

河川感潮域における青潮および悪臭発生原因調査（第3報）

山守英朋，岡村祐里子，森 健次，中島寛則，平生進吾，加藤顕成*，熊崎文菜*

Research on Generation Mechanism of Green Tide and Odor in Tidal Area (3)

Hidetomo Yamamori, Yuriko Okamura, Kenji Mori, Hironori Nakashima,
Shingo Hirao, Akinari Kato*, Ayana Kumazaki*

2017年度に行った山崎川水質調査結果をとりまとめた。当年度は，河口から3K500付近にある河床未掘削部分（マウンド）が，その上流部の水質に及ぼす影響を明らかにする目的で，忠治橋（3K200），青峰橋（4K200），山崎橋（4K800）にて水質調査を行った。また，3K700地点で河川断面の流速解析を行いマウンド上流部の水の流れを解析した。

流速解析から，マウンドがあることでその上流部の底層水における水流は大潮時以外では停滞していることが明らかとなった。したがって，マウンドの存在により，貧酸素水塊が形成されやすくなっており，その上流部の水質悪化に寄与していることが分かった。

一方，通年の多項目水質計の測定結果から，マウンド下流の地点も含めた3地点の水質は，夏季から秋季にかけて底層に存在する高塩分濃度水が影響し水質悪化を招いていること，また，ほぼ同時期に水質が悪化し同時期に回復していることから，忠治橋下流にも貧酸素の要因が存在していることも示唆された。

はじめに

2015年度の調査では，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¹⁾。

2016年度の調査では，山崎橋～青峰橋で起こっている水質の季節変動に対する名古屋港の底層水の季節変動の影響を明らかにする目的で，山崎川の最下流部の東築地橋にて調査を実施した。東築地橋では山崎川の中～下流部で認められるような季節変動は観察されるものの，秋季の気温低下とともに，速やかに貧酸素水塊が解消され，他の地点とはやや異なっていた。また，山崎橋・青峰橋の2地点では，塩分濃度と溶存酸素濃度との関係に負の相関が認められ，塩分濃度の高い底層水が青峰橋下流に存在し，その水の入れ替わりを阻害する要因が考えられた²⁾。

この要因として JR 東海道線周辺で行われている河川工事で，河床の未掘削部分（マウンド）の存在することが疑われた。

本報告では，このマウンドの影響を考察するため，下流側地点の忠治橋を調査地点とし，山崎橋・青峰橋の水質変動と忠治橋の水質変動を比較した。

また，10月の調査は，中日本建設コンサルタント㈱および名古屋工業大学と共同で実施し，データを共有することで考察を加えた。

調査概要

1. 調査日および調査場所

2016年度の調査結果より，貧酸素状態は秋季まで続いて，冬季では解消していることから，2017年度は秋季の調査頻度を上げて行うこととした。

調査は2017年6月5日，10月2日，10月19日，10月30日，2018年1月12日に行った。なお，10月2日，10月19日は，中日本建設コンサルタント㈱および名古屋工業大学と共同で調査を行った。

調査の分担は，以下の通りであった。中日本建設コンサルタント㈱は，忠治橋上流地点（3K300），祐竹橋下流地点（3K700），呼続大橋（4K000）での多項目水質計による水質調査，名古屋工業大学は，祐竹橋（3K850）およびその下流地点（3K700）での流速調査を担当した。著者らは，忠治橋（3K200），青峰橋（4K200），山崎橋（4K800）において，多項目水質計および採水に

*名古屋市緑政土木局 河川計画課

よる水質調査と大気調査、呼続橋（4K600）、名鉄名古屋本線直下落差工（4K920）、師長小橋（5K000）での大気調査を担当した。

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す³⁾。図 1 には、各調査日の名古屋港における潮位を示す⁴⁾。なお、調査実施時刻は実線とした。

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5日	—	—	—	6.0	6.0
10月2日	42.5	—	—	—	9.0
10月19日	24.0	0.0	17.5	29.5	12.0
10月30日	—	55.0	13.0	—	—
1月12日	0.0	—	0.0	2.0	15.5

*「—」は降雨現象がなかったことを表す

*「0.0」は降雨現象自体はあったが、降雨量は0.5mm未満を表す

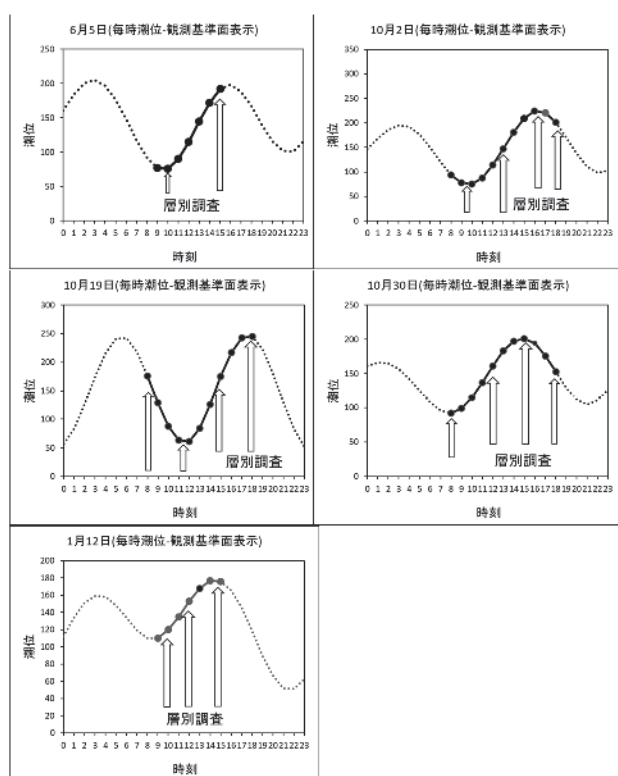


図 1 各測定日の名古屋港の潮位変動

2. 調査項目

1) 多項目水質計

既報¹⁾に従い、多項目水質計を用いて、各地点の層別および経時の水質調査を実施した。なお、図 1 における矢印は、それぞれの調査日における層別水質調査

を実施した時刻を表している。

2) 水中の各態硫黄分析

既報¹⁾に従い、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、粒子状硫黄、硫化物イオン、硫酸イオンを測定した。

3) 現場大気中の硫化水素ガス分析

既報¹⁾に従い、現場大気中の硫化水素ガスを測定した。

4) 名古屋工業大学の流速調査

超音波多層式流速計（ADCP）を用い、30 分毎に測定し、流速横断分布を解析した。

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す。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 月と 10 月 2 日は変化が認められなかったが、山崎橋、青峰橋では 10 月 19 日以降、忠治橋では 10 月 30 日以降低下していた。また、6 月では、表層の方が高い温度であるのに対し、10 月と 1 月では、底層ほど高い温度であった。第 2 報の水温の結果²⁾も考え合わせると、6 月は大気の水温より高く、河川が暖められている段階で、7 月～8 月では、大気による加温がほぼ底層まで行き届いて平衡状態となり、10 月になると気温低下とともに、表層付近から徐々に水温が低下していることが分かる。また、潮位との関係では、ほぼ全ての季節および地点において、満潮時の方が、干潮時より水温が高い傾向が認められた。

塩分は、全ての地点で、表層で低く底層では高い値となっていた。また、10 月の測定は天候が安定せず、調査当日または前日に降雨があったが、表層ほど影響が大きく塩分の低下が認められた。一方、満潮時の底層は、10 月 30 日の山崎橋と青峰橋を除き、降雨の影響は小さかった。これは 10 月 2 日と 19 日は当日降雨があったのに対し 10 月 30 日は前日に降雨があり、降雨による河川底層の塩分濃度への影響はタイムラグがあるのかもしれない。潮位との関係では、山崎橋および青峰橋では、満潮時に塩分が高くなる傾向があるが、忠治橋では大きな変動はなかった。

ORP は夏季～秋季で、ほぼ全地点の全ての層で還元となっており、10 月下旬以降酸化的となっている。10 月 30 日は前日に降雨があった影響と思われるが、

1 月の結果は、成層が解消され水質が改善した結果と思われる。また潮位との関係では、夏季～秋季にかけては、塩分濃度の上昇に伴い ORP が低下する傾向があり、干潮より満潮の時 ORP が低下した。この傾向は、10 月 30 日以降では認められない。したがって、夏季～秋季では、潮位の変動とともに、水質の悪化、改善が繰り返されていたと考えられる。

溶存酸素は、ORP が還元的となっている層では一部の地点の表層を除き、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。また、10 月 30 日および 1 月では、ORP が酸化的であり溶存酸素 1mg/L を下まわらなかった。

濁度については、3 地点とも潮位変動に伴う濁度変化が 10 月 2 日は大きい、10 月 30 日および 1 月では、濁度の変動は認められず終日低い値となった。10 月の初旬は、気温が下がり始め、成層が解消され始める時期とも一致しており、成層の解消過程で、濁度が上昇した可能性が考えられる。さらに、その後の降雨又は成層の解消が完了した状態で水質が改善されると、濁度も減少するのかもしれない。

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。結果を図 8～図 13 に示す。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。

水温の季節変動は、全地点とも同様な傾向で、最も高温となったのは 10 月 2 日で、それ以降は徐々に低下していた。また、6 月は、10 月 2 日よりはやや低値であった。したがって、6 月では、底層まで気温上昇の影響が及んでおらず、その後夏季に温度のピークを迎え、秋季は気温低下とともに、徐々に底層水温が低下するが、10 月 2 日においては、底層にまで影響が及んでいなかったと考えられる。また、山崎橋および青峰橋では、1 日の間で水温が変動しており、潮位変動による水温変化も観察された。

塩分に関して、3 地点とも 6 月は終日安定していたが、10 月以降は日間変動が認められた。特に、10 月 30 日の山崎橋、青峰橋では、前日の降雨の影響からか、潮位変動による塩分の増加が小さかった。同日の忠治橋でも、他の地点と比較して降雨の影響は小さかったが、干潮時刻では影響が認められた。

また、10 月 2 日、10 月 19 日では、同様に当日降雨があったが、10 月 2 日は中潮で底層付近は大きな影響は認められなかった。一方、19 日は大潮であったため、干潮時刻で塩分濃度の大きな減少が観察された。

ORP は、塩分と反対の変動となっていた。塩分濃度が低い時にはその地点で高めの値を示し、塩分濃度の増加とともに低い値へと変動した。

季節変動では、3 地点とも、10 月 19 日までは還元的となっていたのに対し、10 月 30 日以降は酸化的となった。

溶存酸素は ORP が還元的な時は、ほぼ 1 mg/L 未満の貧酸素状態であった。10 月 30 日は前日の降雨の影響が観察され、底層の溶存酸素を指標とした場合、水深が浅い山崎橋では降雨で底層の水質が大幅に改善したのに対し、水深の深い忠治橋では水質改善効果は小さかった。1 月の測定結果では、忠治橋、青峰橋で、終日溶存酸素が十分に存在するのに対し、山崎橋では、満潮になるにつれて溶存酸素が減少し貧酸素となっていた。

濁度は、変動が大きい時期と、変動が小さい時期とに分かれた。3 地点とも、6 月および 10 月 2 日、10 月 19 日では、日間変動も大きく最大値も大きな値となったが、1 月では日間変動も小さく最大値も小さかった。また、10 月 30 日は、山崎橋および青峰橋で小さく忠治橋では大きかった。この傾向は、水質の悪化と改善といった観点で見ると、水質が悪化した時は、濁度の日間変動や最大値が大きくなっており、改善した時は、日間変動や最大値がともに小さくなっているようであった。

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、表層水中の粒子状硫黄および硫酸の経時変化を示す。なお、図中で Y 軸スケールの灰色網掛けは、Y 軸スケールのうちの 1 つ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、10 月 30 日の 3 地点および 1 月の青峰橋、忠治橋を除き検出されており、山崎橋および青峰橋では、10 月 2 日に最大値を示し、忠治橋では 6 月に最大値を示した。

表層水中の粒子状硫黄では、山崎橋では、底層水中の硫化物と同様な傾向があるように思われた。また、潮位変動では、上げ潮および満潮時に大きくなっているようであった。すなわち、硫化物濃度の増加が、粒子状硫黄の増加にも関与していると考えられた。

青峰橋・忠治橋では、同様な増減を示す場合もあるが、そうでない場合もあり、明確な傾向は分からなかった。忠治橋では、冬季調査でも検出されており、季節を問わず検出されていた。山崎橋と青峰橋では、10 月 19 日以降減少しており、季節変動が観察された。

4. 現場大気中の硫化水素測定結果

現場大気中の硫化水素ガス調査では、10月30日および1月調査を除きいずれかの地点で検出された。ただし、調査の最上流地点の師長小橋では通年で不検出であった。

最大値は、6月の名鉄名古屋本線直下の落差工であり0.84 ppmvであった。この地点および呼続橋では、以後10月19日までの調査全てで検出された。

最も下流側での検出事例は、10月19日の忠治橋で、濃度は0.18 ppmvであった。

今回の調査結果のみでは、まだ、傾向を見るのは拙速ではあるが、調査地点の上流部（名鉄名古屋本線直下の落差工～呼続橋）付近にて検出されることが多いようである。

この項目については、採気時期と潮位変動との関係も含め、更なるデータの蓄積が望まれる。

表1 現場大気中の硫化水素測定結果

地点	6月5日	10月2日	10月19日	10月30日	1月12日
師長小橋	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
落差工	0.84	0.58	0.032	<0.0005	<0.0005
山崎橋	0.11	0.12	<0.0005	<0.0005	<0.0005
呼続橋	0.034	0.46	0.084	<0.0005	<0.0005
青峰橋	<0.0005	<0.0005	0.12	<0.0005	<0.0005
忠治橋	-	<0.0005	0.18	<0.0005	<0.0005

(ppmv)

ま と め

2016年度までの調査において、塩分濃度の上昇と、溶存酸素の低下およびORPの低下との間には、一定の傾向が観察されており、底層に存在している高塩分濃度水が水質変動に関与しており、高塩分濃度水は、貧酸素水塊であることが分かっている。

2017年度調査では、JR橋梁工事における河床の未掘削部分（マウンド）が、水の流れを阻害し、その上部での水質悪化が誘起されているとの仮説の元、マウンドの前後、忠治橋（下流側地点）、青峰橋および山崎橋（上流側地点）において、6月（中潮）、10月、1月（中潮）に水質調査を行った。10月の調査では、中潮、大潮、若潮における調査を、緑政土木局、中日本建設コンサルタント㈱、名古屋工業大学と共同実施し、潮汐との関係も考察した。

本年度の調査結果で、通年の季節変動を見ると、全地点で、夏季（6月）・秋季（10月2日、19日）において水質が悪化し、底層水における溶存酸素が0 mg/L付近であり、ORPが還元的となった。一方、冬季（1月）では水質が改善され、満潮時の底層水においても

溶存酸素が2 mg/L程度存在し、ORPも酸化的となっていることが確認された。また、忠治橋や青峰橋では、冬季における水質改善が全層で起こっているのに対し、山崎橋では、満潮時の底層水で、依然として貧酸素であることも確認された。2016年度調査でも、調査最上流地点の呼続橋では、冬季でもやや水質が悪い状態が継続しており同様な傾向となった。

また、共同で行った水質調査⁵⁾・流量解析調査結果⁶⁾から、マウンドの存在により、その上流の底層では、流速が非常に小さくなっており、大潮以外ではほぼ停滞していること、中潮では上げ潮時に上層から逆流が認められ徐々に下層に広がって行くこと、大潮では全層で一斉に逆流が起っていること、また、下げ潮時は、潮名によらず上層付近から流れが活発になり、徐々に下層に拡大して行くことが分かり、マウンドの存在により、その上流部に高塩分濃度の貧酸素水塊が形成されやすいことが明らかとなった。

一方で、通年の水質調査結果から、3地点とも、塩分濃度が高いと貧酸素状態となっていること、季節変動では、ほぼ同時期に貧酸素となり、同時期に解消していることから、忠治橋より下流部にも貧酸素の一因が存在することも示唆された。したがって、次年度では、更に下流にある豊生橋を測定地点に加えることとした。

また、10月の調査の異なる潮名による水質変動・流速解析結果から、大潮時では、水の入れ替わりが認められ、一時的に水質改善が起こっていることが示唆された。

更に、10月30日は前日に降雨があり、水質が全層にわたり改善されており、こういった降雨イベントにおいても、水質改善が起っていることが分かった。

以上より、山崎川における貧酸素水塊の形成解消過程を考えると、年単位では季節変動で、気温の上昇とともに成層化し、底層水において、春季（昨年度データより）→夏季→秋季の順で徐々に水質が悪化して貧酸素水塊が形成される。10月に入り、急激に気温が下がってくると、成層が徐々に解消されてゆき、水質が改善され貧酸素水塊が消失していく。

また、月単位では潮汐により、大潮時、底層水においても水の交換が起こり、一時的に水質は改善されるが、その後、中潮や小潮では水の入れ替わりが悪くなり、水質が悪化して硫化物が蓄積する。

さらに、その他のイベントとして降雨があり降水量が多いと、全層で攪拌が起こり一時的に水質改善が起こる場合もある。

このような要因が絡み合いながら、貧酸素水塊の生成解消がくりかえされていると推定される。また、この貧酸素水塊の解消過程で、酸素と反応することで青潮現象や、大気中への硫化水素の放出による悪臭が発生すると考えられる。

文 献

- 1) 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：河川感潮域における青潮および悪臭発生原因調査，名古屋市環境科学調査センター年報，8，17-22（2019）
- 2) 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：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），名古屋市環境科学調査センター年報，8，23-40（2019）
- 3) 気象庁：過去の気象データ検索
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 4) 気象庁：潮汐観測資料検索
<http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/genbo/index.php>
- 5) 名古屋市緑政土木局河川計画課，中日本建設コンサルタント株式会社：山崎川流向流速・水質調査中間報告，平成30年1月
- 6) 名古屋工業大学都市社会工学科河川工学研究室：山崎川現地観測結果 水質，平成30年1月

謝 辞

本研究を進めるにあたり，秋季に共同調査を実施し，データの提供を頂いた名古屋工業大学富永晃宏教授および同研究室の学生諸氏，中日本建設コンサルタント(株)滝宏志氏に感謝いたします。

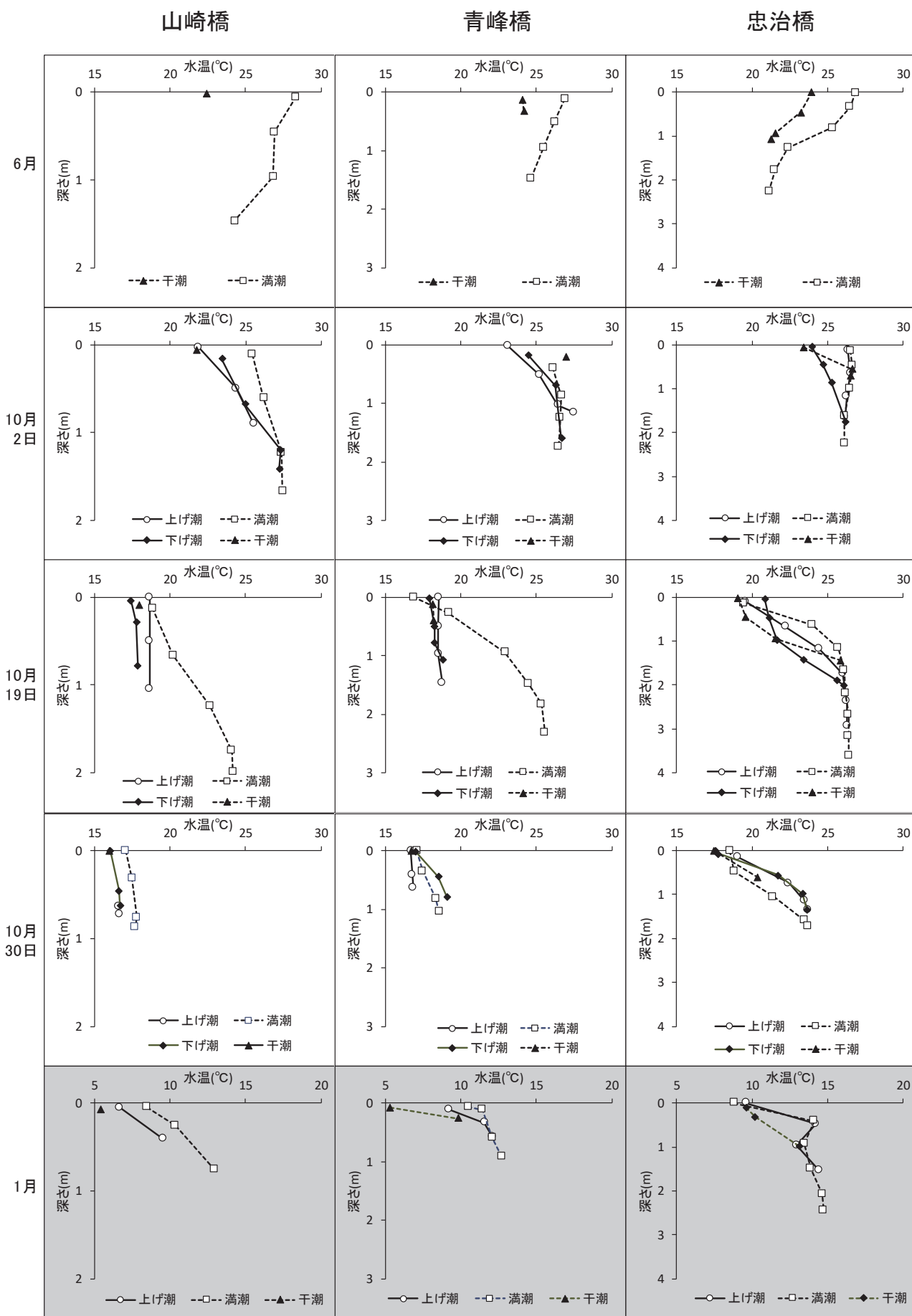


図2 層別水温測定結果

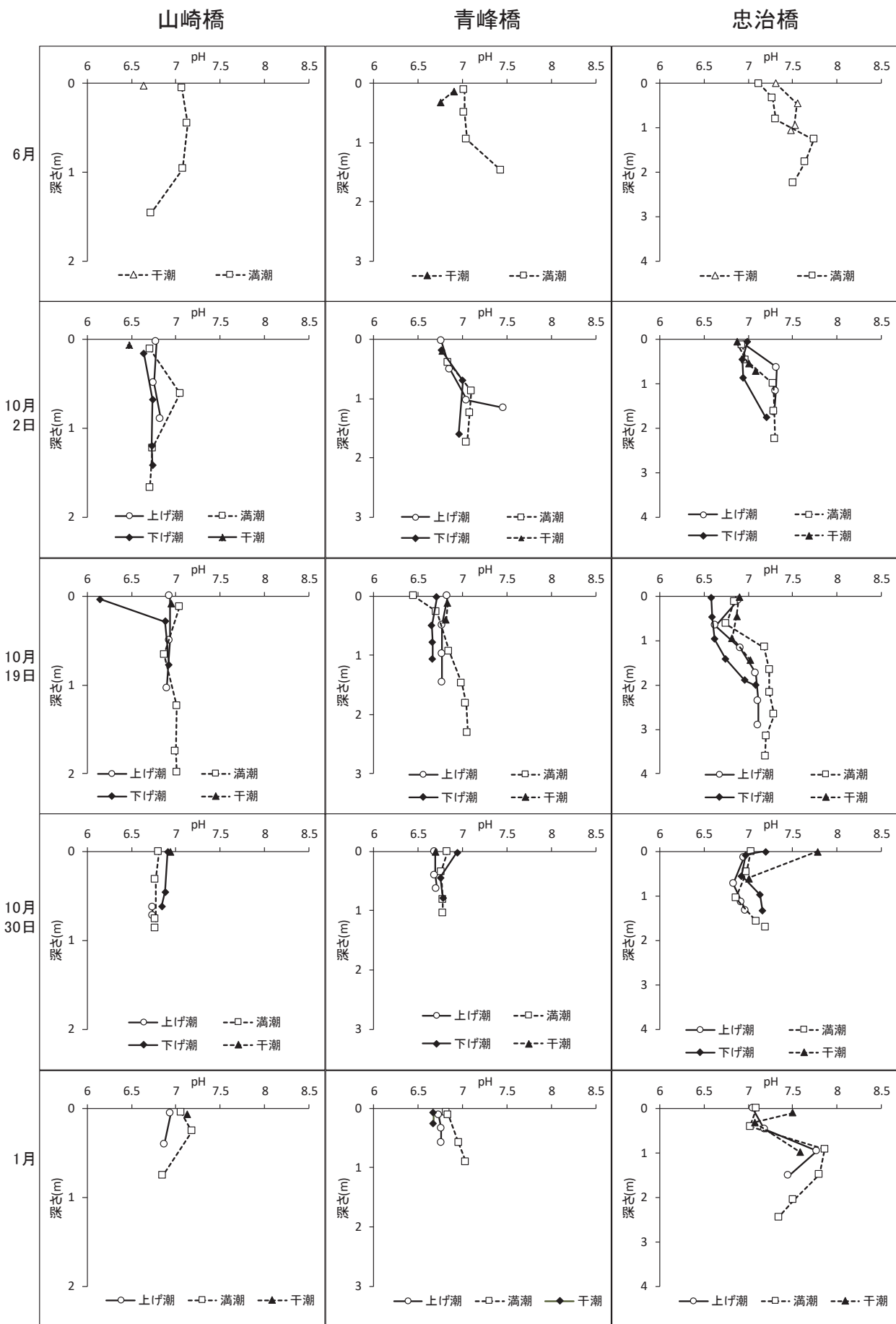


図3 層別 pH 測定結果

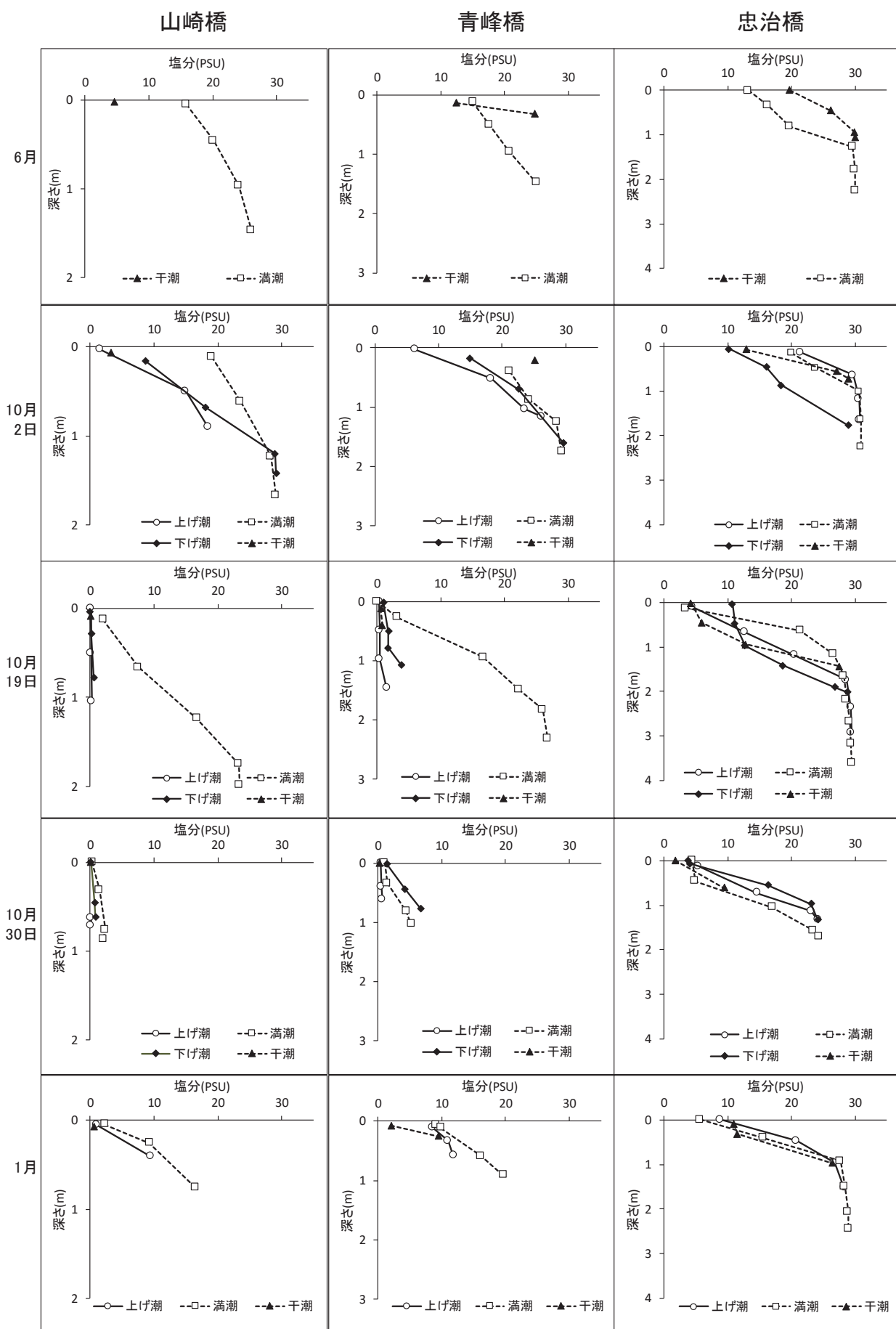


図4 層別塩分測定結果

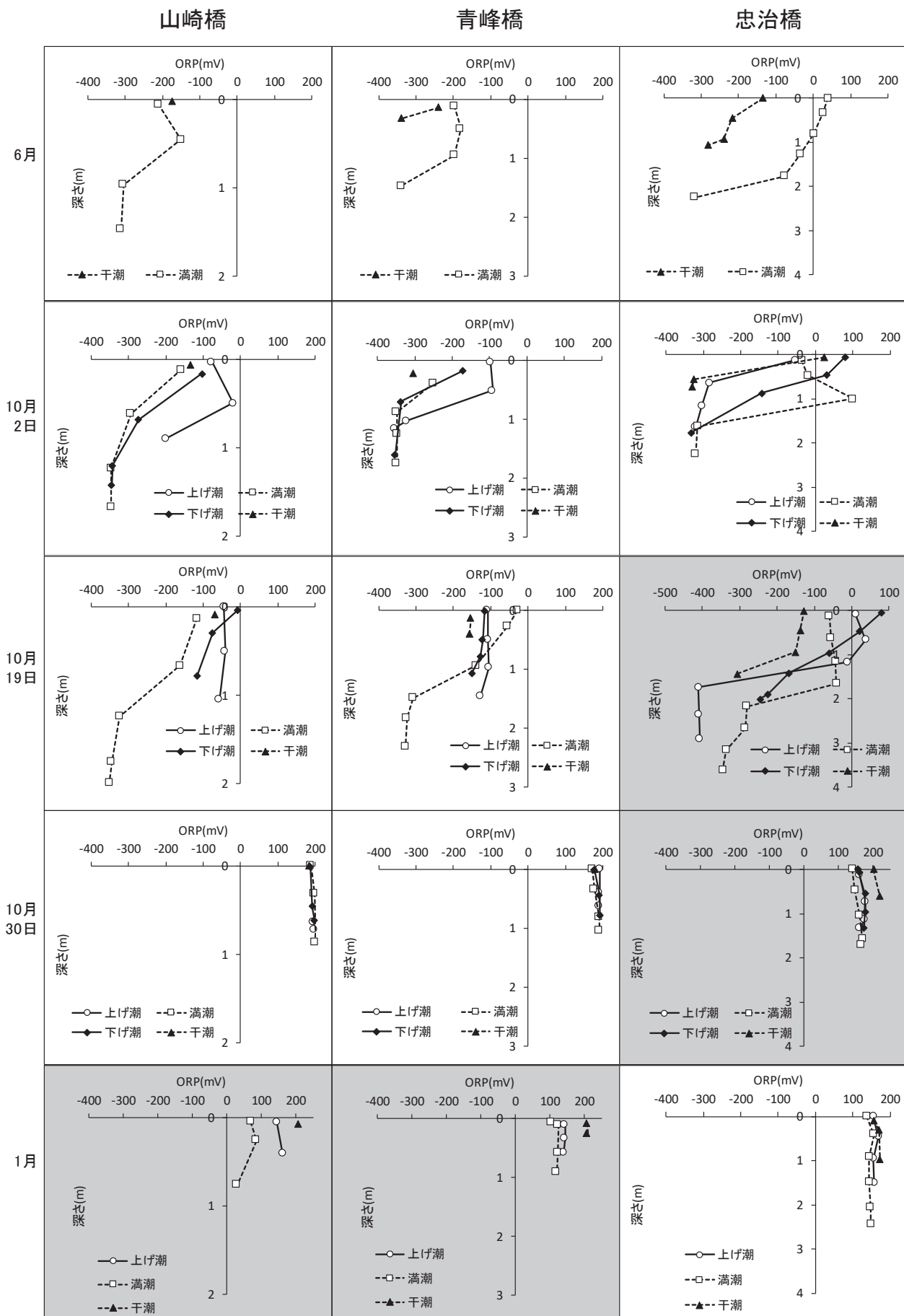


図 5 層別 ORP 測定結果

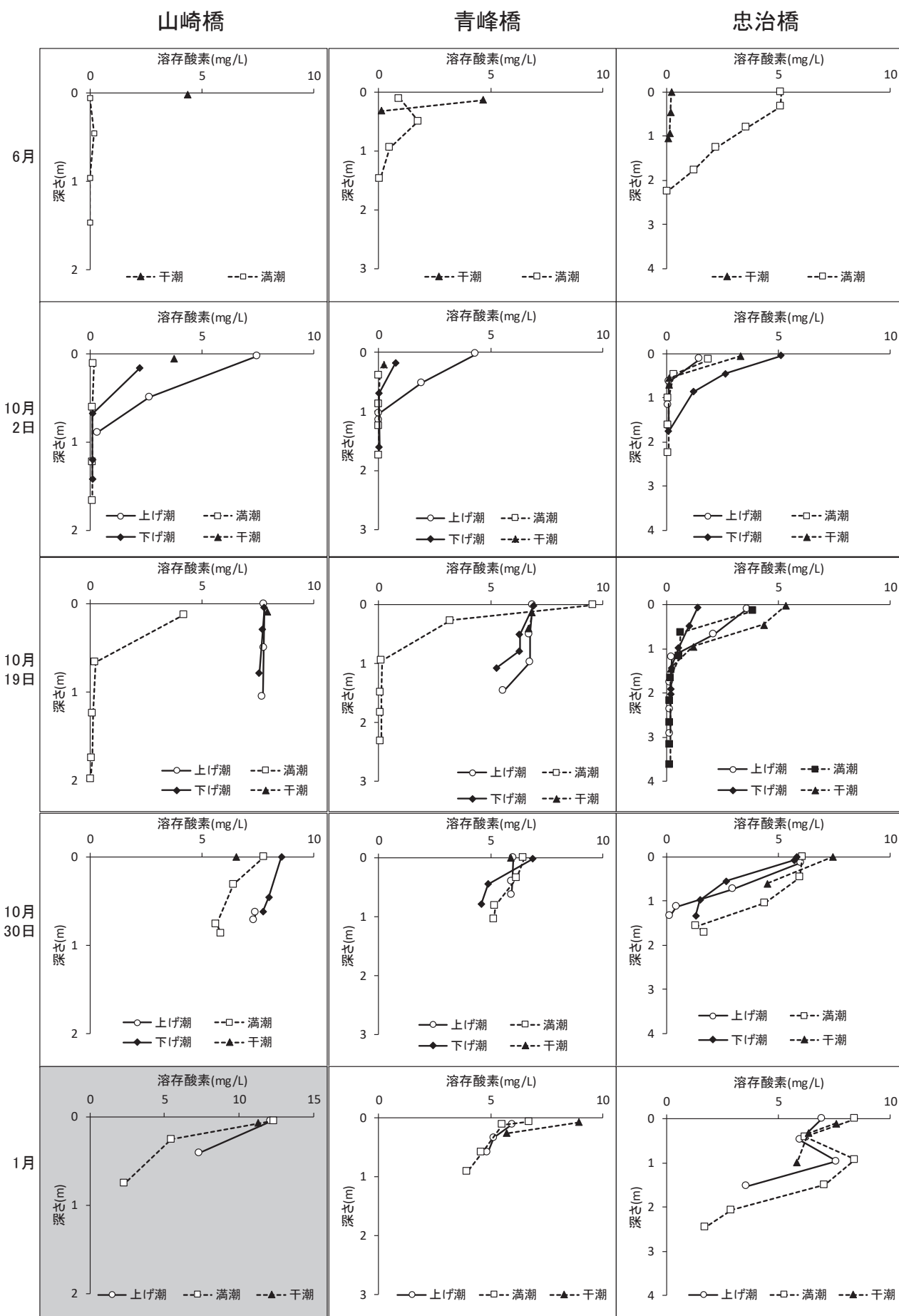


図6 層別溶存酸素測定結果

山崎橋

青峰橋

忠治橋

6月 欠測

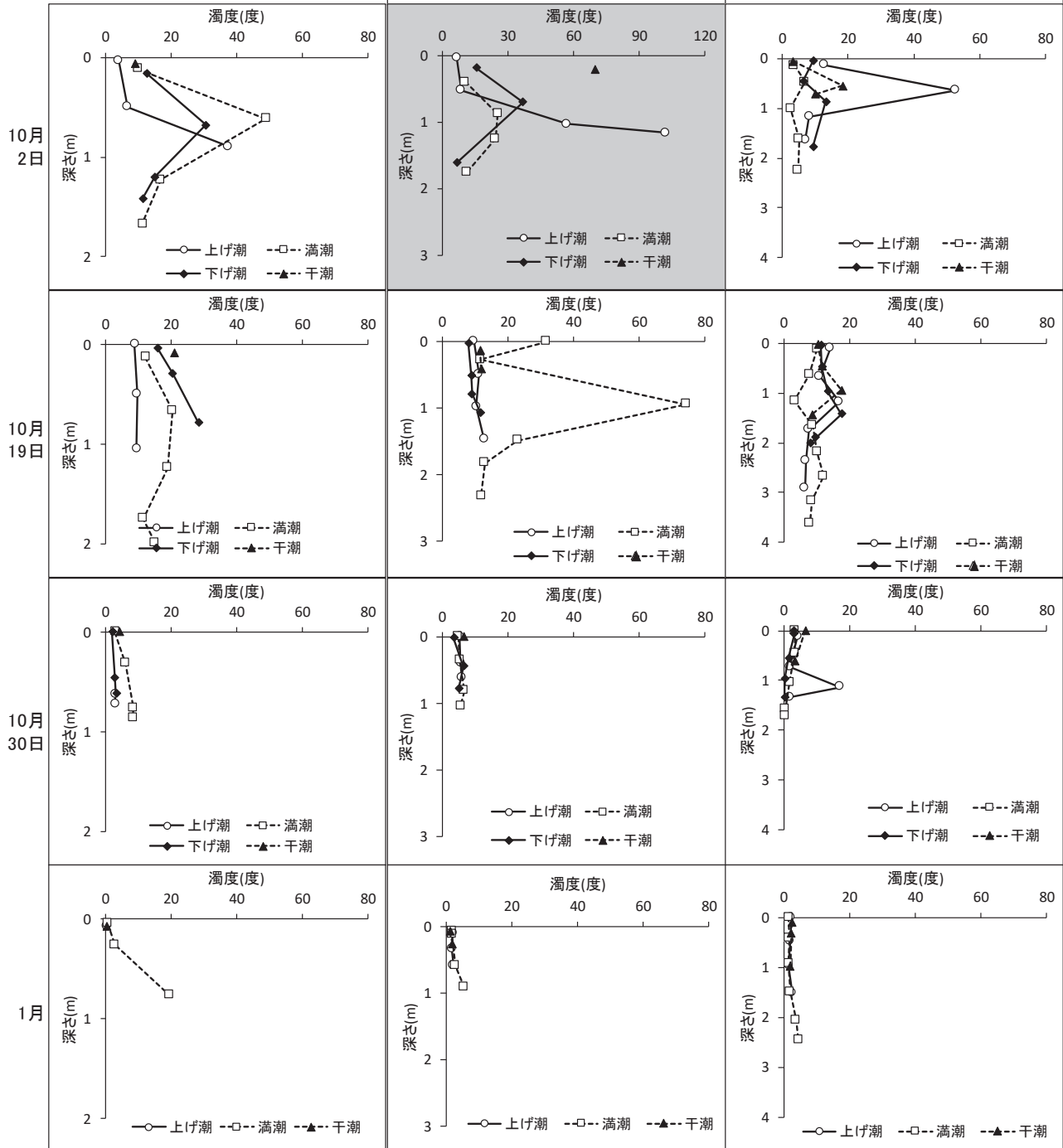


図7 層別濁度測定結果

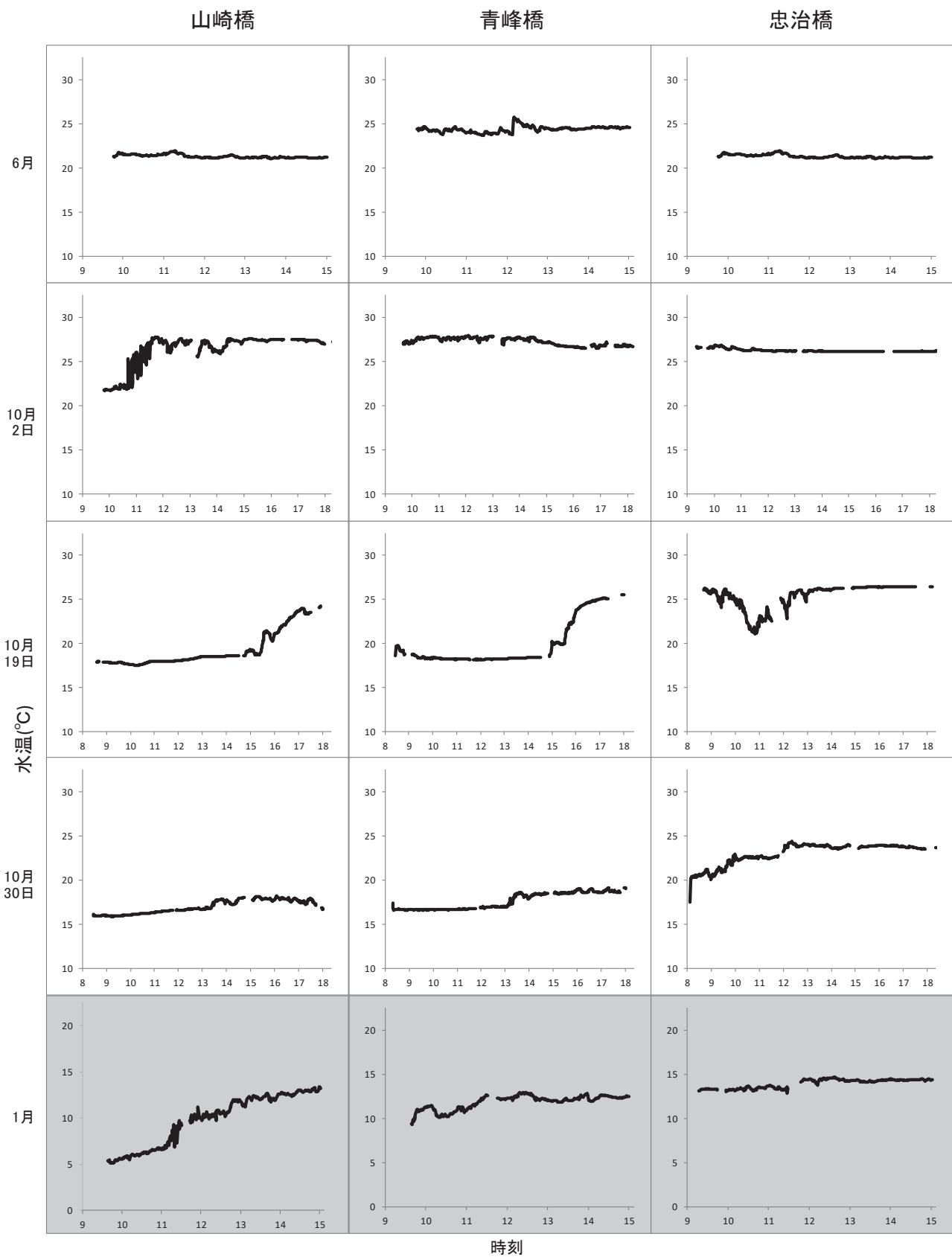


図8 底層水温経時測定結果

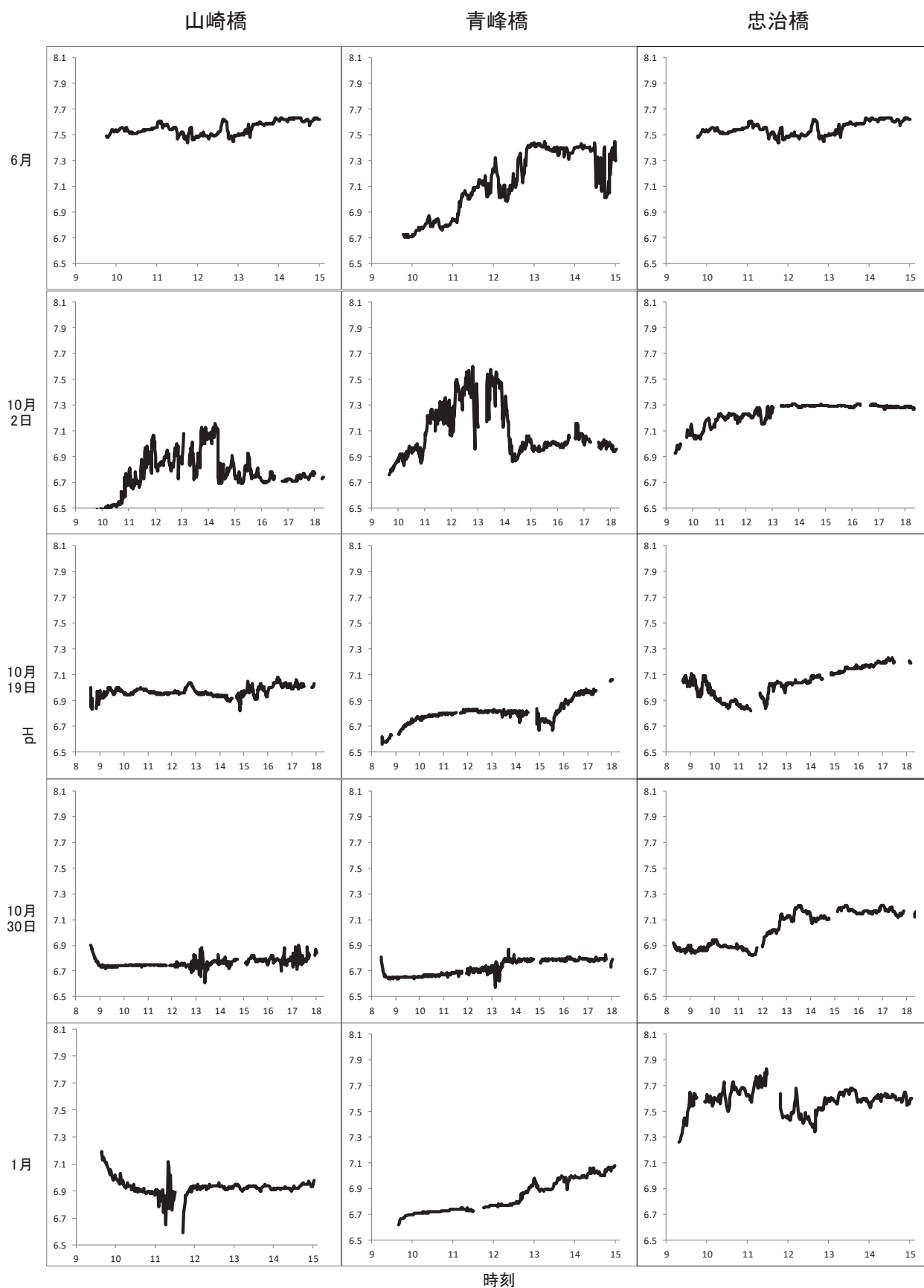


図 9 底層 pH 経時測定結果

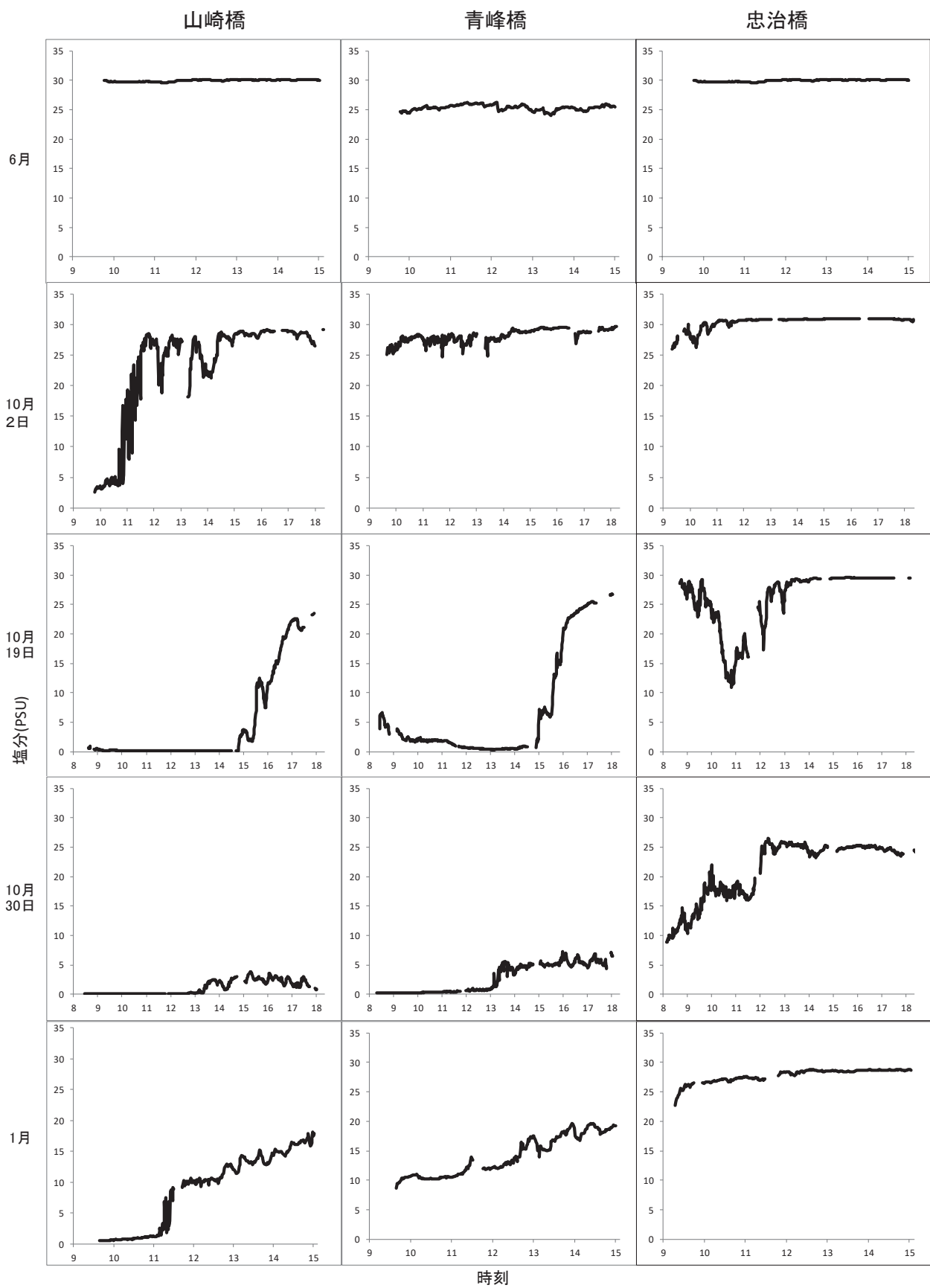


図 10 底層塩分経時測定結果

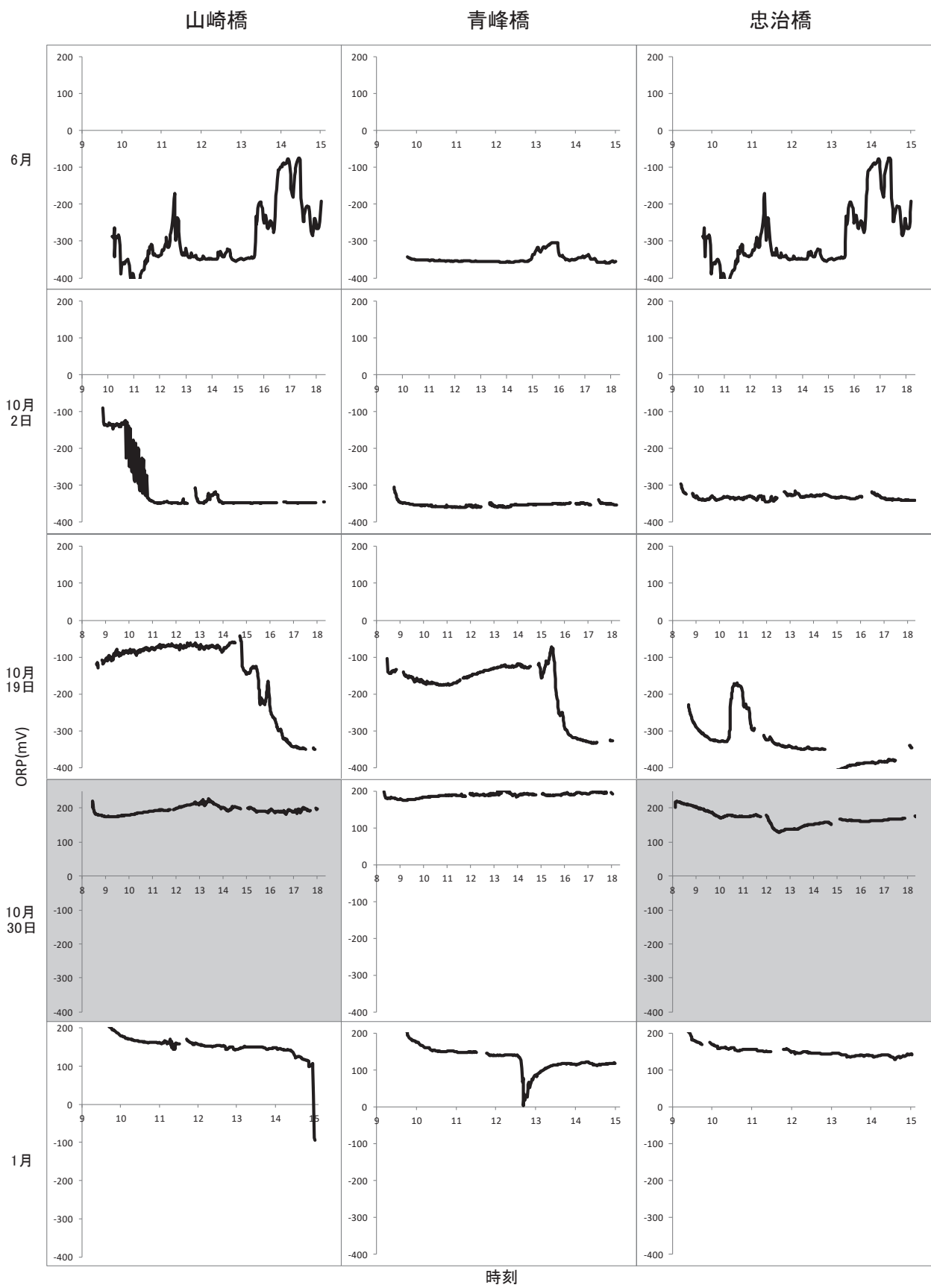


図 11 底層 ORP 経時測定結果

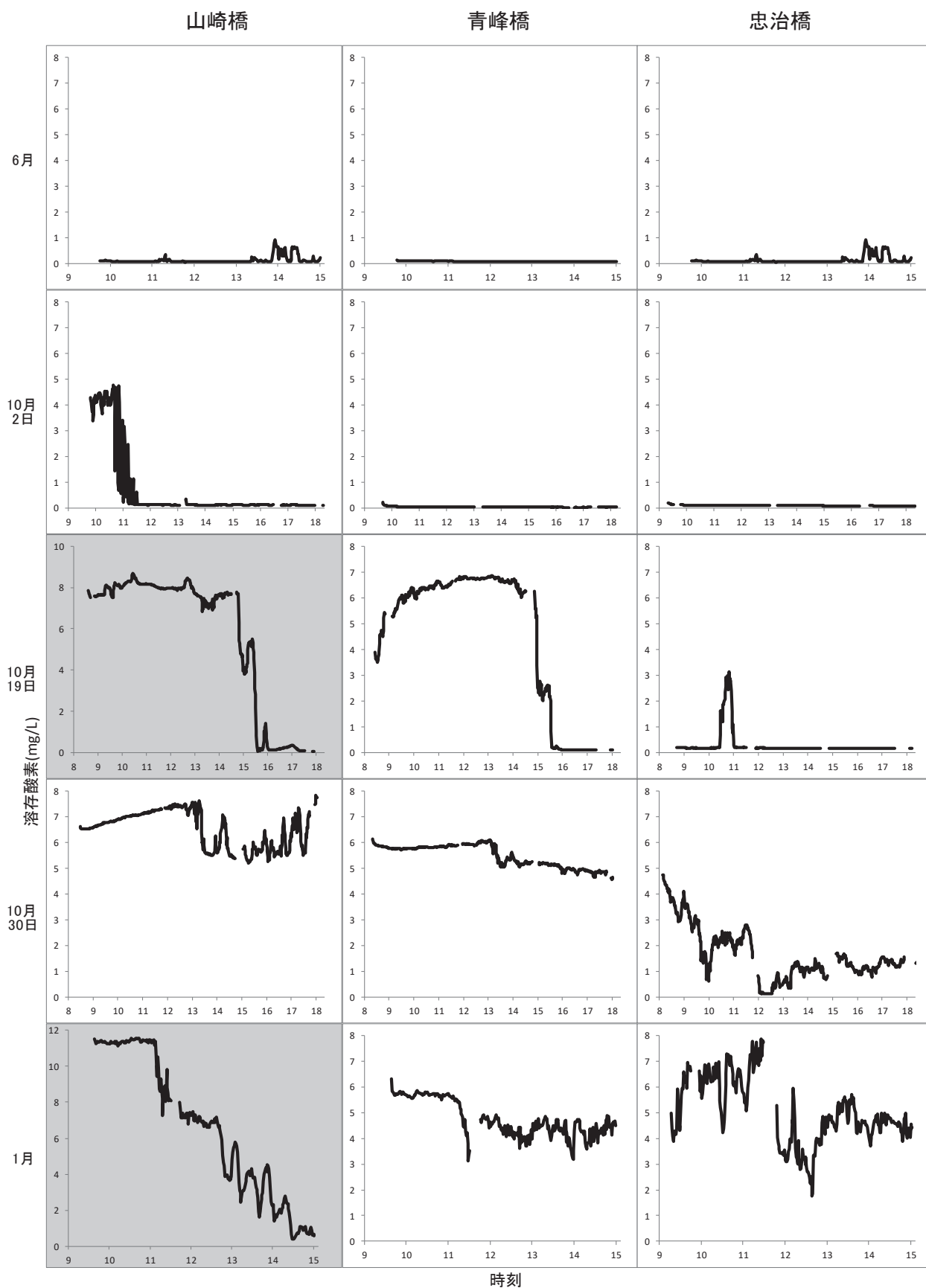


図 12 底層溶存酸素経時測定結果

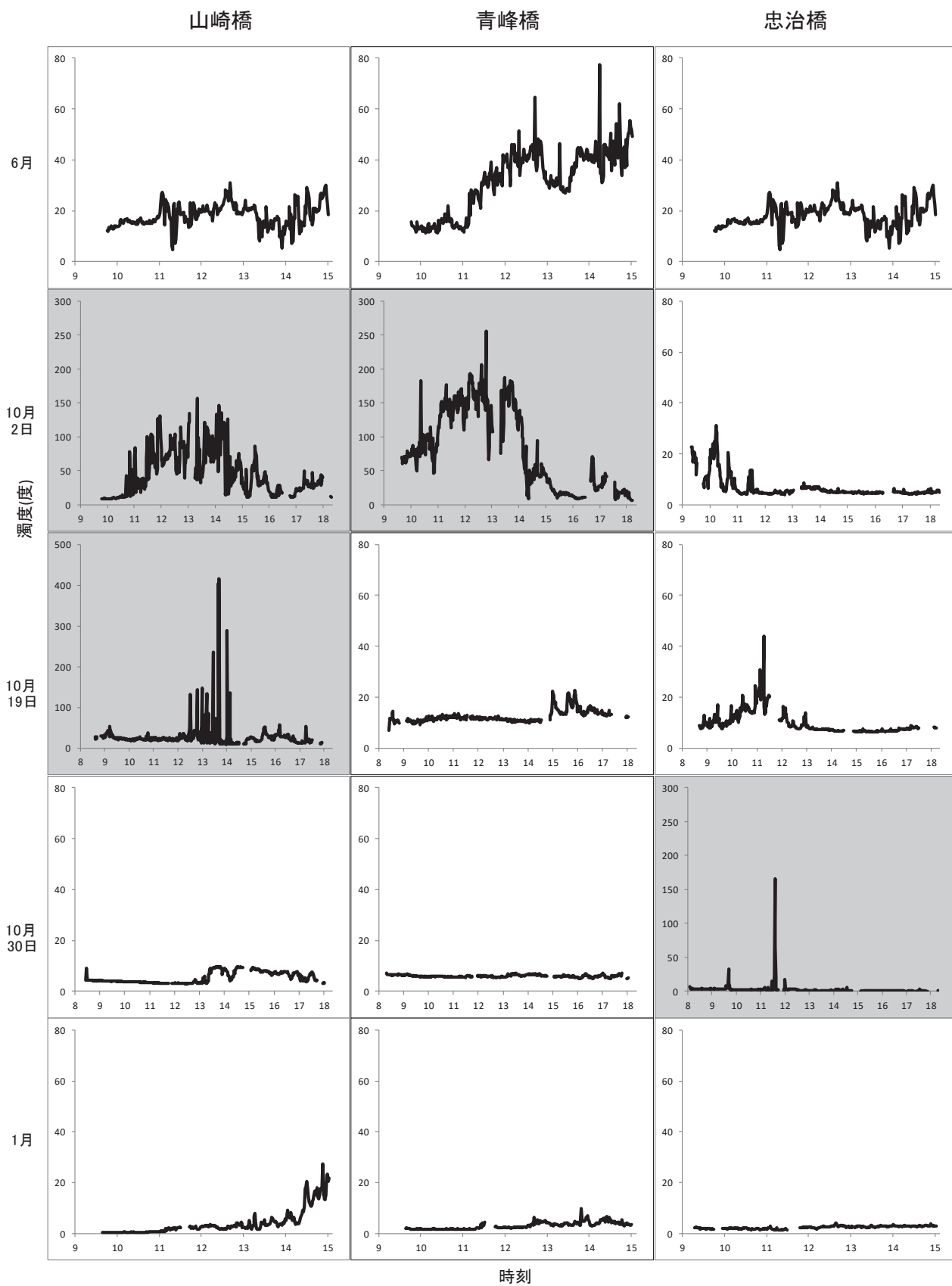


図 13 底層濁度経時測定結果

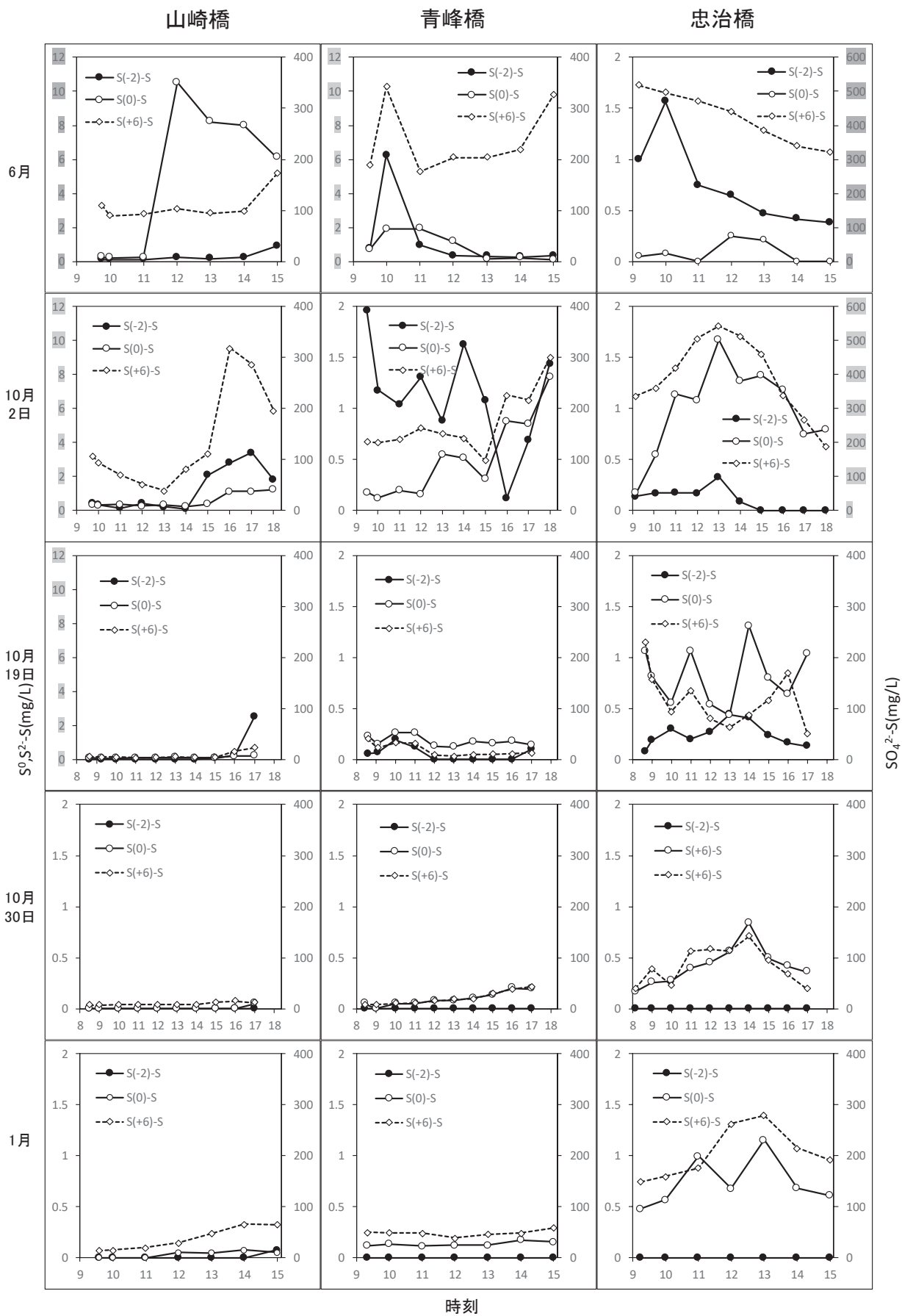


図 14 硫化物イオン・粒子状硫黄・硫酸態硫黄経時測定結果