

河川感潮域における青潮および悪臭発生原因調査（第2報）

山守英朋，岡村祐里子，中島寛則，平生進吾，鷺崎巳和*，熊崎文菜*

Research on Generation Mechanism of Green Tide and Odor in Tidal Area (2)

Hidetomo Yamamori, Yuriko Okamura, Hironori Nakashima,
Shingo Hirao, Miwa Suzaki*, Ayana Kumazaki*

2015年度に引き続き，山崎川で，青潮，悪臭の発生原因調査を行った．2016年度は，名古屋港の水質変動が中流域の水質変動へ及ぼす影響について考察する目的で，前年度の山崎橋，青峰橋に加えて，最下流の東築地橋を測定地点とした．

多項目水質計の測定結果から，東築地橋においては，初夏から秋にかけて成層化し，結果として，10月に最も水質が悪化し，ORPが負の値で，溶存酸素も1 mg/L未満となり，貧酸素水塊が形成された．中流域の山崎橋，青峰橋においても，同時期に貧酸素水塊が形成され，山崎橋では，1月においても解消されなかった．また，青峰橋では，7月～10月に貧酸素水塊が形成され，1月には解消された．

このように，東築地橋でも，10月には水質が悪化し，貧酸素水塊が形成されるものの，その上流部では，もっと早い時期から形成され，山崎橋に至っては，冬季でも持続していた．このことから，名古屋港の水質変動とは異なった要因にて中流部の水質悪化が起こっている可能性が示唆された．

はじめに

調査概要

2015年度までの調査で，山崎川中流～下流域の底層に貧酸素水塊が形成され，それには季節変動があり，春季～秋季にかけて存在し，夏季に最も発達し，冬季には解消していることが分かった．また，貧酸素水塊は，青峰橋より下流側でよく観察されるが，潮の干満の影響を受けて，満潮時は山崎橋表層付近でも観察されているようであった．

また，忠治橋，青峰橋の底層水のORPは-200 mVを下回っており，冬季を除いて硫酸還元が起こる環境であることも分かった．

一方，悪臭は師長小橋より下流側の地点で測定を行ったが検出には至っていない．したがって，青潮現象のように，季節変動，潮位の影響，発生位置等の特定には至っていない．

本報告では，山崎川中流域の貧酸素水塊形成に，名古屋港水質の水質変動の寄与を明らかにする目的で，河口付近の1地点および中流域の2地点にて，初夏～冬季にかけて調査を行い考察した．

1. 調査日および調査場所

2015年の調査結果より，貧酸素水塊は夏季に最大となり，冬季に向けて解消していくことが分かったため，2016年度は初夏～盛夏の調査頻度を上げて行うこととした．

調査は2016年6月28日，7月28日，8月26日，10月21日，2017年1月20日に行った．表1に調査4日前～調査日の名古屋地方気象台における日降水量を示した．なお，6月28日の日降水量は34.0 mmであり，午前1時～午前7時まで降雨が観測されたが，以後は観測されていなかった．

図1には，各調査日の名古屋港における潮位を示す．なお，調査は9時～15時で行ったため，調査実施時刻は実線とした．また，今回の調査は，潮名もほぼ小潮に統一し実施した．

また，調査は，上流側から山崎橋（河口から約4.8 km），青峰橋（約4.2 km），東築地橋（約0.2 km）にて行った．また，山崎橋の1月のデータは，山崎橋にて工事が行われていたため，その下流の呼続橋（河口から約4.6 km）にて行ったものである．

表 1 調査日付近の日降水量

調査日	日降水量(mm)				
	当日	前日	前々日	3日前	4日前
6月28日	34.0	4.0	0	11.5	10.5
7月28日	0	0	61.0	—	—
8月26日	0	1.0	5.0	0	—
10月24日	—	—	0	—	0
1月20日	0	0	—	—	0.5

* —は該当現象による量がないことを表す

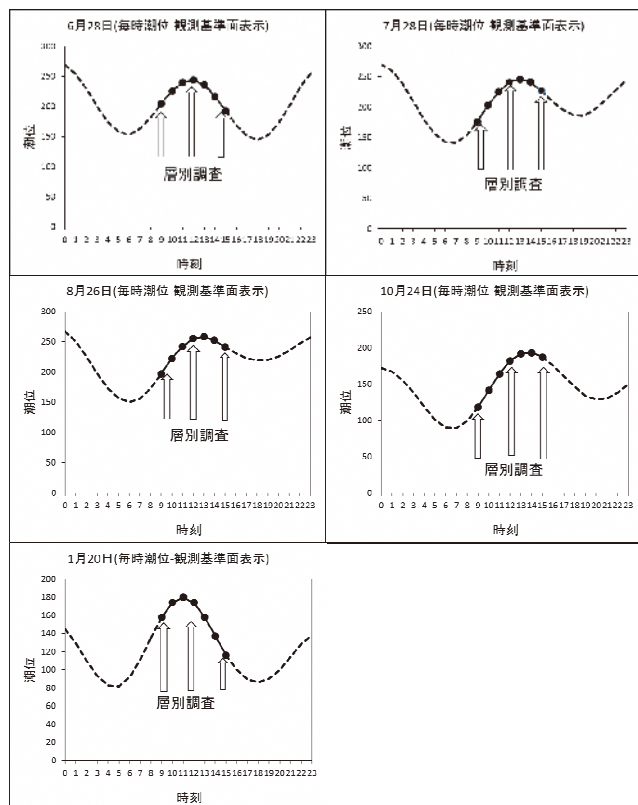


図 1 各測定日の名古屋港の潮位変動

2. 調査項目

1) 多項目水質計

多項目水質計を用いて、表層から河床-1 m（山崎橋は河床-0.5 m）の深さまで、0.5 m 刻み（東築地橋は 1.0 m 刻み）で層別の水質調査を実施した。なお、層別調査は、測定開始時（上げ潮時）、正午（満潮時）、測定終了時（下げ潮時）の 3 回（図 1 における矢印の時刻）実施した。

それとは別に、層別調査を実施していない時刻では、河床-1 m（山崎橋は河床-0.5 m）に多項目水質計を固定し、底層水質の経時的な水質データを測定した。

層別調査、経時調査とも、測定項目は、水温、pH、塩分、ORP、溶存酸素、濁度とした。

2) 水中の各態硫黄分析

毎正時に、ハイロート採水器を用いて、表層水およ

び河床-1 m の水（底層水）を採水した（山崎橋は河床-0.5 m）。

粒子状硫黄の測定には表層水を用い、採水後、空気と触れないように密栓して実験室に持ち帰り、試料水 50 mL を 0.1 μ m のメンブランフィルターでろ過し、メンブランフィルターをマイクロウェーブ分解法にて分解して、分解液中の硫黄を ICP 発光分光分析法にて定量した。

硫化物イオンの測定には底層水を用い、採水後、速やかに試料水 40 mL に対し、40%水酸化ナトリウム水溶液 4 mL を添加した。その後、実験室に持ち帰り、イオン強度調整剤を添加し、イオン電極法にて定量した。

3) 現場大気中の硫化水素ガス分析

現場大気における硫化水素ガスの測定のため、テフロン管の先端にロートを装着したサンプリング管を、橋梁より河川水面に向け垂らし、川面の直上に設置した。次に、サンプリング管内の空気を試料空気に置換後、テドラーバッグにサンプリング管の一方を接続し、河川水面付近の空気をテドラーバッグ中に、毎分 1 L で 10 分間吸引して試料採取を行った。

実験室では、液体アルゴンにて濃縮後、GC-FPD にて、大気中の硫化水素を測定した。

調査結果

1) 各地点の層別調査結果

図 2～図 7 に項目毎の層別調査結果を示した。なお、図中で灰色の網掛けグラフは、X 軸のスケールが他のグラフと異なっていることを表している。

水温を測定日毎に比較すると、全ての地点において、6 月～8 月にかけて上昇し、10 月、1 月の順に低下した。また、7 月と 8 月では、表層～底層までほぼ同一温度であるのに対し、10 月と 1 月では、表層が低くなっていた。

塩分は山崎橋の 6 月を除き、表層で低く底層では高い値となっていた。即ち、潮汐により山崎橋まで海水が遡上していることが分かる。また、東築地橋と他の 2 地点では、東築地橋が全層・全時期にて最も高く、以下青峰橋、山崎橋の順に低下していた。なお、山崎橋と青峰橋では表層において、上流からの淡水の流下の影響で低くなっている。一方、東築地橋では、6 月と 7 月は降雨の影響からか表層で低下しているが、10 月と 1 月では、表層でも 20 PSU (Practical Salinity Unit: 実用塩分単位) 程度となっていた。

ORP は山崎橋では、8 月以降(上げ潮の表層を除外)負の値となり、以後 10 月(通日)および 1 月(上げ潮の底層および満潮時の全層)で負の値であった。青峰橋では、6 月に一部で負の値となった以降、7 月～10 月では全層で負の値となった。一方、1 月は正の値となった。東築地橋では、7 月の下げ潮で一部負の値となったものの、濁度も高くなっており、底質の舞い上がりの影響を受けた可能性があるため、除外して考えると、10 月のみ負の値となり他は正の値であった。

溶存酸素では、ORP が負の値となっている時期の層では、ほぼ 1 mg/L 未満の値となっており、貧酸素状態となっていた。

ORP 及び溶存酸素の季節変動から、夏季に底層付近に貧酸素水塊が形成され、冬季には解消されていることが改めて確認された。

そのメカニズムとしては、層別水温変化から、夏季では表層～底層まで温度変化が少ない様な水温であるのに対し、10 月や 1 月では表層が非常に低く底層で高い状態となっており、夏季から秋季にかけての気温の低下とともに、表層と底層の間で水の循環が起きていると考えられた。その結果、冬季の方が底層に酸素が行き渡りやすい環境となり、貧酸素水塊が解消していくものと考えられた。ただ、10 月では、まだ気温が高い日も多いため、夏季に形成された貧酸素水塊が解消されておらず、結果として調査期間で最も水質が悪化していたと考えられた。

また、貧酸素水塊が確認できた時期として、東築地橋は 10 月のみ、青峰橋では 7 月～10 月、山崎橋では 8 月～1 月(呼続橋)であり、上流側の方が早期にかつ長期間、貧酸素水塊が形成されているようであった。

塩分と ORP との関係から、山崎橋と青峰橋では塩分の増加とともに ORP が低下しており、塩分が 20PSU 程度に増加すると、ORP は -100 mV 程度に低下していた。一方、東築地橋では同様な傾向は認められなかった。

2) 底層水の経時調査結果

底層に多項目水質計を固定し、底層水質の経時的な変動を測定した。図 8～図 13 に結果を示した。

なお、図中で灰色の網掛けグラフは、Y 軸のスケールが他のグラフと異なっていることを表している。

水温の傾向は 3 地点とも同様で、6 月～8 月にかけて増加し、以後 10 月、1 月と順に低下していた。また、潮汐等の影響は特に認められず、終日一定の値となっていた。

塩分は 6 月の山崎橋では通日、青峰橋では特に午前

中の測定結果において、降雨の影響から非常に低い値となったが、東築地橋では降雨の影響は認められず、通年で安定していた。山崎橋の 7 月と 8 月の塩分は変動が激しいが、10 月では安定している。これは、この地点の水深が非常に浅く、センサー設置水深のわずかな差で水質変動が大きくなるためと考えられた。

ORP は山崎橋では 6 月と 7 月が正の値を示し、8 月～1 月では負の値となっていた。青峰橋では 6 月の下げ潮時および 7 月～10 月で負の値となっており、1 月では正の値となっていた。東築地橋では 7 月の下げ潮時が、底質の舞い上がりの影響と考えて除外すると、10 月のみ負の値となり他は正の値であった。

溶存酸素は ORP が負の値を示した時は、ほぼ 1 mg/L 未満の貧酸素状態であった。

濁度は青峰橋のみ全期間で測定し、他の地点では 8 月以降欠測であったが、青峰橋では下げ潮時に濁度が上昇する傾向が認められた。

3) 各態硫黄の測定結果

図 14 に底層水中の硫化物イオンの経時変化、図 15 に表層水中の粒子状硫黄および硫酸の経時変化を示した。なお、図中で灰色の網掛けは、Y 軸のスケールが他のグラフと異なっていることを表している。

底層水中の硫化物イオンは 8 月と 10 月の山崎橋および青峰橋で検出され、ORP が負の値となっている結果と一致した。ただし、7 月の青峰橋と 10 月の東築地橋では、ORP が負の値であったが硫化物は不検出であった。また、上げ潮時に高い傾向が認められた。

表層水中の粒子状硫黄は山崎橋および青峰橋では、硫化物イオンが検出された月において、比較的濃度が高かった。ただし、東築地橋ではその傾向には当てはまらなかった。また、下げ潮時に濃度が上昇する傾向が認められた。また、濁度との関係については、表層の濁度データの数が少ないため、明確な結論は得られなかった。ただし、他の濁度要因も想定されるため、完全に一致するとは考えにくい。

4) 現場大気中の硫化水素測定結果

現場大気中のガス調査では、唯一冬季調査の呼続橋でのみ硫化水素ガスを検出した。ただ、現場での臭気は特に感じなかった。サンプリングのタイミングとしては、上げ潮時であった。このデータの再現性も含め、次年度以降のデータの蓄積に期待したい。

ま と め

本年度行った調査結果をまとめると、東築地橋の調

査結果から、初夏から夏にかけて気温の上昇とともに成層化が起こり、底層に貧酸素水塊が出来上がった。冬季には気温低下とともにこれは解消され、底層付近の水温が低下し底層の溶存酸素が増加することが分かった。

青峰橋の調査結果も同様な傾向が認められ、東築地橋と同様な季節変動による水質変動が起こっていることも確認された。ただ、水質の悪化は東築地橋に先行し起こっていることも確認された。ORP が負の値となったのは、東築地橋は 10 月であったのが、青峰橋では 7 月であった。

山崎橋の調査結果（1 月のみ呼続橋）からも、他の地点と同様な季節変動による水質変動が確認されたが、1 月調査でも ORP は負の値を示し、溶存酸素も水深 1 m 付近では 1 mg/L を下回り貧酸素となっていた。この地点での水質は青峰橋のように 8 月に悪化し始め、回復は冬季でも途上であることから、下流側の青峰橋より更に遅れた。

また、層別調査結果の青峰橋と山崎橋では、塩分濃度と ORP との間には逆相関の関係があり、塩分濃度が高くなるにつれて ORP が低下する傾向が認められた。この傾向は東築地橋では認められなかった。さらに、ORP が負の値である場合貧酸素となっており、溶存酸素はほとんど存在しなかった。青峰橋での底層水の塩分の経時的な水質変動データでは、6 月と 1 月を除き、終日ほぼ一定の値となっていた。6 月は降雨の影響がある特殊な事例で、1 月は測定水深がやや浅いため変動している可能性が考えられた。これらのデータより、青峰橋では潮汐の影響がなく、底層水は入れ替わっていない可能性が示唆された。また、硫化物イオンと粒子状硫黄の調査結果からも、青峰橋や山崎橋では硫化物イオンが夏～秋の調査で検出され、1 月では呼続橋のみ検出された。粒子状硫黄は 7 月から徐々に増加して 10 月が最大となり、1 月ではほとんど検出されていなかった。

多項目水質計および化学分析結果を総合して、青潮の発生メカニズムを考えると、夏季に成層化により底層の水質環境が悪化し貧酸素水塊が形成され、強い還元的な環境となることで、硫化物イオンが水中で生成あるいは底質から溶出してくる。その後、気温の低下とともに、表層と底層の間で水循環が起こると、底層の貧酸素が徐々に解消される。その過程で、硫化物イオンが河川表層に湧昇し、硫化物イオンは溶存酸素や空気と接触することにより、粒子状硫黄へと変化し青潮として認められる。

この過程は秋～冬で認められるが、下流部（東築地橋付近）は水の入れ替わりが良好であるため、比較的早く貧酸素水塊は解消されるが、上流部（青峰橋～山崎橋）は水の入れ替わりが悪いため、より長期間要すると考えられた。

この現象を直接確認するため、次年度以降、河床未掘削部分の上流側での、潮汐による水の動きについて測定していきたい。

また、今まで硫化水素ガスは不検出であったが、今回初めて呼続橋において検出された。今後、再現性試験を行う必要はあるものの、成層が解消される過程の初期段階において大気中に放出されるのではないかと考えられる。

文 献

- 1) 気象庁：過去の気象データ検索
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 2) 気象庁：潮汐観測資料検索
<http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/genbo/index.php>

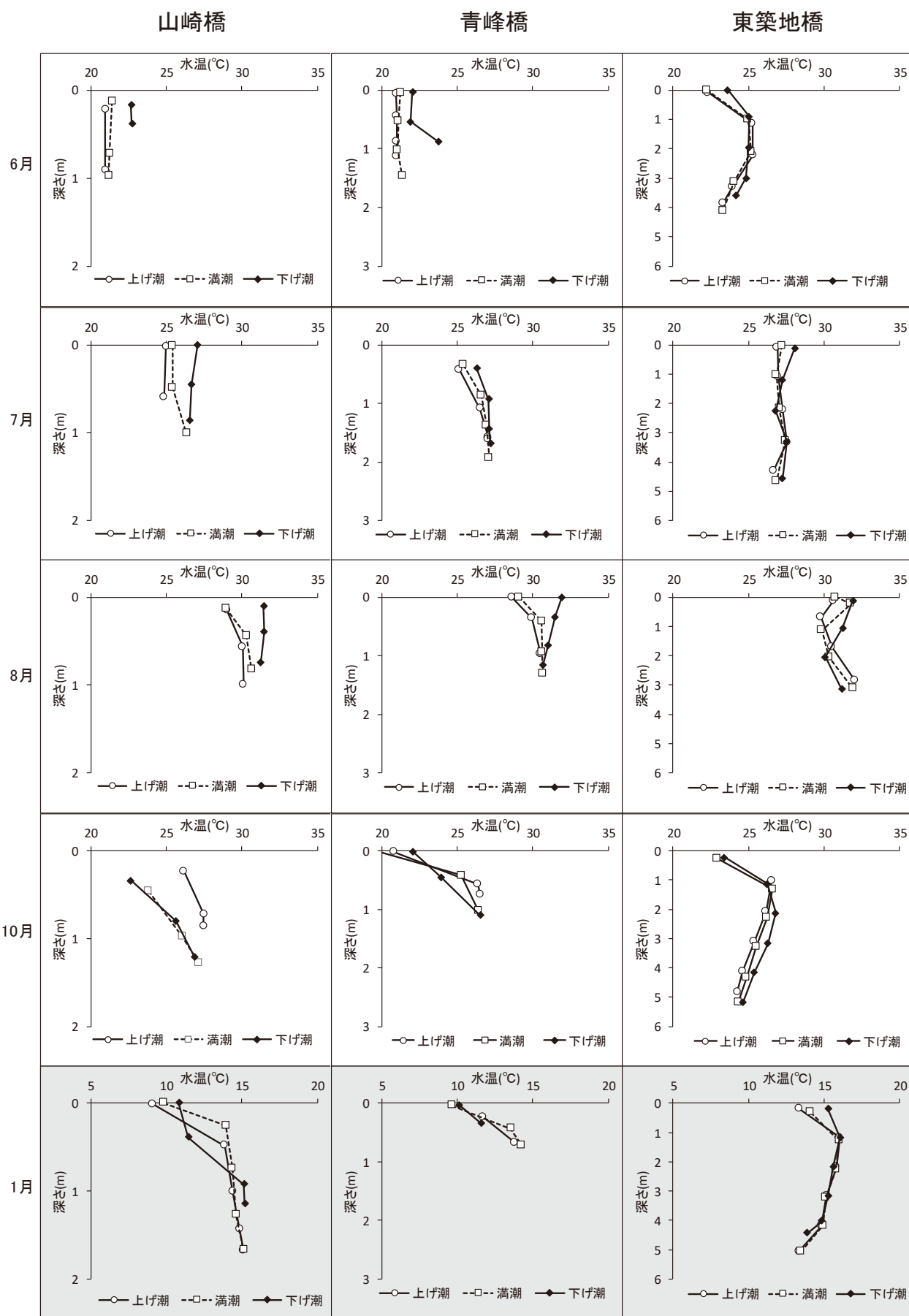


図 2 層別水温測定結果

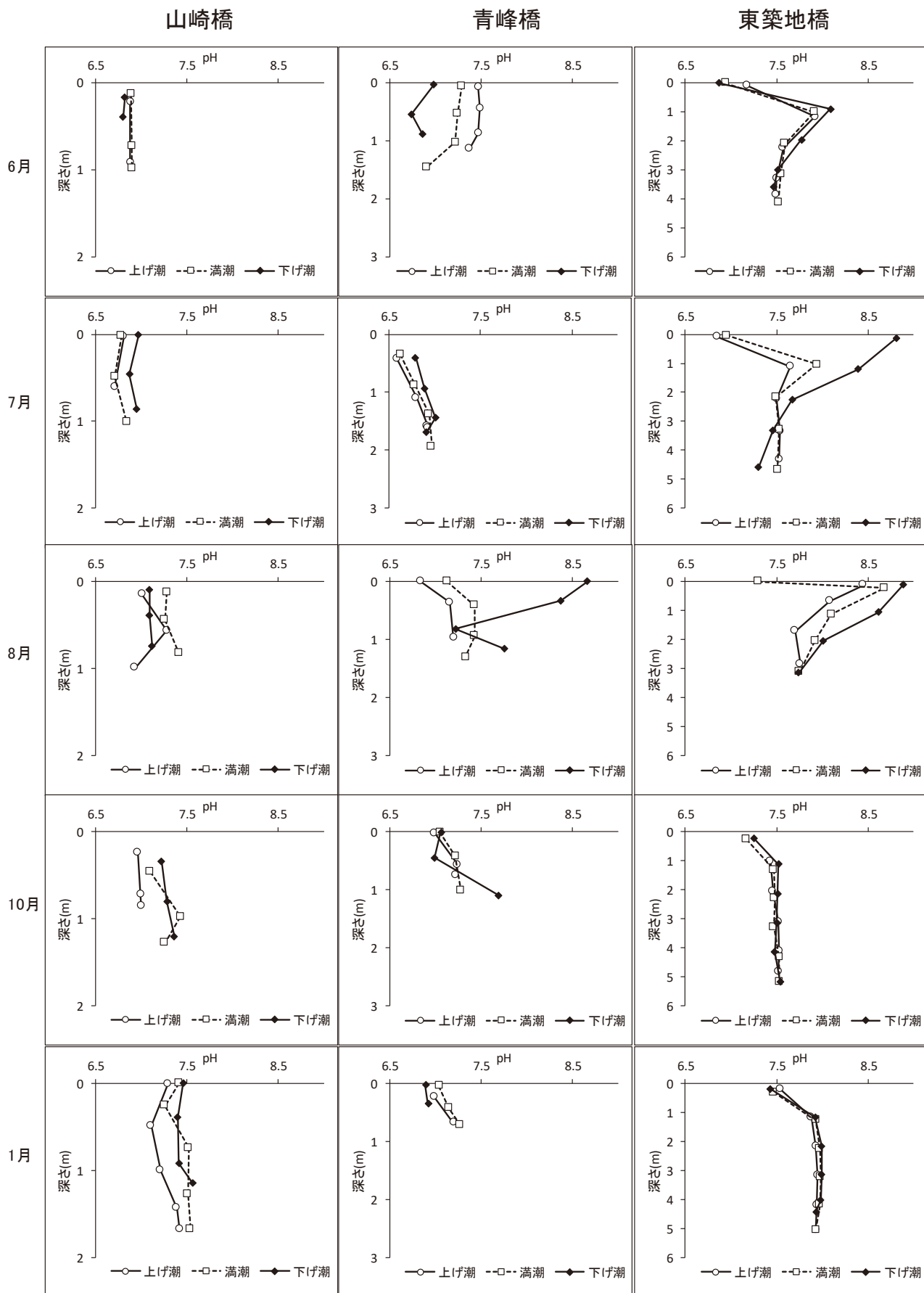


図3 層別 pH 測定結果

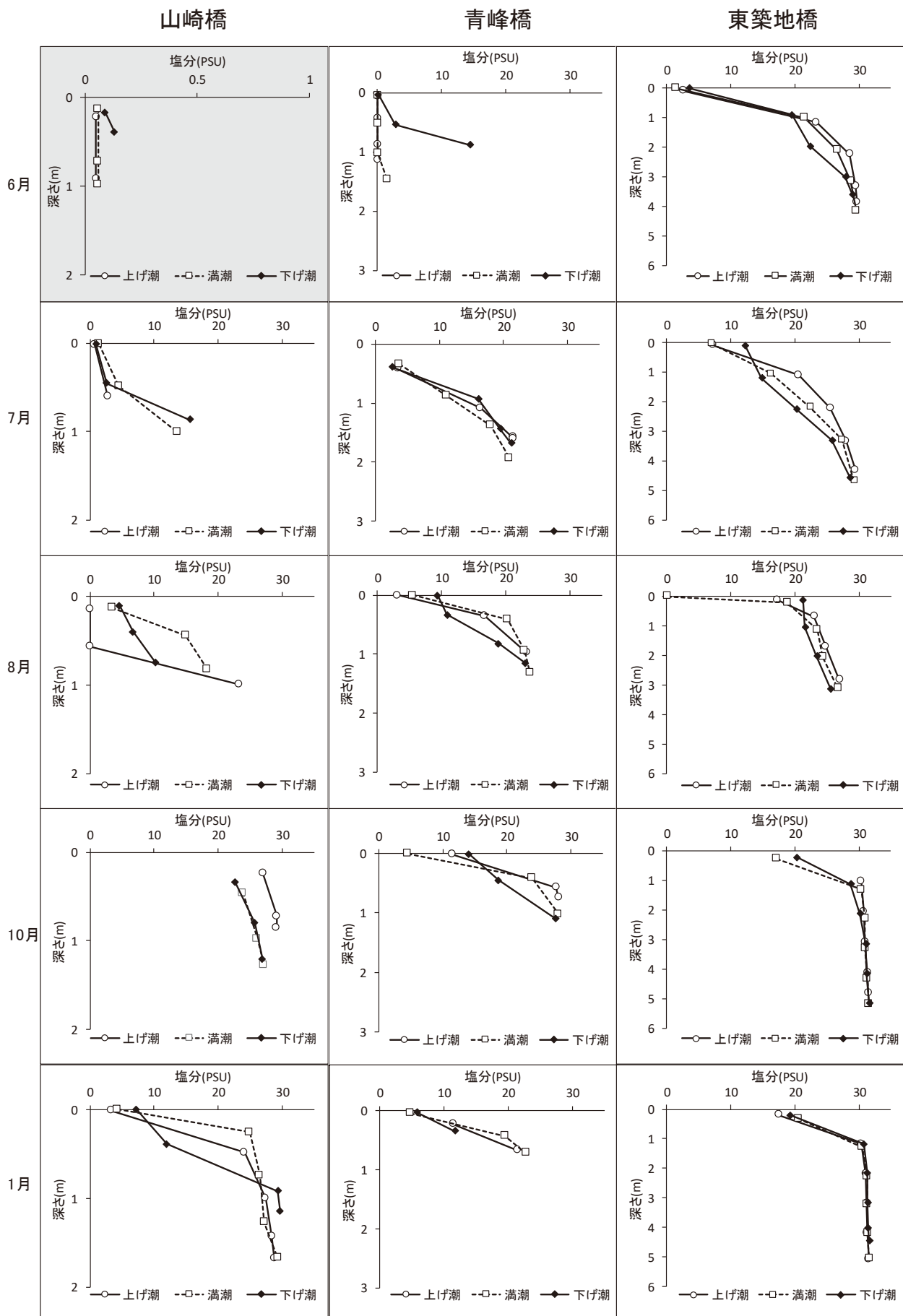


図4 層別塩分測定結果

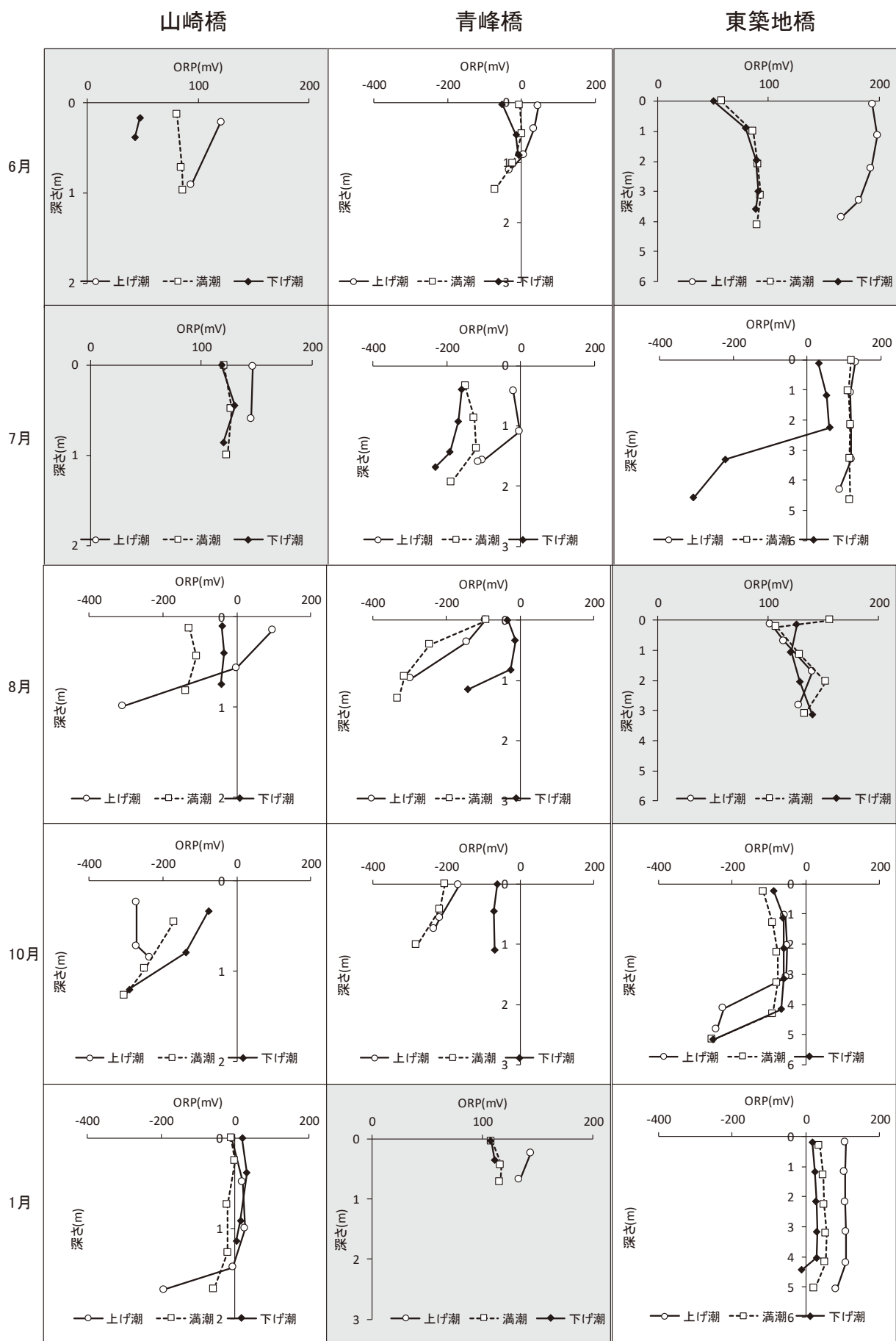


図5 層別 ORP 測定結果

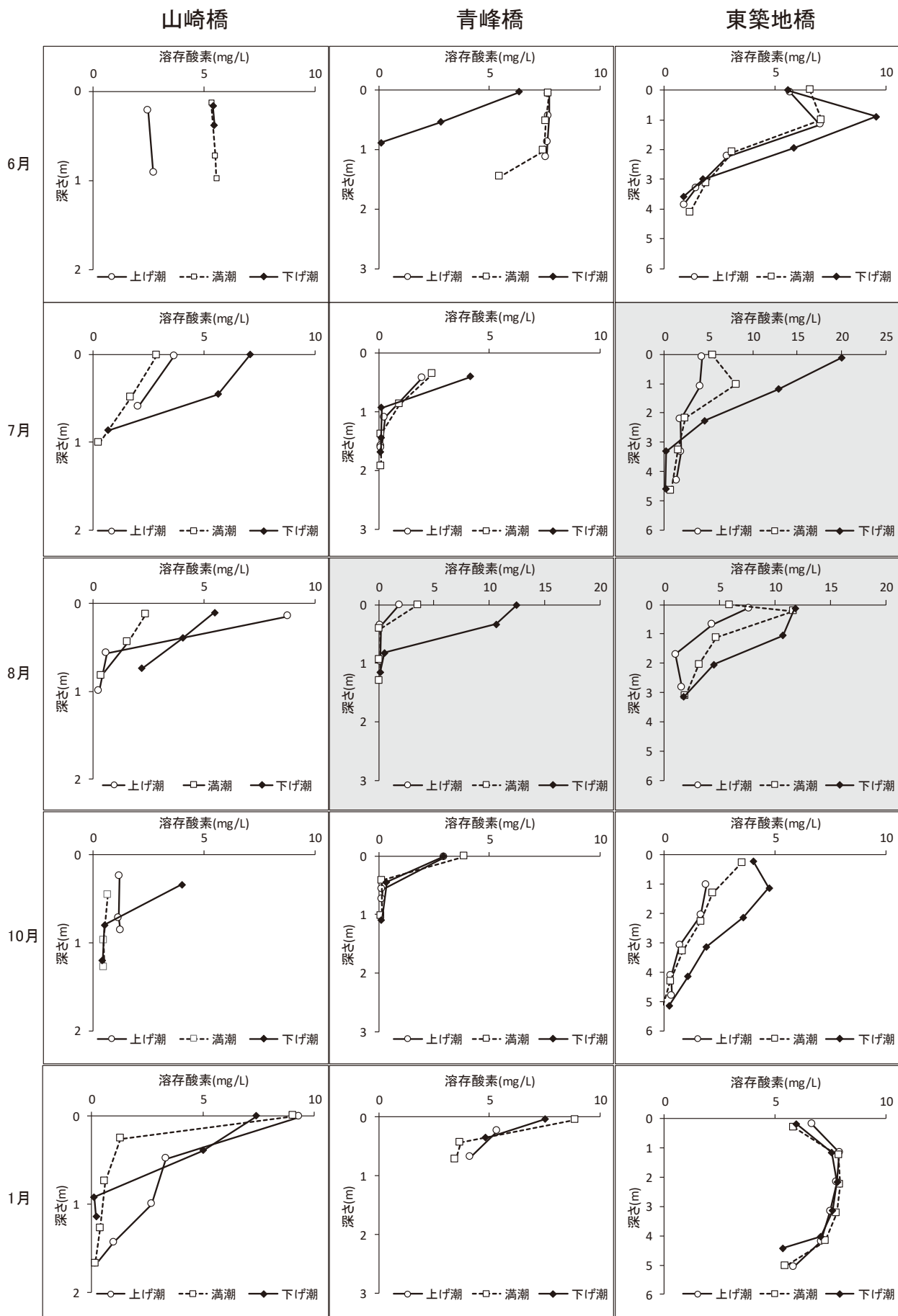


図6 層別溶存酸素測定結果

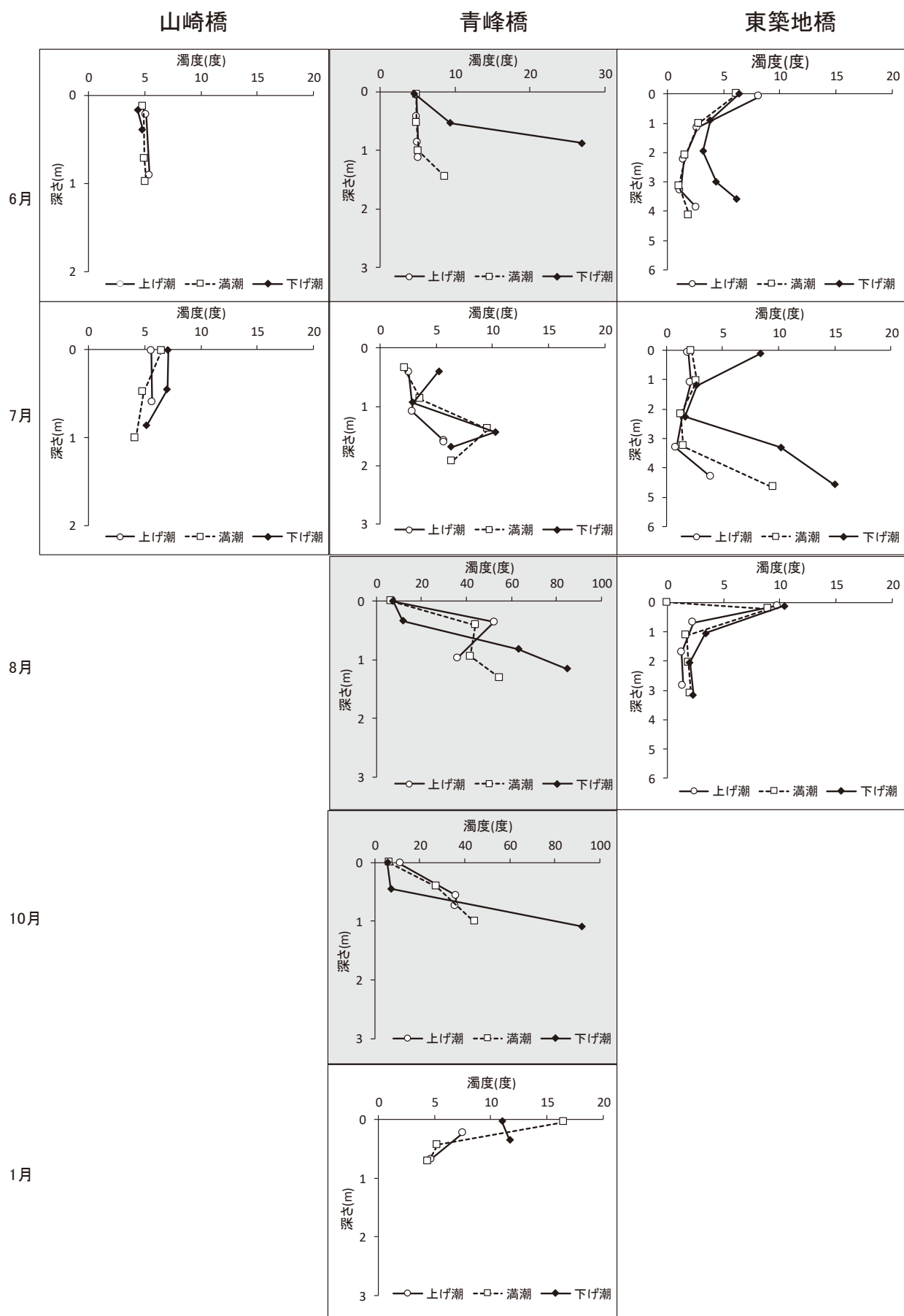


図7 層別濁度測定結果

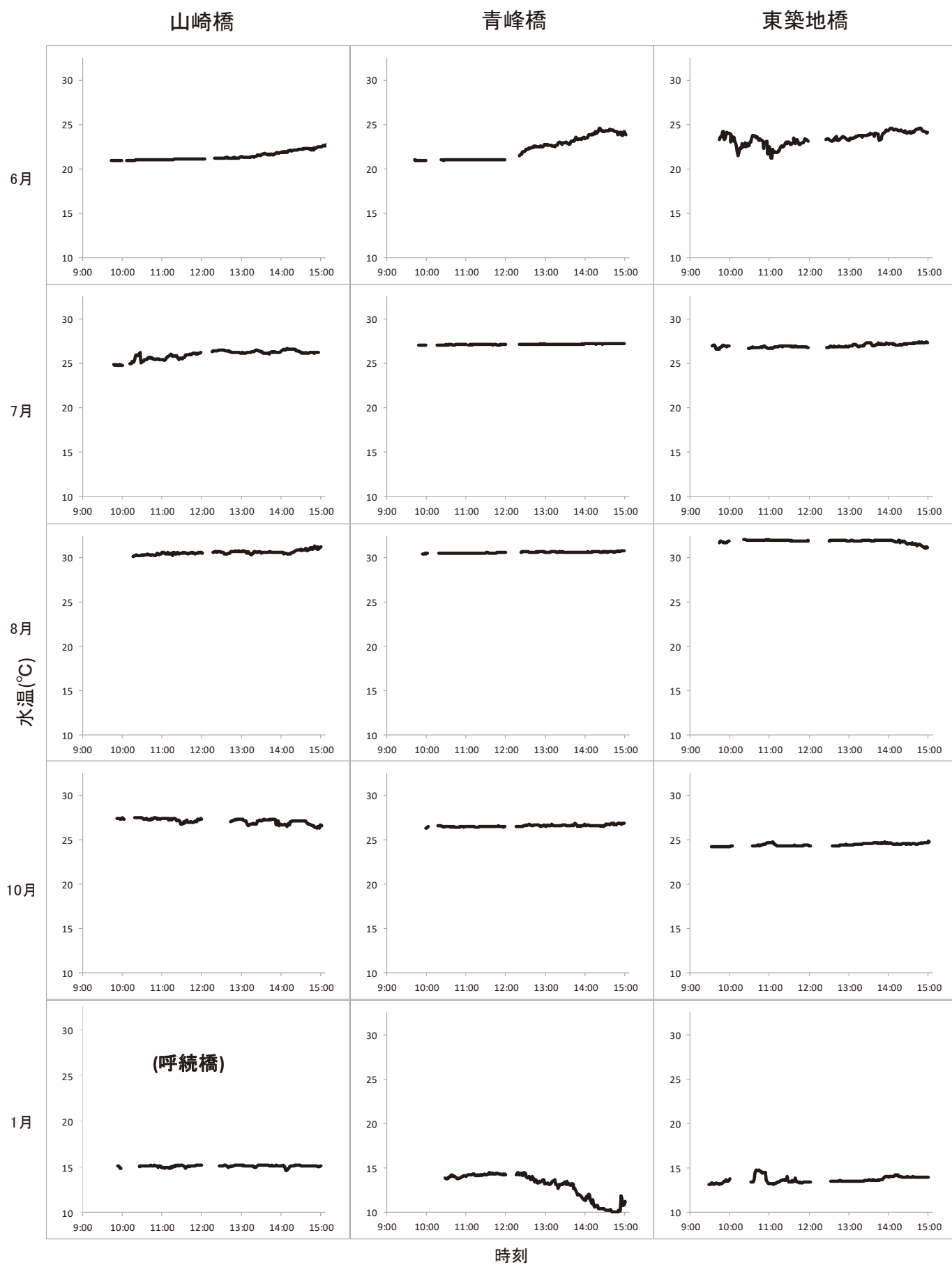


図 8 底層水温経時測定結果

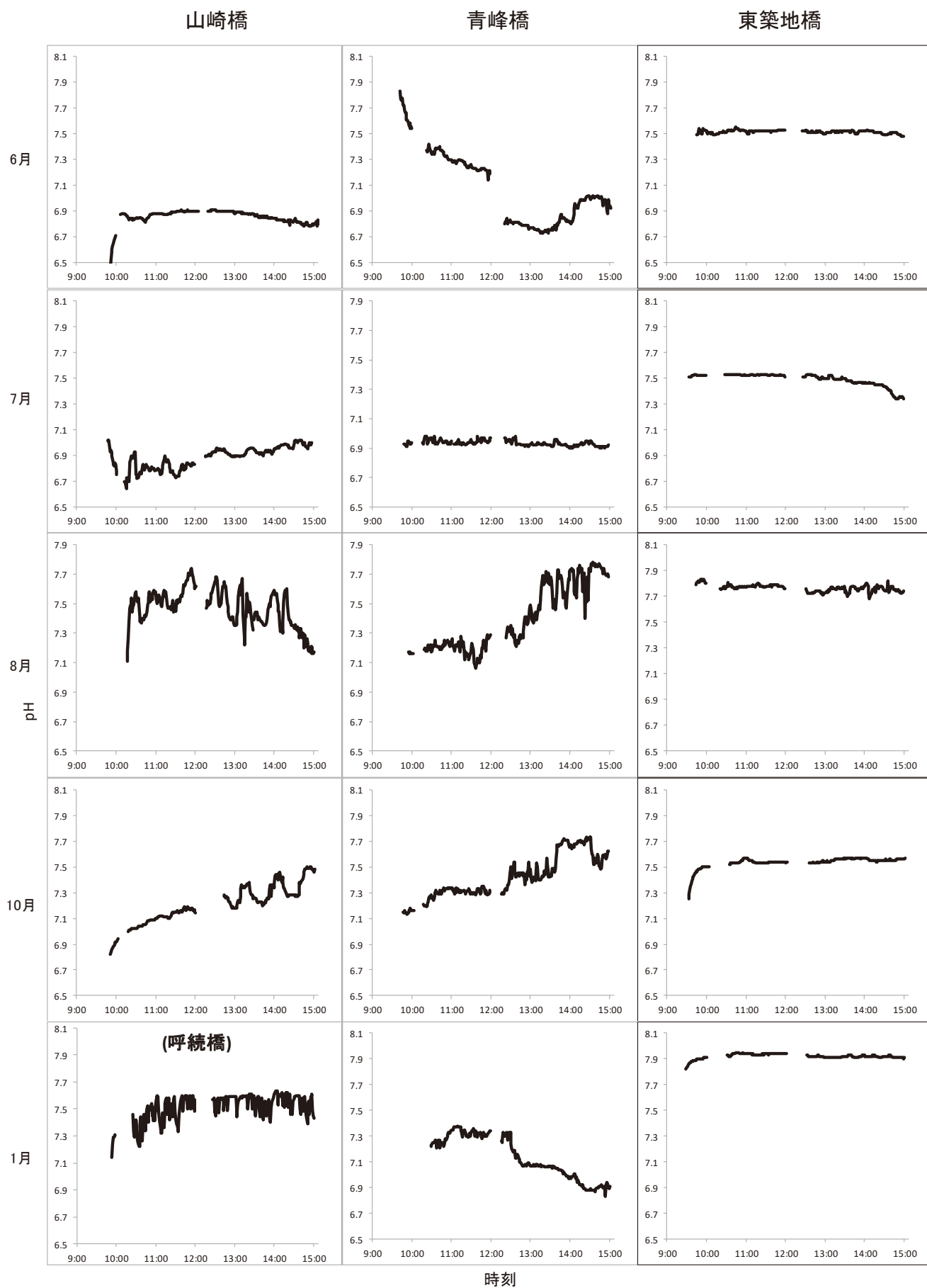


図9 底層 pH 経時測定結果

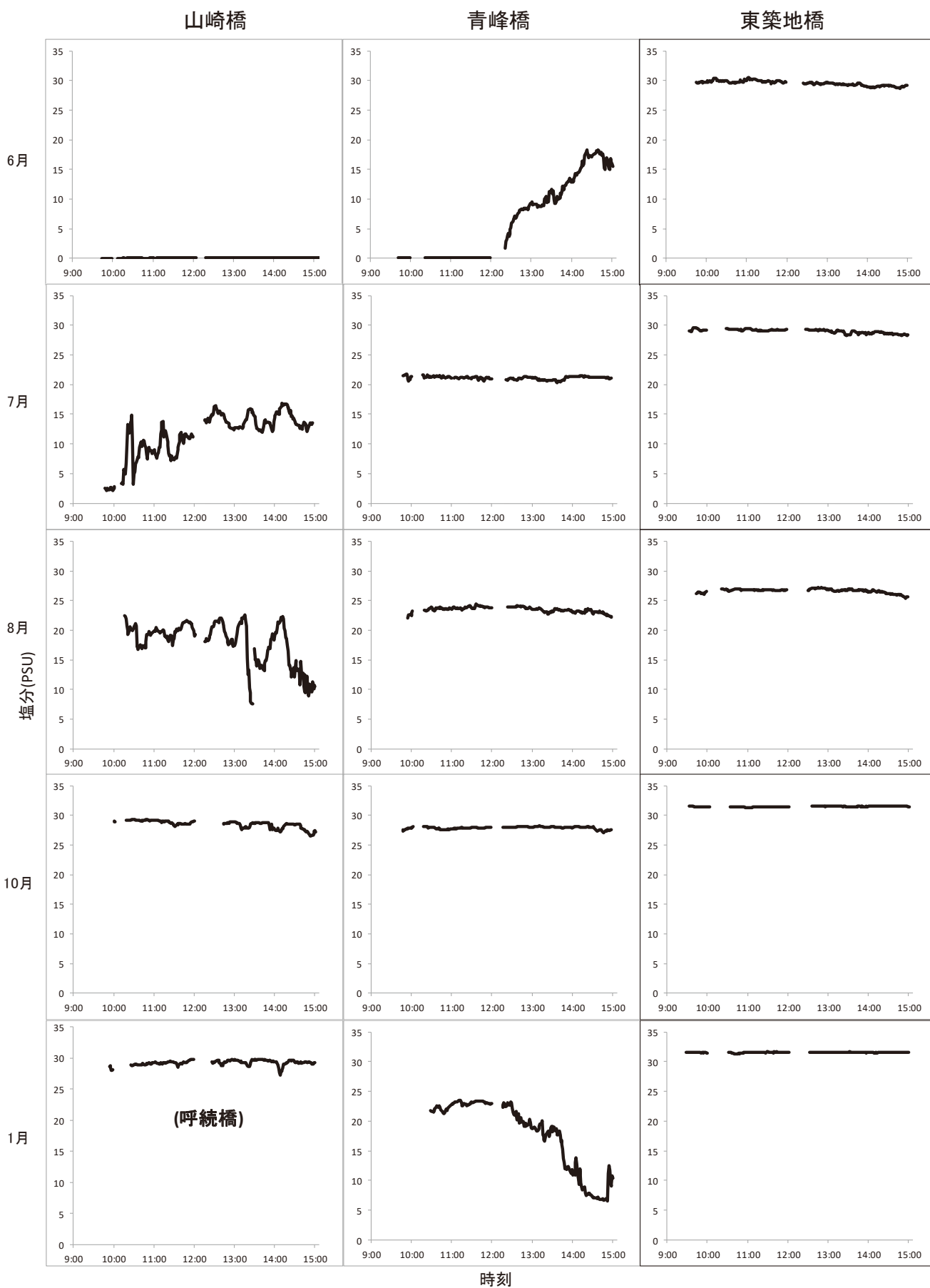


図 10 底層塩分経時測定結果

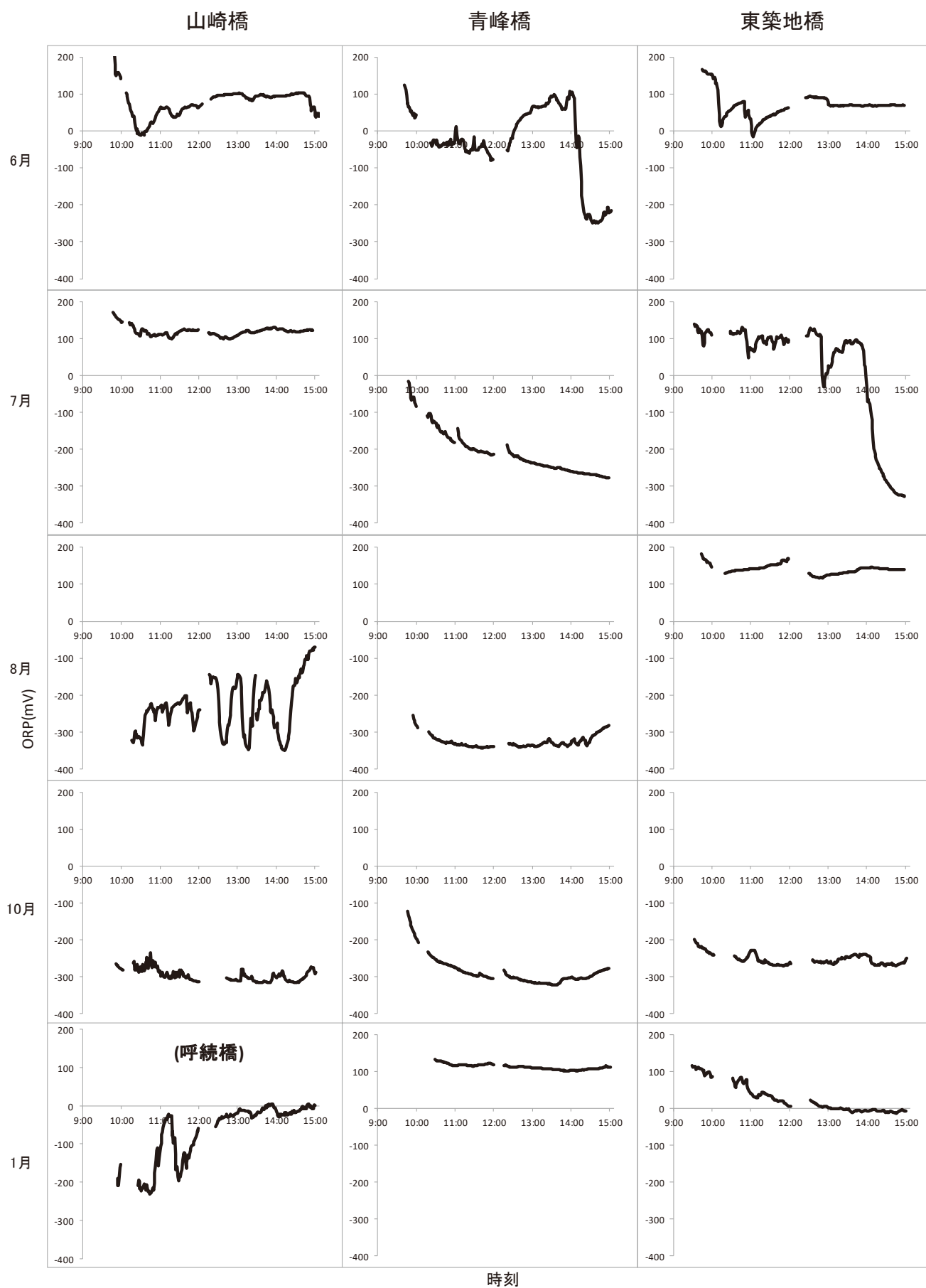


図 11 底層 ORP 経時測定結果

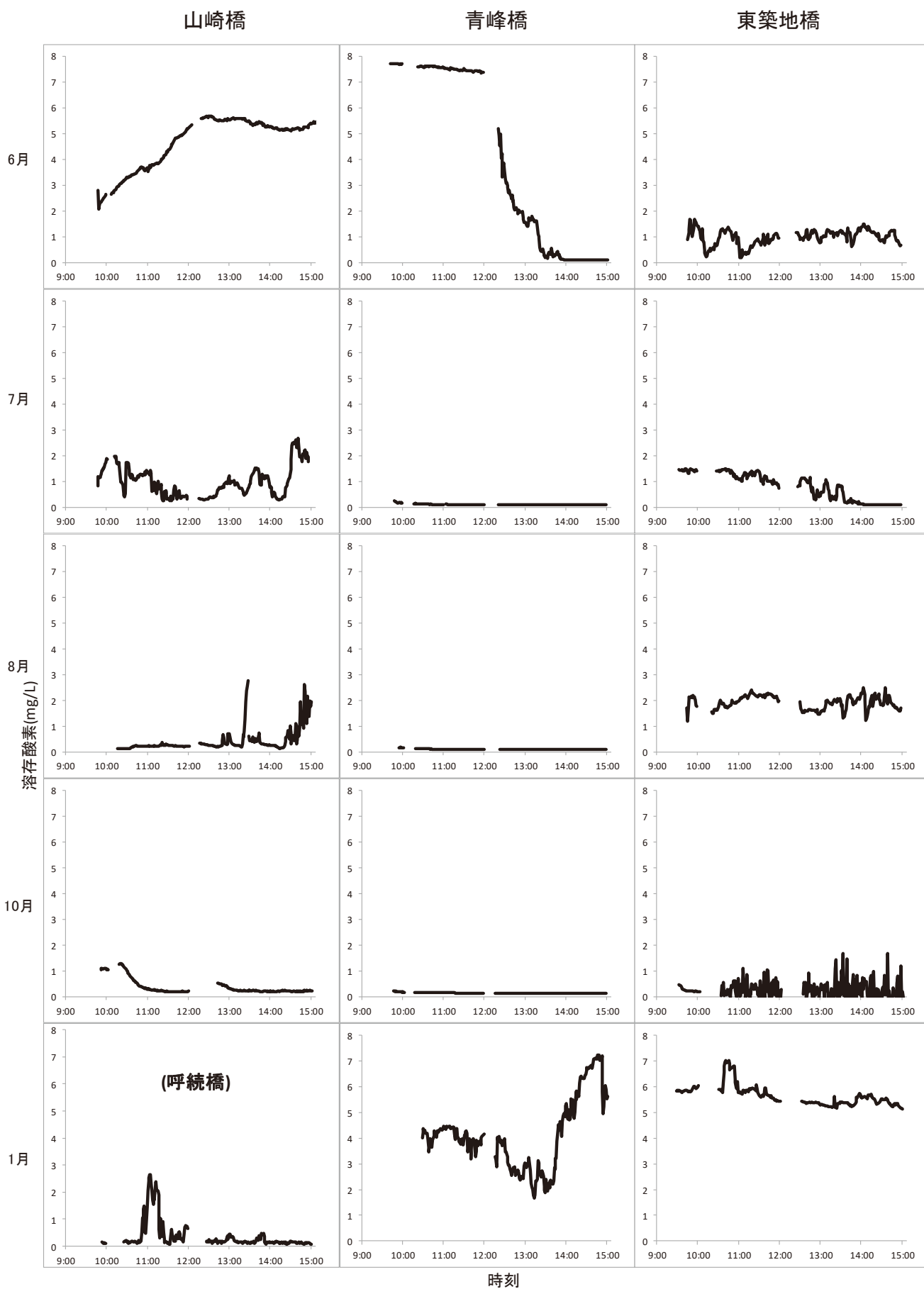


図 12 底層溶存酸素経時測定結果

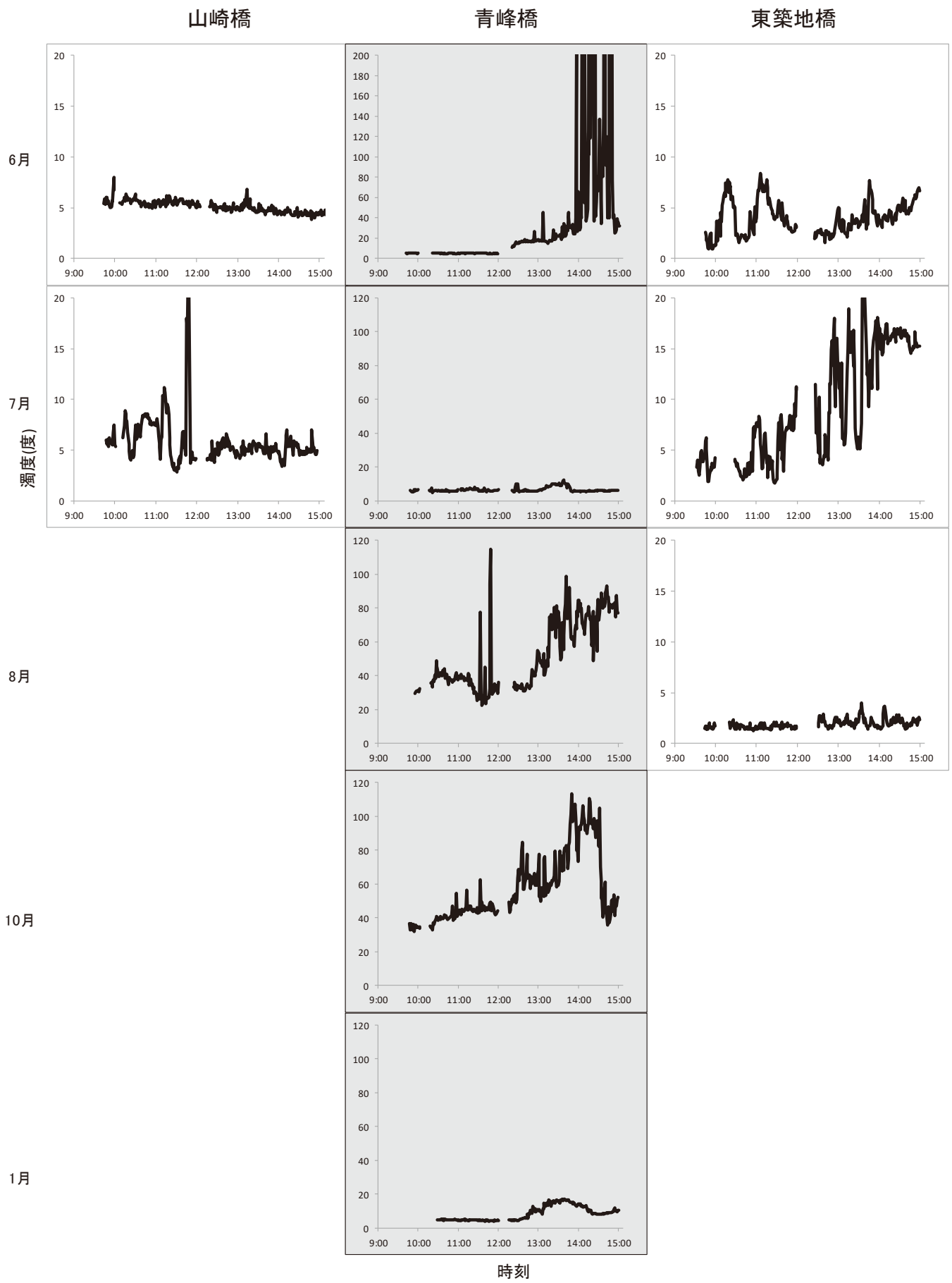


図 13 底層濁度経時測定結果

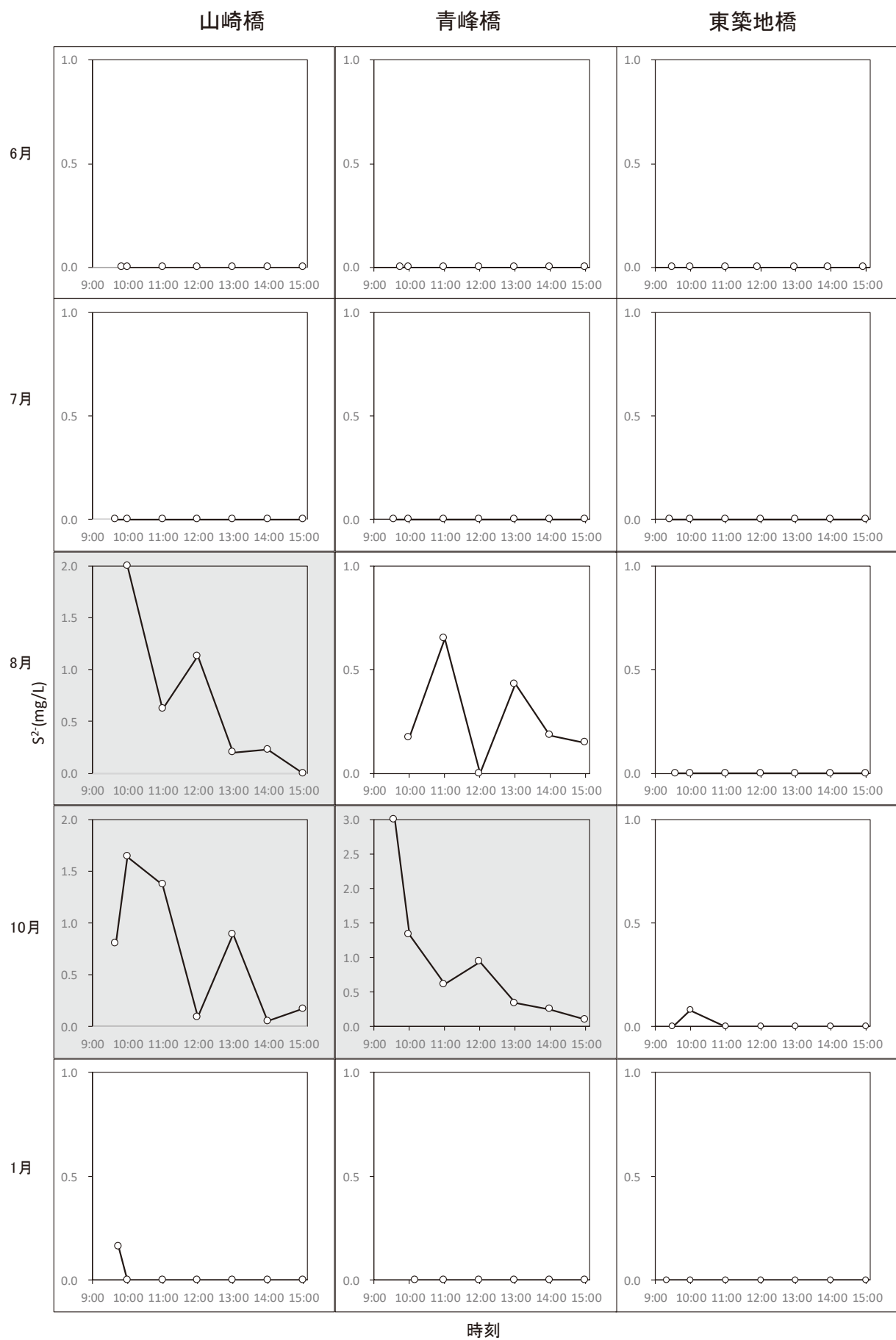


図 14 底層水硫化物イオン経時測定結果

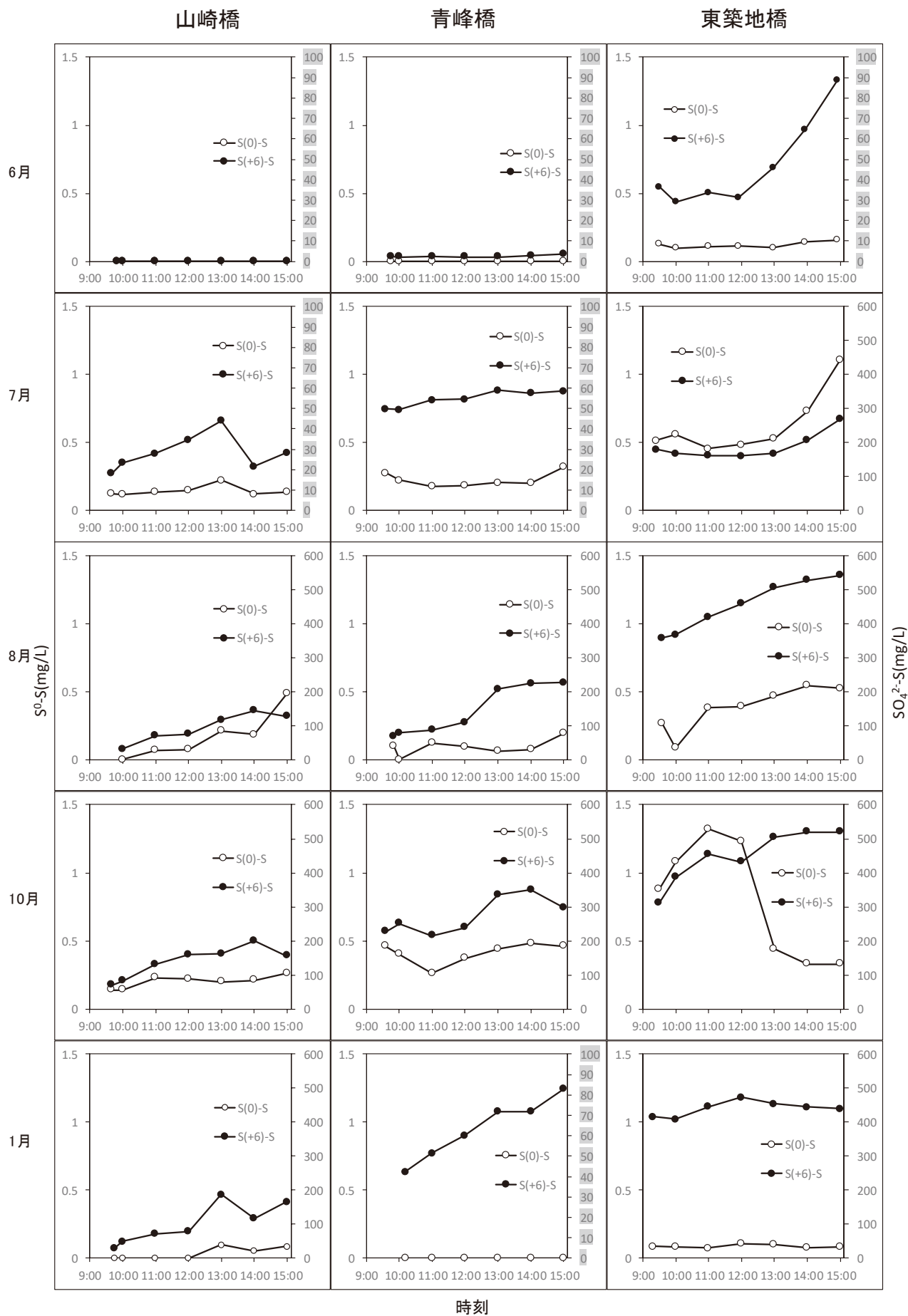


図 15 表層水粒子状硫黄，硫酸経時測定結果