [mg/ℓ]	T-N [mg/ℓ]	T-P [mg/ℓ]	DO [mg/ℓ]	Cha [μ g/ℓ]	SS [mg/ℓ]	塩分 [‰]
八代海 St-18	0.5	1.6 (1.8)	0.16 (0.29)	0.022 (0.032)	8.0 (10)	2.7 (14)	2 (3)	32 (33)
		[1.7・1.5]	[0.19・0.14]	[0.024・0.020]	[7.1・8.6]	[3.5・2.2]	[1・2]	[31・32]
	2	1.6 (1.8)	0.17 (0.27)	0.022 (0.032)	7.6 (9)	2.7 (8.6)	2 (3)	32 (33)
		[1.7・1.5]	[0.20・0.15]	[0.025・0.021]	[6.9・8.3]	[3.1・2.3]	[2・2]	[31・32]
	5	1.6 (1.9)	0.17 (0.26)	0.023 (0.033)	7.5 (10)	2.4 (4.0)	1 (3)	32 (33)
		[1.6・1.5]	[0.21・0.14]	[0.026・0.021]	[6.5・8.6]	[2.4・2.3]	[1・2]	[32・32]
	10	1.5 (1.9)	0.16 (0.30)	0.024 (0.038)	7.4 (10)	2.2 (5.4)	2 (3)	32 (33)
[1.5・1.4]		[0.21・0.13]	[0.028・0.020]	[5.8・8.4]	[2.7・1.9]	[1・2]	[32・32]	
20	1.4 (1.6)	0.16 (0.24)	0.024 (0.035)	6.8 (9.2)	1.6 (3.9)	1 (3)	33 (33)	
	[1.4・1.3]	[0.20・0.14]	[0.027・0.022]	[5.4・8.3]	[1.4・1.8]	[1・2]	[33・33]	
30	1.3 (1.6)	0.17 (0.36)	0.025 (0.038)	6.9 (8.6)	1.6 (4.7)	3 (5)	33 (33)	
	[1.3・1.3]	[0.20・0.16]	[0.028・0.023]	[5.2・8.0]	[1.5・1.7]	[3・2]	[33・33]	
B	1.4 (1.8)	0.19 (0.34)	0.028 (0.048)	6.9 (9.0)	1.8 (4.1)	3 (7)	33 (33)	
	[1.4・1.4]	[0.23・0.17]	[0.032・0.026]	[5.1・8.1]	[1.5・2.0]	[3・3]	[33・33]	
八代海 St-19	0.5	1.4 (1.6)	0.13 (0.16)	0.021 (0.024)	8.0 (9.3)	1.4 (2.0)	1 (1)	33 (33)
		[1.4・1.5]	[0.13・0.12]	[0.022・0.020]	[6.8・9.1]	[1.6・1.1]	[1・1]	[32・33]
	5	1.3 (1.6)	0.14 (0.18)	0.024 (0.027)	7.9 (9.3)	1.2 (1.7)	1 (1)	32 (34)
		[1.6・1.1]	[0.14・0.14]	[0.022・0.026]	[6.6・9.1]	[1.2・1.2]	[1・1]	[32・33]
	10	1.4 (1.7)	0.13 (0.18)	0.022 (0.027)	7.7 (9.3)	0.9 (1.4)	1 (1)	33 (34)
		[1.4・1.5]	[0.15・0.12]	[0.021・0.022]	[6.2・9.1]	[0.8・1.1]	[1・1]	[32・34]
	20	1.5 (1.5)	0.13 (0.18)	0.023 (0.026)	7.5 (9.2)	0.8 (1.2)	1 (1)	33 (34)
[1.5・1.5]		[0.16・0.11]	[0.025・0.022]	[5.9・9.1]	[0.5・1.0]	[1・1]	[32・34]	
30	1.4 (1.5)	0.14 (0.18)	0.022 (0.028)	7.4 (9.1)	0.6 (1.6)	1 (1)	33 (34)	
	[1.4・1.3]	[0.16・0.12]	[0.026・0.019]	[5.8・9.0]	[0.2・1.0]	[1・1]	[33・34]	
40	1.4 (1.5)	0.16 (0.23)	0.024 (0.033)	7.3 (9.0)	0.7 (1.7)	1 (1)	33 (34)	
	[1.5・1.4]	[0.23・0.10]	[0.031・0.018]	[5.6・9.0]	[0.3・1.0]	[1・1]	[33・33]	
B	1.4 (1.7)	0.15 (0.22)	0.027 (0.042)	7.1 (9.0)	0.6 (1.9)	2 (3)	33 (34)	
	[1.6・1.3]	[0.20・0.10]	[0.037・0.018]	[5.4・8.9]	[0.2・1.1]	[3・1]	[33・33]	
八代海 St-20	0.5	1.4 (1.6)	0.13 (0.17)	0.020 (0.023)	8.0 (9.1)	1.2 (3.2)	1 (1)	33 (33)
		[1.5・1.3]	[0.16・0.11]	[0.019・0.020]	[7.1・8.9]	[1.8・0.7]	[1・1]	[32・33]
	5	1.4 (1.7)	0.12 (0.15)	0.021 (0.025)	7.8 (9.1)	0.9 (1.6)	1 (1)	32 (33)
		[1.5・1.4]	[0.15・0.10]	[0.021・0.021]	[6.7・8.9]	[1.2・0.7]	[1・1]	[32・33]
	10	1.2 (1.4)	0.17 (0.30)	0.029 (0.047)	7.6 (9.1)	0.7 (1.2)	1 (1)	33 (34)
		[1.3・1.1]	[0.14・0.21]	[0.023・0.036]	[6.3・8.9]	[0.8・0.7]	[1・1]	[33・34]
	20	1.2 (1.4)	0.12 (0.15)	0.022 (0.026)	7.4 (8.9)	0.9 (1.3)	1 (1)	33 (34)
[1.4・1.0]		[0.14・0.11]	[0.023・0.021]	[6.1・8.8]	[0.9・0.9]	[1・1]	[32・34]	
30	1.2 (1.4)	0.14 (0.21)	0.021 (0.025)	7.4 (8.9)	0.7 (1.4)	1 (1)	33 (34)	
	[1.4・1.1]	[0.18・0.10]	[0.021・0.021]	[6.1・8.7]	[0.5・0.9]	[1・1]	[33・34]	
B	1.3 (1.5)	0.13 (0.16)	0.022 (0.025)	7.4 (8.9)	0.5 (1.2)	1 (1)	33 (34)	
	[1.3・1.3]	[0.15・0.11]	[0.024・0.021]	[6.0・8.8]	[0.4・0.7]	[1・1]	[33・34]	

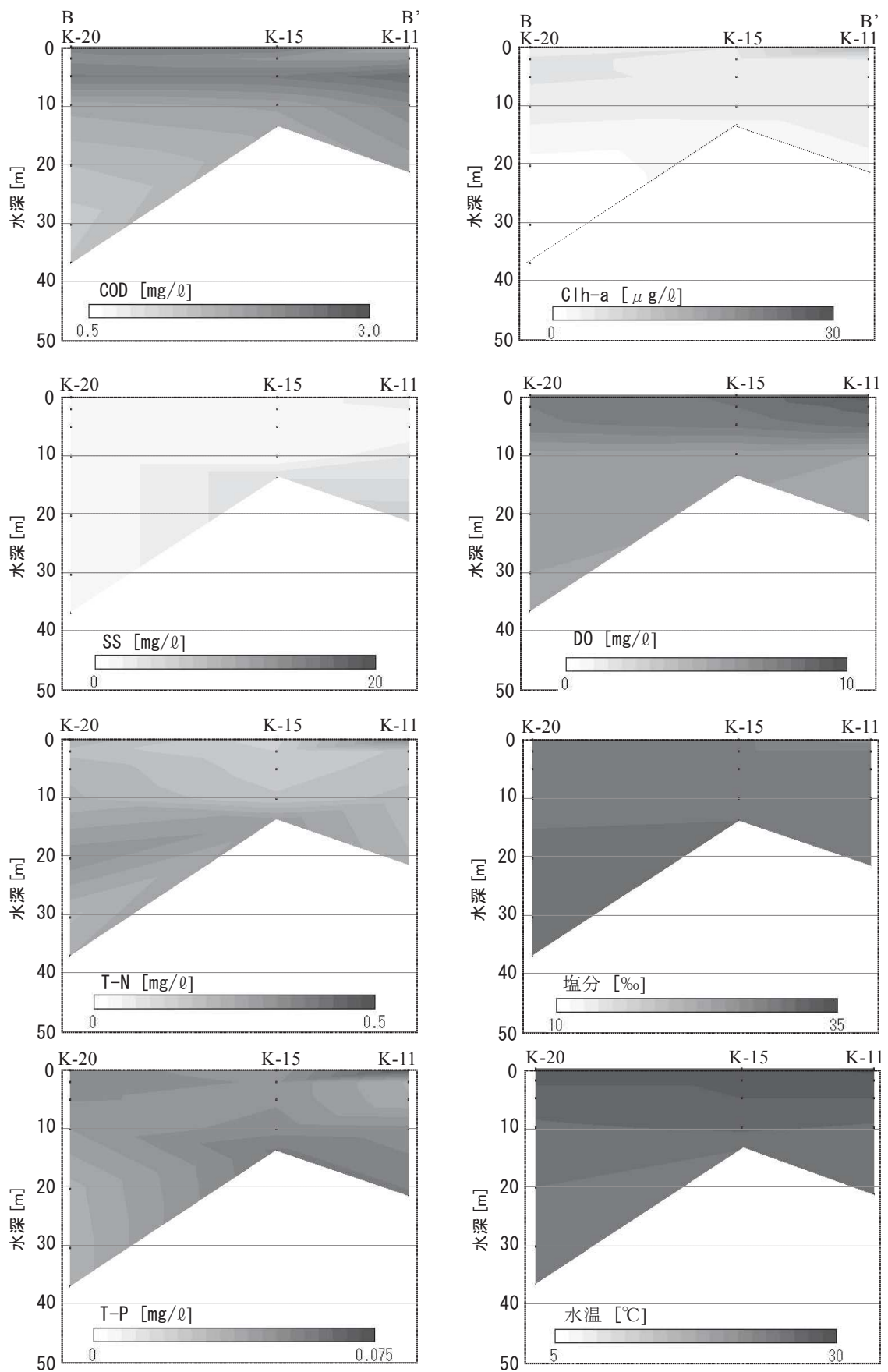
表の見方 Ave. (Max) 夏季Ave.: 7~9月の平均
 [夏季Ave.・冬季Ave.] 冬季Ave.: その他月の平均



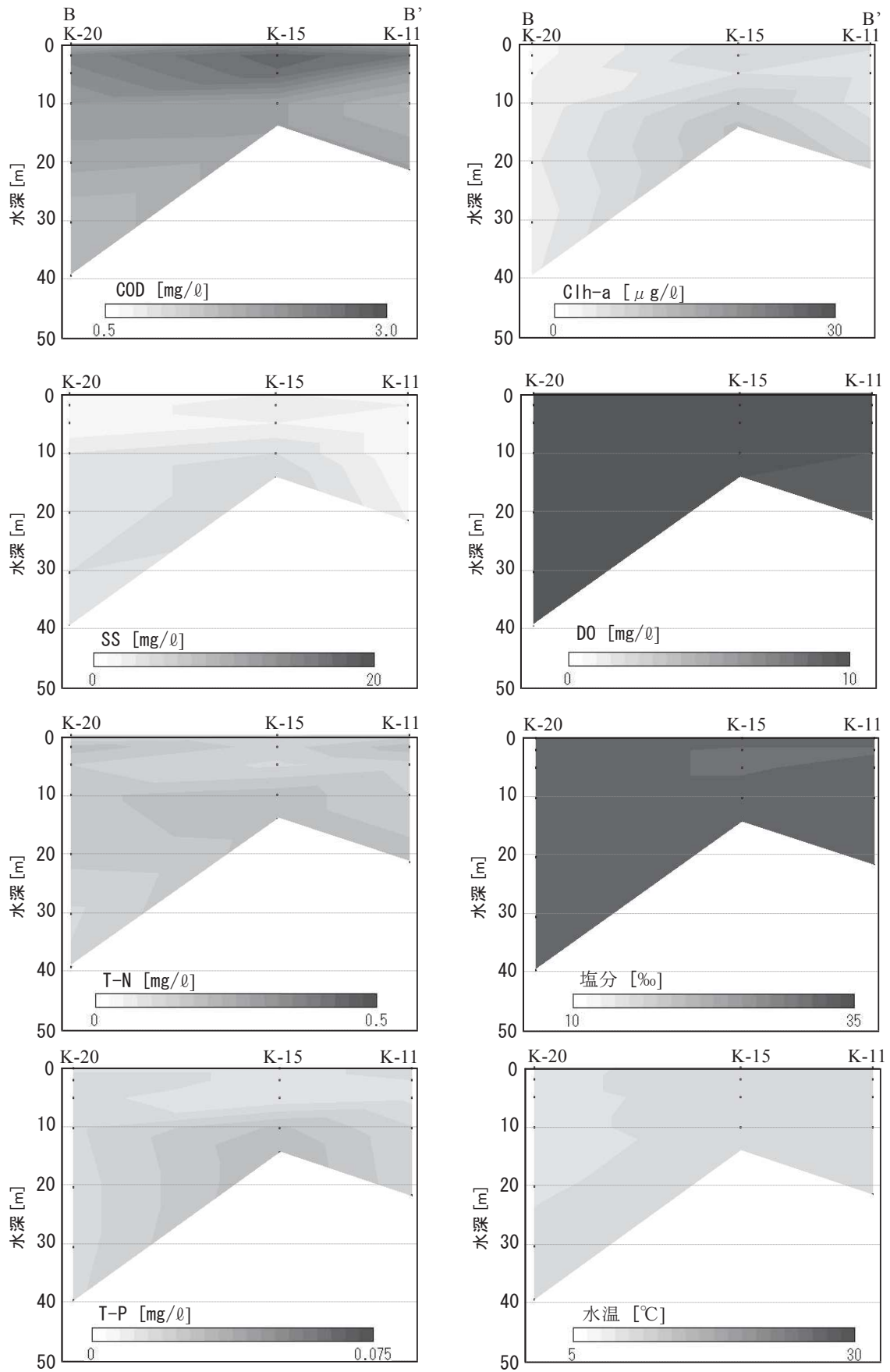
付図1 A-A' 断面濃度コンター図 (H23.8.9)



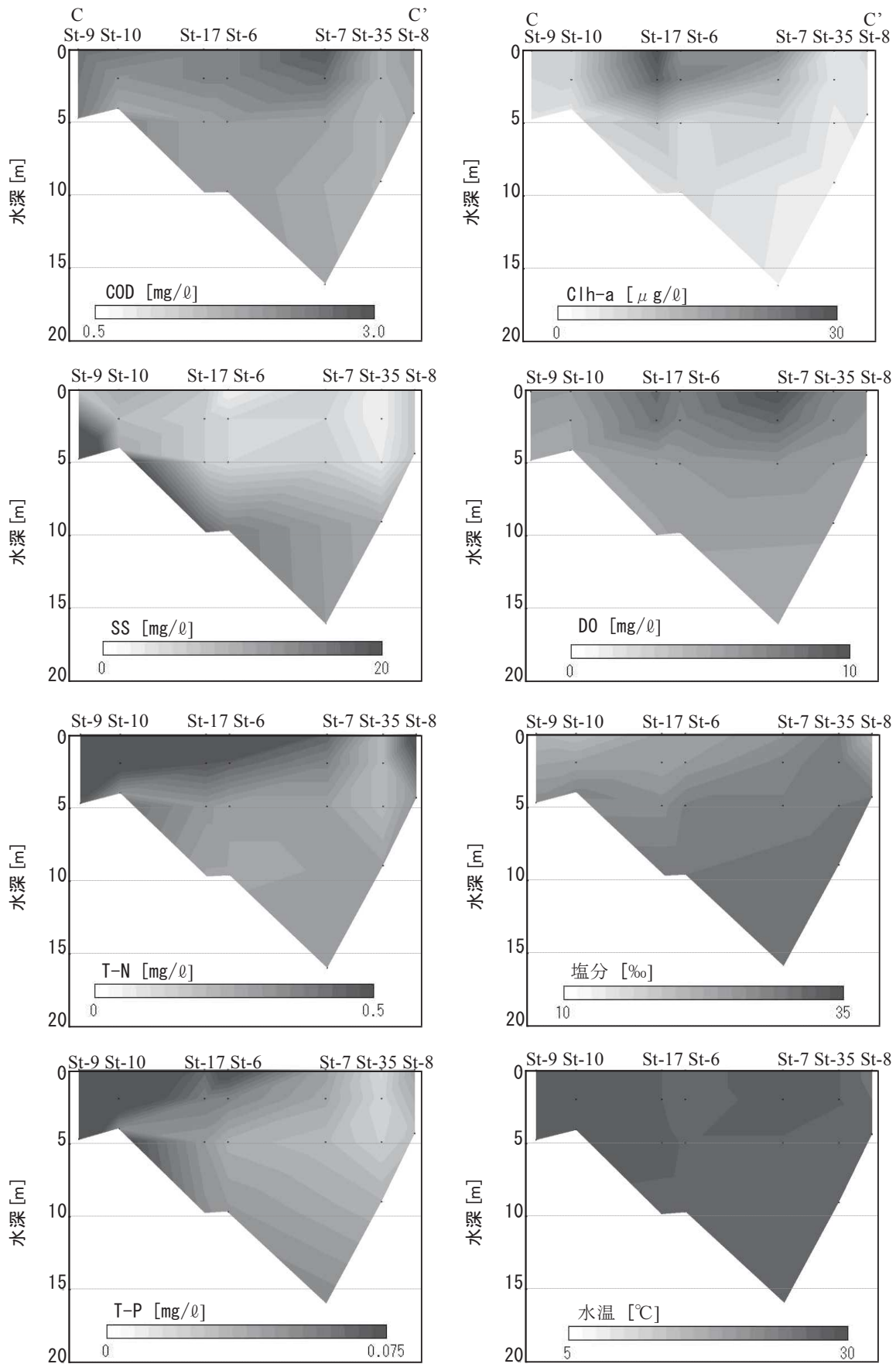
付図2 A-A' 断面濃度コンター図 (H23. 2. 24)



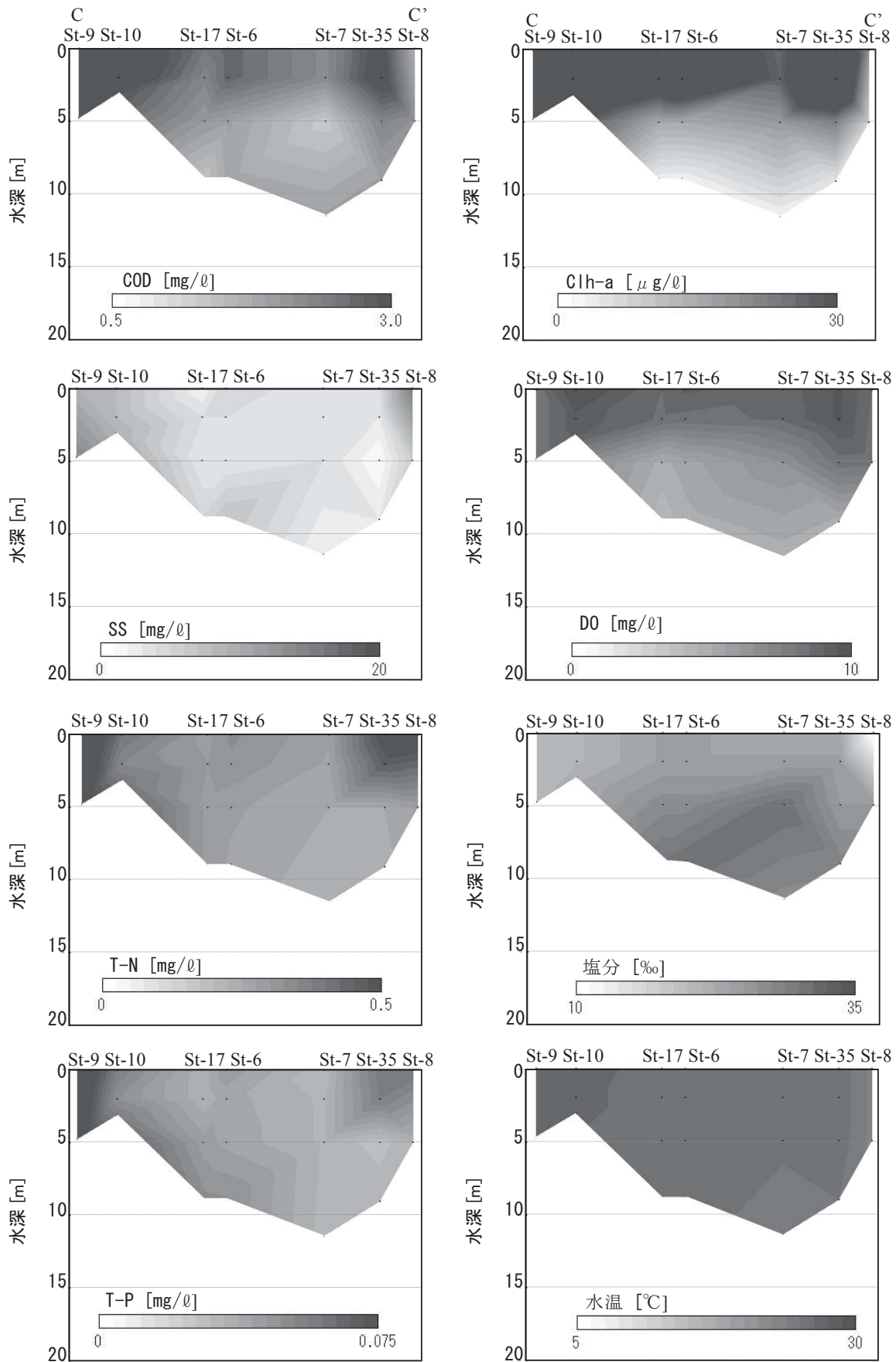
付図3 B-B' 断面濃度コンター図 (H23. 8. 9)



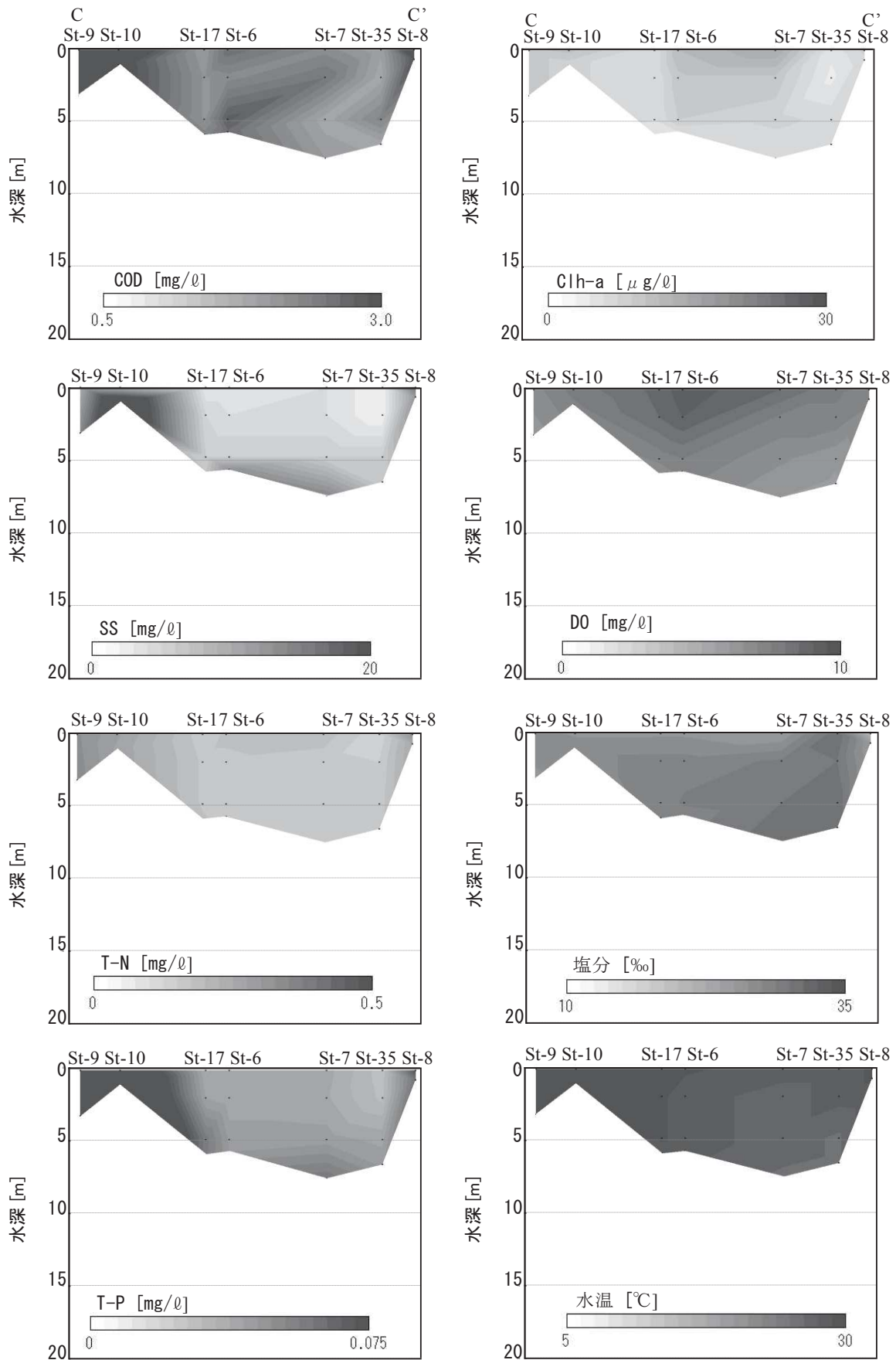
付図 4 B-B' 断面濃度コンター図 (H23. 2. 24)



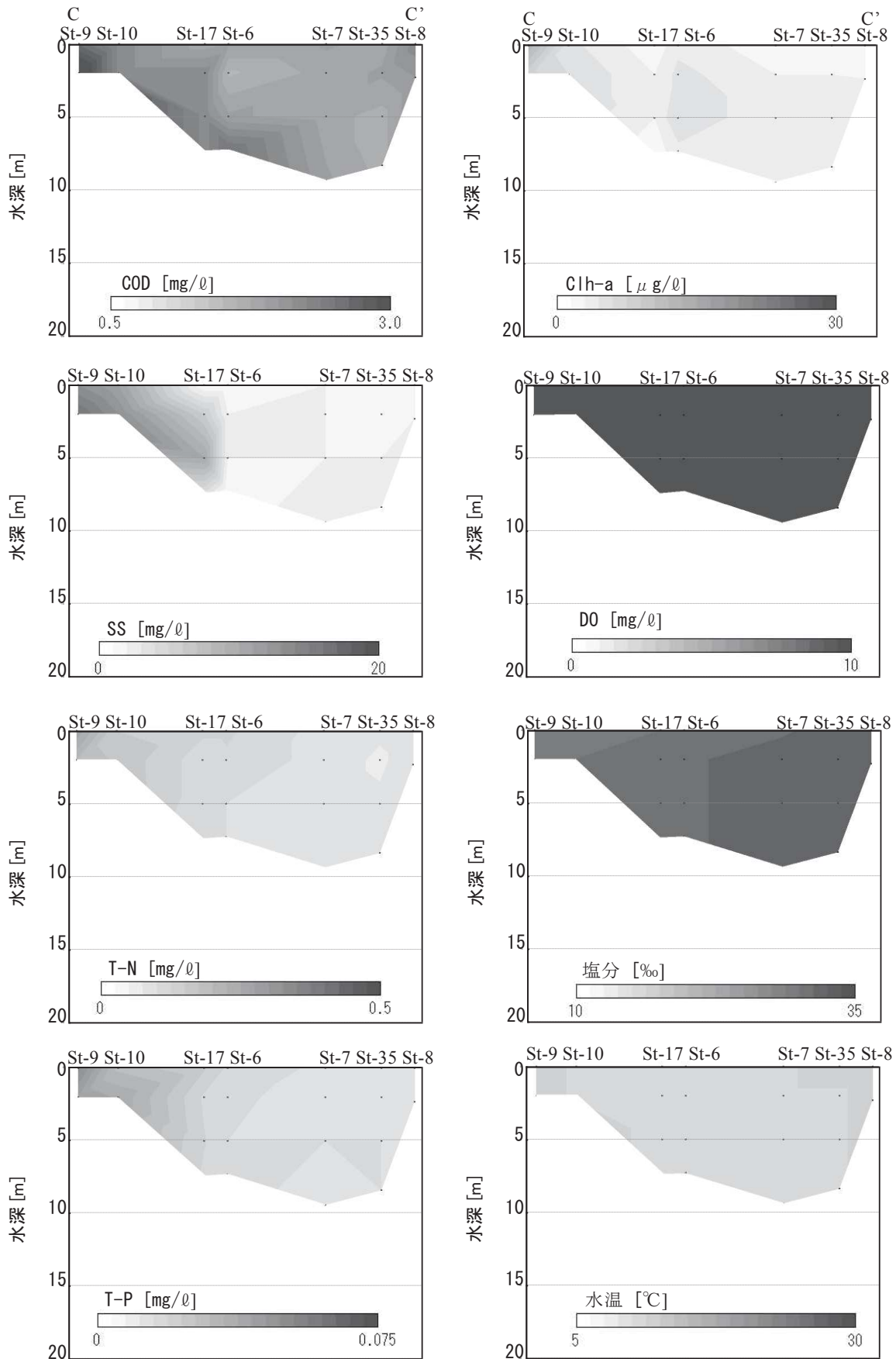
付図5 C-C' 断面濃度コンター図 (H21.7.23)



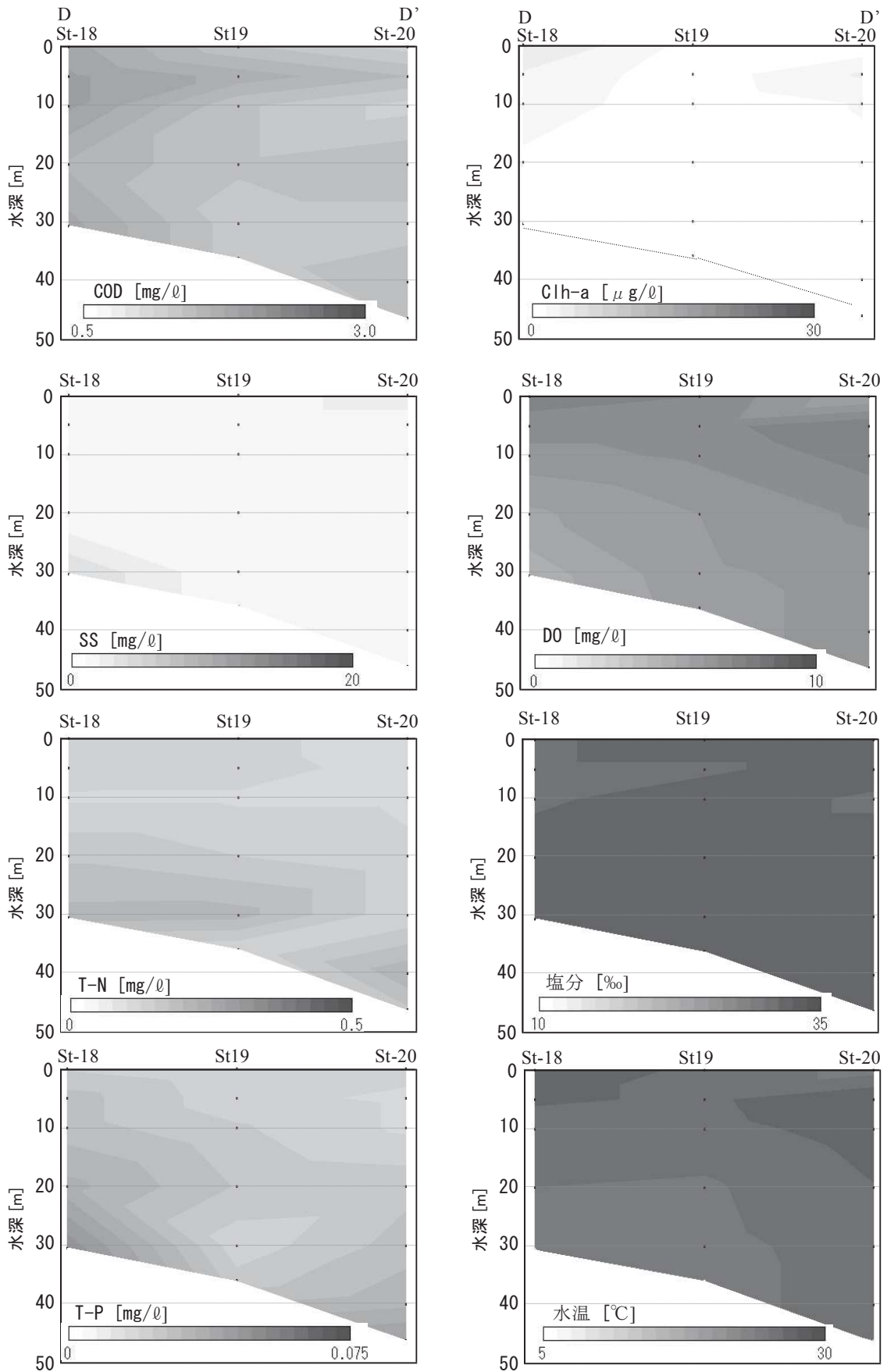
付図 6 C-C' 断面濃度コンター図 (H21. 7. 29)



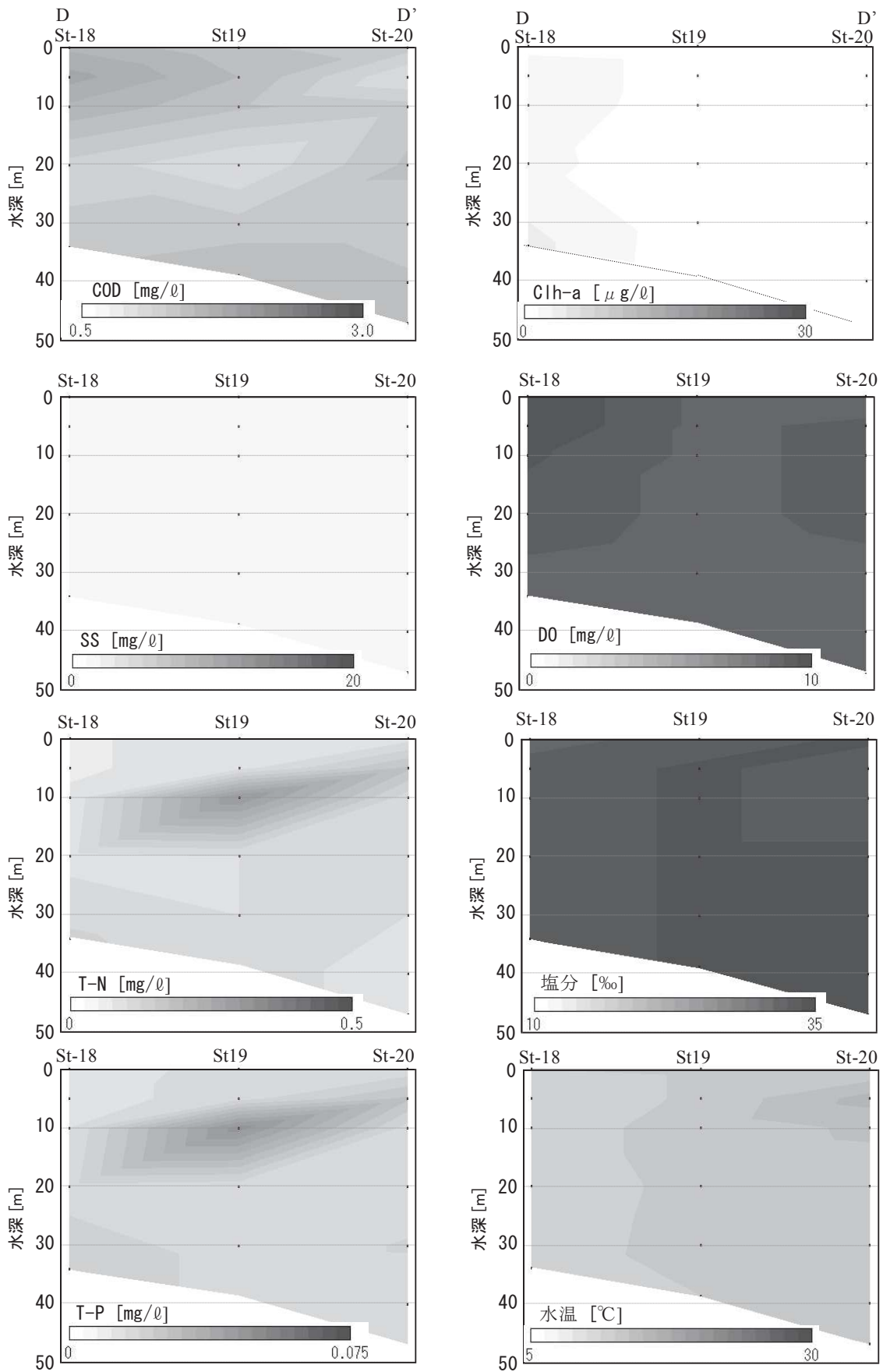
付図7 C-C' 断面濃度コンター図 (H21.8.9)



付図 8 C-C' 断面濃度コンター図 (H23. 2. 24)



付図9 D-D' 断面濃度コンター図 (H23. 8. 9)



付図 10 D-D' 断面濃度コンター図 (H23. 2. 24)

1 2) 熊本県内河川における大腸菌及び大腸菌群の挙動

—特定酵素基質寒天培地を用いた疎水性格子付きメンブレン

フィルター法 (HGMF 法) による調査結果 (H23~H24) —

藤本 貴大 永田 武史 小笹 康人

要 旨

新たな環境基準として導入が検討されている、大腸菌数についての分析を熊本県内 33 地点の河川水に対して行い、HGMF 法による大腸菌数、大腸菌群数、従来法での大腸菌群数との比較を行った。

分析の結果、大腸菌群数に占める大腸菌数の比率は 0.0049~0.1285 の範囲であった。また、大腸菌群数については HGMF 法と従来分析法との相関が 0.7995 であった。大腸菌数は水系によって違いが現れ、白川水系の白川合流前(黒川)、白川が流入する丹防橋(堀川)で他水系より高い傾向が見られた。

キーワード：大腸菌数，大腸菌群数，特定酵素基質，
疎水性格子付きメンブレンフィルター法

はじめに

大腸菌は、し尿等による河川水等の環境水の汚染の指標とされ、大腸菌をはじめとした、乳糖を分解しガスを産生するグラム陰性の好気性または通性嫌気性の無芽胞桿菌の数(以下、「大腸菌群数」という。)は公共用水域の環境基準に定められている。本県では公共用水域の常時監視としてブリリアント・グリーン乳糖ブイヨン (BGLB) 培地を用いた最確数による定量法(5 本法)により大腸菌群数の分析を行なっている。

BGLB 培地を用いた最確数による定量法(以下、「BGLB 法」という。)は操作が簡易で器具や試薬に係る費用も低いという長所を有するが、一方で分析精度が低く、再現性も良くないとされている。また、BGLB 法による測定結果は該当するグラム陰性菌に対するも

のであり、土壌等の自然中に存在する菌も含まれる。

そこで環境省においては、し尿等による汚染をより的確に把握するため、大腸菌に選択的に反応する酵素を含んだ培地(特定酵素基質寒天培地)を用いて大腸菌数の測定を行う分析法の導入を検討しており、平成 25 年度内に、大腸菌数の環境基準値(案)を作成する予定である¹⁾。このため、平成 23 年 3 月に環境省より測定法(暫定案)が示された¹⁾。

本研究は、大腸菌数についての研究例が全国的に少ないため²⁾、県内での現状を把握するため、暫定案に従い疎水性格子付きメンブレンフィルター法(以下「HGMF 法」という。)によって県内河川における大腸菌数、大腸菌群数を調査し、従来法である BGLB 法での大腸菌群数とそれぞれ比較しどの程度差が見られ

るか、また、水系及び採水月による違いについて検討を行ったので報告する。

調査方法

1 使用器材

特定酵素基質培地として、クロモアガー社製 ECC 培地を使用した。この ECC 培地には X-GLUC 及び Magenta-GAL の 2 種類の発色酵素基質が含まれている。大腸菌に特異的に含まれる β -グルクロニダーゼにより、X-GLUC が分解され、青色のコロニーとして発色する。また、大腸菌群（乳糖を分解するグラム陰性菌の総称）に含まれる乳糖分解酵素（ β -ガラクトシダーゼ）によって、Magenta-GAL が分解され、赤色のコロニーとして発色する。蒸留水 1l に対して ECC 培地を 32.8g の割合で混合し、沸騰水浴中で加熱溶解させた後に滅菌シャーレに約 5mm の厚さになるように分注し凝固させたものを平板培地として使用した。

疎水性格子付きメンブランフィルターとして、GSI クレオス社製 ISO-Grid メンブランフィルターを使用した。このフィルターは孔径 0.45 μ m であり、5cm \times 5cm の範囲を疎水性の格子で 1600 の区画 (40 \times 40) に区切られている。各区画は一辺 1mm の正方形であり、格子の幅は 0.25mm である。

2 分析方法

環境省が提示した方法をもとに分析を行った。ファンネル付きのフィルターホルダーに保持されたメンブランフィルターに 1g/l 滅菌ペプトン水約 45ml と河川水試料を適量 (5ml または 10ml) 注入し、吸引ろ過を行った。その後 1g/l 滅菌ペプトン水約 30ml でファンネルを洗浄しながら、洗浄液も併せて吸引ろ過をした。

吸引ろ過後、メンブランフィルターをホルダーから外し、平板培地に貼り付け、37°C で 24 時間培養した。

培養後、青色のコロニーが発生した区画を数え、大腸菌数を以下の式より算出した。

$$a = [N \ln \{N/(N-x)\}] \times 100/V \quad (1)$$

a : 試料 100ml 中の大腸菌数 [MPN/100ml]

N : 区画総数 (=1600)

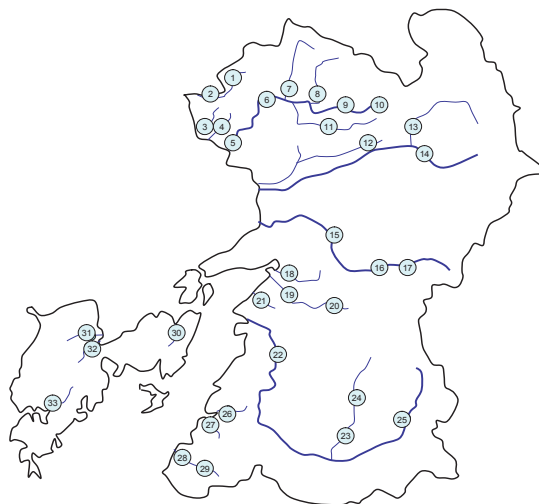
x : コロニーが発生している区画の数

V : ろ過に用いた試料の量 (ml)

また、青色及び赤色のコロニーが発生した区画の合算値から(1)式より、大腸菌群数を算出した。

3 調査地点・期間

調査地点は環境監視地点のうち、当所が大腸菌群数を測定している 33 地点について、平成 23 年 10 月から平成 25 年 3 月にかけて BGLB 法と並行して HGMPF 法による分析を行った。調査地点の位置について図 1 に示す。期間中の調査回数は 1 地点につき 5~18 回であり、検体数は 327 だった。



No	地点名	河川	No	地点名	河川	No	地点名	河川
1	助丸橋	関川	12	丹防橋	堀川	23	川辺大橋	川辺川
2	杉本橋	関川	13	白川合流前	黒川	24	藤田	川辺川
3	波華家橋	菜切川	14	妙見橋	白川	25	一房ダム	球磨川
4	行末橋	行末川	15	乙女橋	緑川	26	柞橋	佐敷川
5	新大浜橋	菊池川	16	船津ダム	緑川	27	広瀬橋	湯の浦川
6	菰田橋	菊池川	17	津留橋	緑川	28	鶴田橋	水俣川
7	宗方	吉田川	18	上砂川橋	砂川	29	桜野橋	水俣川
8	袋田	上内田川	19	水川橋	氷川	30	倉江橋	教良木川
9	木庭橋	菊池川	20	白岩戸橋	氷川	31	法泉寺橋	広瀬川
10	念仏橋	菊池川	21	第二大韮橋	大韮川	32	草積橋	亀川
11	藤巻橋	合志川	22	坂本橋	球磨川	33	一町田橋	一町田川

図 1 調査地点図

調査結果及び考察

1 調査結果の概要

大腸菌群数について全 327 検体の BGLB 法と HGMPF 法との分析値との関係を図 2 に示す。2 つの手法間の相関係数は 0.7995 であった。

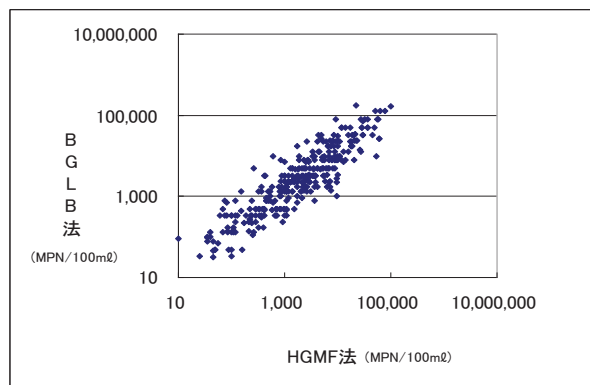


図 2 大腸菌群数の BGLB 法と HGMPF 法での相関

各地点における、HGMF 法による大腸菌数及び大腸菌群数の調査結果（最小値，最大値，幾何平均値），BGLB 法による大腸菌群数の調査結果（最小値，最大値，幾何平均値）を表 1 に示す。なお，同一地点の測定値において値が大きく変わるため，本研究では大腸菌数，大腸菌群数の平均値についてのみ幾何平均値を用いた。

また，HGMF 法による大腸菌群数に占める大腸菌数の比率も併せて表 1 に示す。なお，幾何平均値の算出に際し，大腸菌数または大腸菌群数が不検出（N.D.）であったデータについては，報告下限値である 1MPN/100ml として算出した。

大腸菌群数について HGMF 法及び BGLB 法の幾何平均値を比較した結果，両者の比は 0.3861～1.5808 の範囲で，平均値は 0.7729 であり，同一地点においては HGMF 法による大腸菌群数の値が BGLB 法に比べ低くなる傾向が見られた。その理由について，それぞれの分析法で検出する菌種が異なるためと考えられるが，詳細は不明である。

大腸菌群数については生活環境の保全に関する環境基準が定められている（AA 類型：50 MPN/100ml，A 類型：1,000 MPN/100ml，B 類型 5,000 MPN/100ml）。

今回調査を行った地点で，環境基準の類型指定がされている 31 地点のうち，AA 類型では 7 地点中 0 地点，A 類型では 20 地点中 3 地点，B 類型では 4 地点中 2 地点で HGMF 法による大腸菌群数の幾何平均値が環境基準を下回っており，内訳は新大浜橋（A 類型），坂本橋（A 類型），川辺大橋（A 類型），波華家橋（B 類型），上砂川橋（B 類型）の 5 地点であった。なお，BGLB 法による大腸菌群数の幾何平均値では，AA 類型では 7 地点中 0 地点，A 類型では 20 地点中 1 地点，B 類型では 4 地点中 1 地点で環境基準を下回っており，内訳は川辺大橋（A 類型）及び波華家橋（B 類型）の 2 地点であった。AA 類型の河川で両分析法において環境基準を下回った地点が 0 なのは，AA 類型の環境基準が 50MPN/100ml と大変厳しく，達成は困難であるためこのような結果になったと考えられた。

幾何平均値で比較した場合，HGMF 法による大腸菌群数に占める大腸菌数の比率は 0.0049～0.1285 の範囲であった。比率についてほとんどの地点が 0.05 未満であったが，黒川の白川合流前及び川辺川上流の藤田については，それぞれ 0.1285 及び 0.0678 と高い値を示した。一方，一番低かったのは氷川の白岩戸で 0.0049 次いで湯の浦川の広瀬橋で 0.0071 であった。

和波ら²⁾は，東京都内河川を調査した結果，大腸菌

群数に占める大腸菌数の割合は 5%程度であったと報告しており，それと比較すると本県では大腸菌群数に占める大腸菌数の比率は東京都の河川に比べ低い地点が多いことがわかった。なぜこのような結果になったかの要因等についての検討は今後の課題とし，本県での調査を続ける。

大腸菌数については，白川水系である白川合流前及び白川の河川水が流入している丹防橋においては，大腸菌数が他の水系と比べ比較的高い値を示した。白川合流前（黒川）は調査地点の中で最も大腸菌数の幾何平均値が高く，大腸菌群数に占める大腸菌数の割合も最も高かった。

2 大腸菌数，大腸菌群数の変動について

調査地点のうち，調査回数が 10 回を超えている地点の大腸菌数，大腸菌群数及び水温との相関を図 3～5 に示す。

HGMF 法による大腸菌群数と水温の相関係数は 0.5339，BGLB 法による大腸菌群数と水温の相関係数は 0.3720 であり正の相関が見られ，水温の高くなる春から夏にかけて数が増加し，水温の低下する秋から冬にかけて数が減少していた。大腸菌数に関しては相関係数が -0.0355 と水温との相関は見られなかった。

草積橋及び坂本橋においては，他の地点と異なり，大腸菌数や大腸菌群数が特異的に高い値を示す調査月があった。

そこで，この 2 地点について大腸菌数や大腸菌群数と他の生活環境項目及び気象状況との関係について検討を行った。

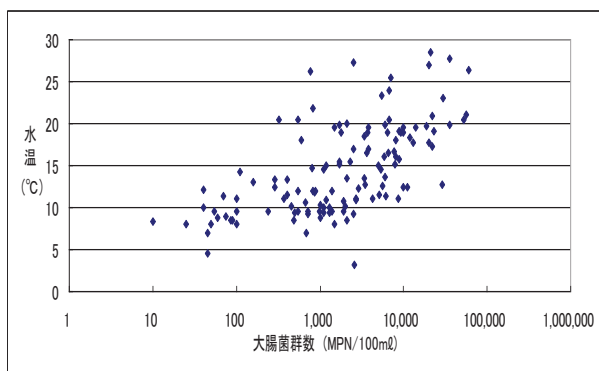


図 3 水温と大腸菌群数 (HGMF 法)

2.1 草積橋（亀川）の事例

草積橋における大腸菌数は，期間中 9 回の調査で，概ね 10～240 MPN / 100 ml であったが，平成 24 年 6 月の調査時において，10,000 MPN/100ml という特異的な値を示した。大腸菌群数についても，概ね 820～10,000

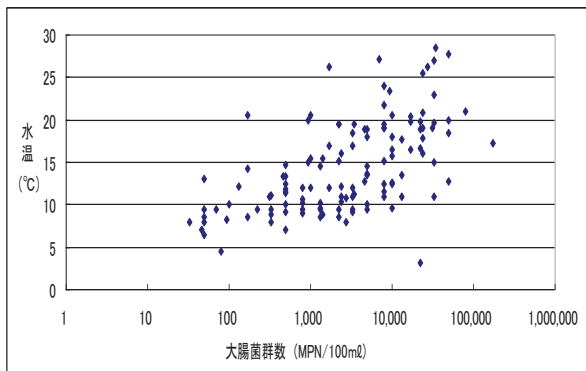


図4 水温と大腸菌群数(BGLB法)

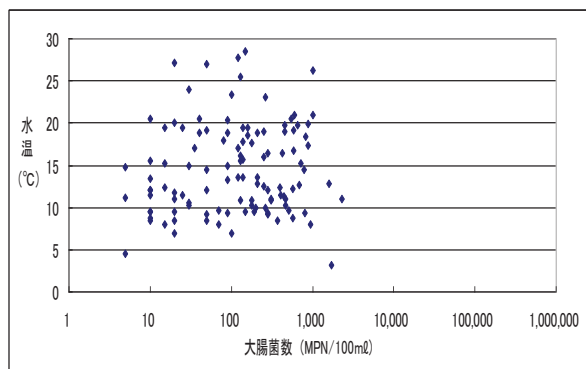


図5 水温と大腸菌数(HGMF法)

MPN / 100 ml であったものが、平成 24 年 6 月は 78,000 MPN / 100 ml と最も高い値を示した。

各調査月における大腸菌数、HGMF 法による大腸菌群数、生活環境項目 (BOD, COD, SS) 及び採水前 24 時間の降水量、採水前 1 週間の降水量 (本渡アメダスデータ) の値を表 2 に示す。

表 2 草積橋の調査結果

調査年月日	大腸菌数	大腸菌群数	水温(°C)	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	SS(mg/L)	24h降水量(mm)	1週間降水量(mm)
2011/10/11	200	10,000	25	0.8	2.4	4	0	0
2011/12/6	170	2,900	12	0.5	0.7	1	0	23
2012/2/21	140	820	8	0.5	1.5	1	0	9
2012/4/18	10	1,000	20	0.5	2.1	4	0	6
2012/6/5	10,000	78,000	22	0.8	3.1	9	9	10.5
2012/8/1	120	17,000	29	0.5	2.1	5	0	10.5
2012/10/3	240	8,300	25	0.6	2.8	5	0	24
2012/12/11	80	1,200	8.5	0.5	1.6	2	0	18
2013/2/20	60	1,400	9.5	0.5	2.0	4	0	59

注) 大腸菌数、大腸菌群数の単位：MPN/100ml

BOD, COD, SS のいずれについても、平成 24 年 6 月の値はその他の月の平均値よりもやや高い値であった。平成 24 年 6 月については採水前 24 時間で 9mm の降水があった。調査日前の一週間の降水量は 10.5mm であった。平成 25 年 2 月には、24 時間降水量が 0mm、調査日前の一週間の降水量は 59mm あったが、大腸菌

数は 60 MPN / 100 ml、大腸菌群数は 1,400 MPN / 100 ml と高くはなかった。以上のことから、平成 24 年 6 月の特異的な値は採水前 24 時間の降水が要因と考えられる。

2.2 坂本橋 (球磨川) の事例

坂本橋における大腸菌数は、期間中 18 回の調査で、概ね不検出(N.D.)~210 MPN / 100 ml であったが、平成 24 年 7 月の調査時において大腸菌数が 1,000 MPN/100ml という比較的高い値を示した。大腸菌群数についても、概ね 10~2,500 MPN / 100 ml であったものが、平成 24 年 7 月は 60,000 MPN / 100 ml と最も高い値を示した。

各調査月における大腸菌数、HGMF 法による大腸菌群数、生活環境項目 (BOD, COD, SS) 及び採水前 24 時間の降水量、採水前 1 週間の降水量 (一勝地アメダスデータ) の値を表 3 に示す。

表 3 坂本橋の調査結果

調査年月日	大腸菌数	大腸菌群数	水温(°C)	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	SS(mg/L)	24h降水量(mm)	1週間降水量(mm)
2011/10/5	N.D.	1,700	20	0.7	0.8	1	1.5	21.5
2011/11/22	90	1,800	19	0.8	1.8	2	0	65.5
2011/12/7	10	410	13	0.5	1.0	2	0	22
2012/1/18	10	240	9.5	0.8	1.8	2	0	19
2012/2/1	N.D.	10	8.3	0.7	1.6	2	0	0
2012/3/7	210	2,100	14	0.6	1.8	5	0	60
2012/4/10	N.D.	110	14	0.6	1.2	1	0	0
2012/5/15	40	540	21	0.5	1.3	3	13	25
2012/6/5	N.D.	830	22	0.9	2.3	3	4.5	11.5
2012/7/17	1,000	60,000	26	0.5	2.7	57	18	300
2012/8/7	20	2,500	27	0.6	1.3	4	0	9.5
2012/9/12	N.D.	770	26	0.5	1.5	3	0	9.5
2012/10/16	10	320	21	1.0	1.7	2	0	0
2012/11/14	130	2,300	16	0.5	1.8	3	21.5	50.5
2012/12/4	50	880	12	0.5	1.8	3	5	22.5
2013/1/9	10	60	8.8	0.5	1.1	2	0	0
2013/2/13	50	490	8.5	0.5	1.6	7	15	30
2013/3/6	10	70	11	0.5	1.0	4	0	31.5

注) 大腸菌数、大腸菌群数の単位：MPN/100ml

平成 24 年 7 月の調査時には採水前 24 時間の降水量が 18mm あり、大腸菌数や大腸菌群数とともに SS が特異的に高い値であった。

平成 24 年 7 月の調査では、調査日の一週間前から上流域で大規模な降水 (人吉のアメダスデータでは 7 月 11 日から 7 月 14 日にかけて 201.5mm の降水) があり、河川の SS が増加し、それにともない大腸菌数及び大腸菌群数が増大したと考えられた。

一方、平成 24 年 11 月の調査では、採水前 24 時間の降水量が 21.5mm と 7 月より多かったが、上流域の人吉における調査日前の一週間の降水量は 37mm と低く、

大腸菌や大腸菌群は増加しなかった。

まとめ

本研究では、特定酵素基質を用いた HGMF 法による大腸菌数及び大腸菌群数の調査を行い、従来法である BGLB 法との比較及び地点や調査月による結果の差異の要因について検討を行った。

大腸菌群数における HGMF 法と BGLB 法の 2 種類の分析手法間の相関係数は 0.7995 であった。また、大腸菌群数についての HGMF 法と BGLB 法の幾何平均値の比は平均 0.77 であり、HGMF 法が BGLB 法よりやや低い値を示す傾向が見られた。

HGMF 法によって分析された大腸菌数の大腸菌群数に占める比率は 0.0049～0.1285 の範囲であり、大腸菌数の占める比率から大腸菌群の大部分は土壌等自然由来のものが多く、し尿等による汚染に由来するものではない可能性が示唆された。大腸菌群数による環境基準に対する評価では、浄化槽の発達、下水道の普及、

農業の化学肥料化等が進んだ現在において過去の基準では現状にそぐわず、し尿等による汚染の程度を適切に表していない可能性があることが本調査でも示された。

草積橋（亀川）と坂本橋（球磨川）の事例を比較した結果、亀川のような小規模河川では採水前 24 時間の降水が大腸菌数や大腸菌群数の増大に影響しているが、球磨川のような集水域の大きな河川では、一週間前の降水が大腸菌数や大腸菌群数の増大に影響していることがわかり、河川の規模により大腸菌数の変動の要因が異なることが明らかとなった。

文献

- 1) 環境省：環境省水・大気環境局水環境課長通知，環水大水発第 110324001 号，平成 23 年 3 月 24 日
- 2) 和波一夫，石井真理奈，木瀬晴美：東京都環境科学研究所年報，9-19（2010）

表1 各地点調査結果

地点名	環境基準 類型	調査回数	大腸菌数 [MPN/100mL]			大腸菌群数(HGMF法) [MPN/100mL]			大腸菌数/大腸菌群数 (HGMF法)	大腸菌群数(BGLB法) [MPN/100mL]		
			最小	最大	幾何平均	最小	最大	幾何平均		最小	最大	幾何平均
木庭橋	AA	9	10	60	27	100	6,400	770	0.0351	130	3,300	783
念仏橋	AA	6	N.D.	15	4	35	1,100	264	0.0168	33	490	167
妙見橋	AA	17	20	890	145	290	36,000	2,980	0.0488	490	49,000	3,960
津留橋	AA	18	N.D.	140	14	40	14,000	419	0.0334	46	7,900	489
藤田	AA	8	N.D.	60	11	35	1,400	167	0.0678	31	1,300	223
市房ダム	AA	18	N.D.	160	10	N.D.	8,000	277	0.0351	33	10,000	410
桜野橋	AA	9	N.D.	160	29	120	7,600	1,150	0.0251	330	4,900	994
助丸橋	A	10	90	600	214	1,000	56,000	6,420	0.0333	490	79,000	8,780
杉本橋	A	10	20	890	262	710	53,000	6,940	0.0377	330	172,000	10,500
新大浜橋	A	8	N.D.	30	13	80	4,300	610	0.0210	230	13,000	1,580
菰田橋	A	6	90	950	291	2,600	27,000	6,190	0.0470	2,500	13,000	5,150
藤巻橋	A	18	30	2,300	220	980	36,000	5,560	0.0396	3,300	49,000	10,200
丹防橋	A	9	110	1,200	312	880	59,000	6,800	0.0458	1,400	79,000	11,500
白川合流前	A	17	90	1,700	471	500	23,000	3,670	0.1285	790	49,000	6,630
乙女橋	A	6	30	70	46	410	16,000	1,670	0.0278	490	33,000	3,260
船津ダム	A	6	N.D.	90	15	220	36,000	1,080	0.0136	490	79,000	2,290
氷川橋	A	9	N.D.	1,000	40	120	19,000	1,230	0.0324	130	17,000	1,980
白岩戸	A	5	N.D.	30	9	1,000	3,500	1,860	0.0049	490	4,900	1,670
坂本橋	A	18	N.D.	1,000	14	10	60,000	576	0.0245	93	27,000	1,310
川辺大橋	A	9	N.D.	70	14	35	4,100	306	0.0458	49	4,900	451
梶橋	A	9	10	310	52	150	14,000	1,570	0.0329	170	49,000	1,850
広瀬橋	A	9	N.D.	50	11	330	8,500	1,560	0.0071	330	17,000	1,610
鶴田橋	A	9	N.D.	150	32	240	6,900	1,240	0.0257	130	13,000	2,230
倉江橋	A	9	10	150	41	240	10,000	1,410	0.0292	230	10,000	1,950
法泉寺橋	A	9	30	280	86	830	30,000	3,740	0.0230	790	70,000	3,570
草積橋	A	9	10	10,000	159	820	78,000	4,240	0.0376	330	130,000	6,000
一町田橋	A	9	40	470	103	70	61,000	2,060	0.0499	130	27,000	2,340
波華家橋	B	9	10	740	79	450	18,000	2,710	0.0291	940	27,000	3,770
行末橋	B	9	20	750	143	2,200	100,000	9,430	0.0151	1,700	170,000	13,900
上砂川橋	B	9	N.D.	1,700	104	80	62,000	2,890	0.0358	330	130,000	7,160
第二大鞆橋	B	9	110	580	273	1,700	52,000	10,700	0.0255	1,700	130,000	12,300
宗方		6	20	240	111	590	26,000	4,170	0.0266	460	14,000	4,020
袋田		6	80	240	110	990	18,000	3,710	0.0298	1,700	17,000	4,800