

# 平成30年7月豪雨に伴う河川水の流入による岡山県海域の海洋環境の変化

高木 秀蔵・濱崎 正明\*・山下 泰司

The characteristic changes of the water environment in Okayama prefecture caused  
by the riverine water of the “2018 Japan flood”

Shuzo TAKAGI, Masaaki HAMAZAKI and Yasushi YAMASHITA

2018年6月28日から7月8日までの間、西日本を中心に全国的に広い範囲で発生した記録的な大雨は気象庁によって「平成30年7月豪雨」と命名された<sup>1)</sup>。この降雨に伴って、岡山県では洪水害、浸水害、土砂災害が多数発生し<sup>2)</sup>、多くの死者が出るとともに、住家被害も数多く発生した。特に、小田川および支流が決壊した倉敷市真備町では町の中心部が水没し甚大な被害となった<sup>3)</sup>。水産関係の被害では、海岸施設の破損、河川の氾濫による養殖アユの流失や種苗生産施設の破損などによって3億1,181万円の被害が発生した<sup>4)</sup>。

降雨に伴う出水が沿岸域に与える影響としては、陸域由来の土砂の流入によって沿岸域の底質環境が変化すること<sup>5)</sup>、淡水の流入によって稚魚や稚貝が斃死すること等が知られており<sup>6)</sup>、出水後に一定期間が過ぎてから調査できる内容については知見が多い。

一方、出水時やその直後の栄養塩を中心とした水質環境の変化に関する調査例は少ない。出水は事前に予測できない上に、荒天時の船舶調査は困難である。さらに、設置型の機器を用いて水質の連続的な変化を調査している場所が少ない。そのため、出水時とその直後に生じている河川から海域への栄養塩の供給、流入後の移流・拡散、植物プランクトンの動態に関する知見はほとんどない。現在、瀬戸内海では溶存無機態窒素（DIN）の管理に向けて、陸域からの窒素量と海域のDIN濃度、漁業生産量の関係解明が求められており<sup>7)</sup>、ごく短時間に陸域から大量に栄養塩が供給される出水が海域の栄養塩濃度の変動と一次生産に与える影響を把握することは大変重要である。

今回、平成30年7月豪雨の際に広域的な船舶調査を実施するとともに降雨や河川流量を整理し、出水時にお

ける海域への栄養塩の供給量と各種水質の変化を明らかにした。さらに、同時期に実施していた塩分、栄養塩、クロロフィル蛍光量等の連続観測結果を基に、出水によって供給された栄養塩は植物プランクトンに速やかに取り込まれ、その直接的な影響が確認できるのはごく短い期間であることを明らかにしたので、以下に報告する。

## 材料と方法

**気象等のデータと陸域からの栄養塩供給量** '16~'18年の岡山および津山気象台の日平均降水量、同期中の岡山気象台の日射量と日平均気温を気象庁のHP (<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>) から取得した (図1)。また、同期中の津瀬 (吉井川)、牧山 (旭川)、日羽 (高梁川) の日平均流量を国交省の水門水質データベース (<http://www1.river.go.jp/>) から取得した。なお、欠測期間については、同期中の水位 (H) と河川流量 (Q) からHQ式を作成して流量 (Q) を求めた。また、河川から海域への窒素等の供給量 (L) については、既知の各河川の栄養塩濃度<sup>8,9)</sup>を基に、LQ式を作成して計算した。

**沿岸域の水質環境に関する調査** '16年7月4日、'17年7月3日、および'17年9月~'18年9月に毎月1回、図1に示す32測点において、船舶を用いた調査を実施した。なお、'18年は7月6日に実施した。すべての測点において、多項目水質計CTD Rinko-profiler (JFEアドバンテック社製) を用いて、表層から海底まで0.5m毎の水温、塩分を測定した。同時に、採水器を用いて表層および底層 (底上1m) 水を採取した。試水は、研究室に持ち帰った後、一部はWhatmanGF/Cフィルターでろ過した。ろ液は、栄養塩分析装置QuAAtro 2 HR (BLTEC社製) を用いてアンモニア態窒素 (NH<sub>4</sub>-N)、硝酸態窒

\* 現所属:岡山県農林水産部水産課

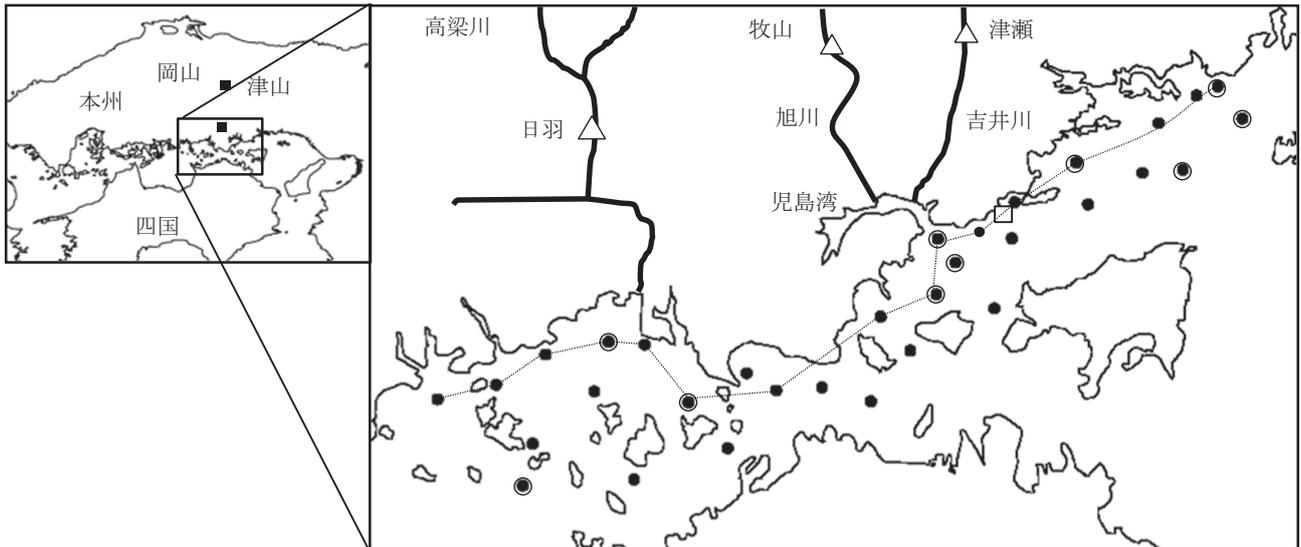


図1 定点図

■：気象データ，△：河川流量，□：連続観測，●：船舶調査，●：TN・TPの分析測点

素 ( $\text{NO}_2\text{-N}$ )，亜硝酸態窒素 ( $\text{NO}_3\text{-N}$ )，溶存無機態リン (DIP)，ケイ酸態ケイ素 (DSi) の分析に供した。 $\text{NH}_4\text{-N}$ ， $\text{NO}_2\text{-N}$ ， $\text{NO}_3\text{-N}$ の合計値をDINとした。また、一部の測点については全窒素 (TN)，全リン (TP) の分析も実施した。SSは、積分球濁度計PT-200 (三菱ケミカル社製)による濁度を基に計算した。ろ紙については、アセトン抽出を行った後、分光光度計UV-2450 (島津製作所製)を用いてクロロフィル  $\alpha$  濃度の測定に供した。

**沿岸域の連続観測調査** '18年7月1～20日に図1に示す連続観測点の水深0.5mにおいて、水温、塩分をACTW-CAD (JFEアドバンテック社製)、クロロフィル蛍光量をACLW-CAD (JFEアドバンテック社製)、溶存酸素濃度 (DO) をAROW2-USB (JFEアドバンテック社製)、硝酸塩センサー値をSUNA V2 (Satlantic社製)によりそれぞれ1時間毎に測定した。硝酸塩センサーは紫外線吸光度を基にDINの主成分である $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度を測定し、実測値での補正を行うことにより一定の精度を有する<sup>10)</sup>。本報では、観測期間中に3回前述の方法で、当該水深のクロロフィル  $\alpha$  濃度と $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の実測値を取得し、クロロフィル蛍光量とセンサー値の補正を行った。

## 結果と考察

**気象等のデータと陸域からの供給量** '16～'18年の7月1～31日までの津山における降水量と吉井川、旭川、高梁川における河川流量の推移を図2に示した。

'16年と'17年は、散発的な降雨が見られたものの、最大でも32mm/日、47mm/日であった (図2 (a), (b))。散発的な降雨の後に流量増加が見られたが、'16年と'17年の3河川の合計流量は最大でも809 $\text{m}^3/\text{s}$ と565 $\text{m}^3/\text{s}$ 、

期間中の平均値は243 $\text{m}^3/\text{s}$ と215 $\text{m}^3/\text{s}$ であった。'18年の降水量は、7月4日に11.5mm/日、5日に148.5mm/日、6日に188.5mm/日、7日に91mm/日となり、その後はほとんど降水がなかった (図2 (c))。7月4日の3河川の合計流量は、266 $\text{m}^3/\text{s}$ であったが、その後増加し、5日に1,582 $\text{m}^3/\text{s}$ 、6日に3,421 $\text{m}^3/\text{s}$ 、7日に5,049 $\text{m}^3/\text{s}$ となり、期間中の最大となった。なお、河川別にみると7日の吉井川、旭川、高梁川の流量は、それぞれ1,611 $\text{m}^3/\text{s}$ 、1,649 $\text{m}^3/\text{s}$ 、1,789 $\text{m}^3/\text{s}$ であった。その後減少し、8日の合計流量は2,414 $\text{m}^3/\text{s}$ 、9日は1,192 $\text{m}^3/\text{s}$ となった。以降は、概ね降雨前の水準で推移した。

'16～'18年の3河川の年合計流量平均値は5,990Mt/年であるが (表1)，'18年7月5～9日の5日間には1,180Mtとなり、年間流量の約20%が同期間中に沿岸域に流入した。期間中の河川から海域への栄養塩供給量は、TN、TP、DSiの順にそれぞれ1,193 t、66 t、8,141 tとなり、年間合計の28%、31%、25%となった。河川流量の増加時には、川床の巻き上げ、土砂の流入、河畔浸食等により、河川水中の栄養塩濃度が上昇することが知られており<sup>9)</sup>、本豪雨中でも河川流量による単純な計算値よりも多くの栄養塩が海域に供給されていた。

**沿岸域の水平的、鉛直的な水質の変化** '16年7月4日、'17年7月3日、'18年7月6日の船舶調査による表層塩分とDIN濃度の分布を図3、4に示した。'16年と'17年の塩分を見ると'17年の児島湾沖合においてわずかに河川水の影響が見られたものの、それ以外の場所ではほぼ一様に塩分は30以上であった (図3)。'18年には、東部の沿岸域、児島湾の沖合、高梁川の河口域で低塩分の場所が見られ、児島湾沖では3.3、高梁川河口では8.7であっ

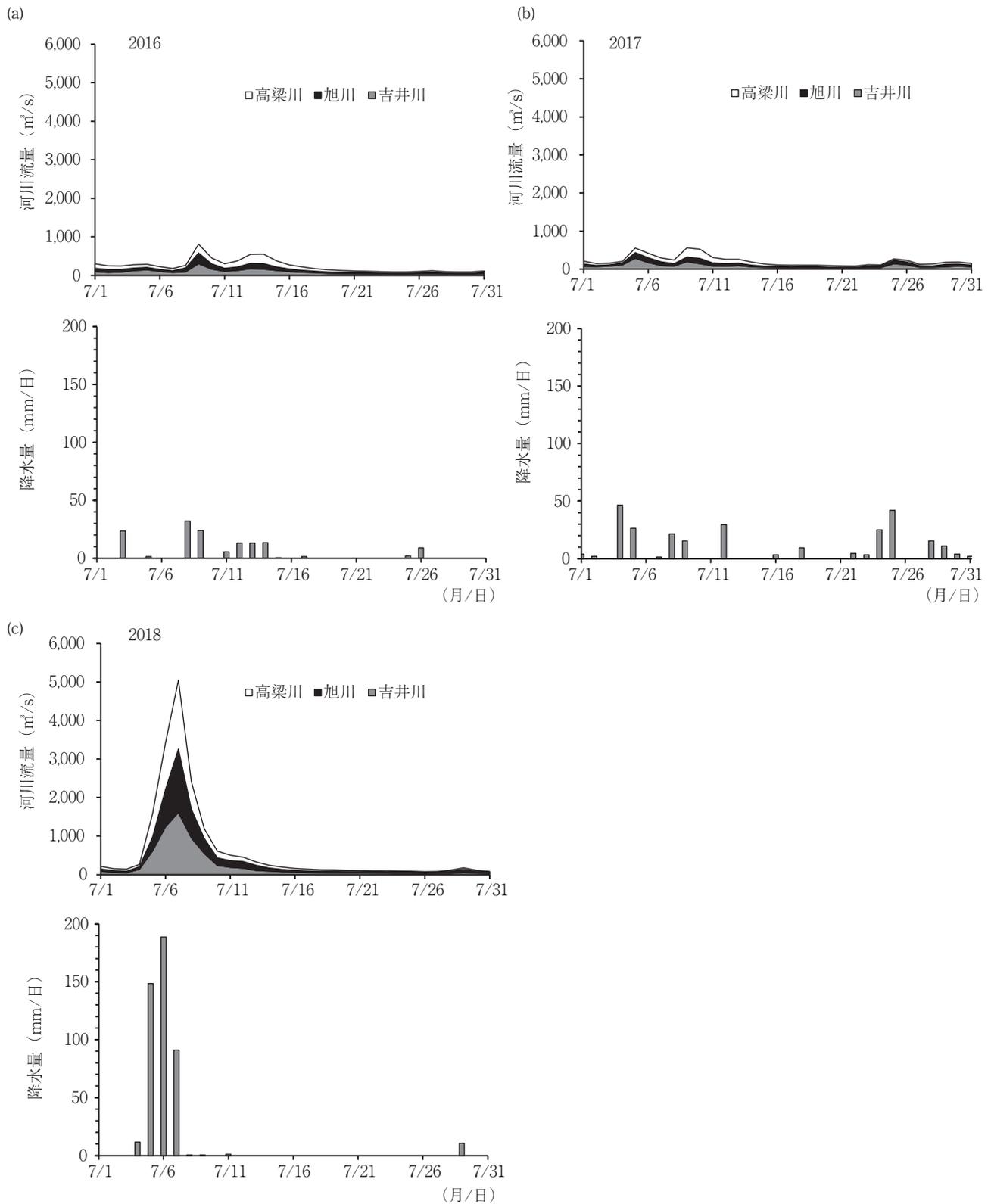


図2 7月1～31日の日平均降水量と河川流量の推移  
(a)2016年, (b)2017年, (c)2018年

た。一方、これら以外の場所では30以上であり、淡水の影響は見られなかった。なお、東部沿岸は、千種川の影響を受けることが知られており<sup>11)</sup>、その結果を反映したと考えられた。

'16年と'17年のDIN濃度の分布では、'17年の児島湾の

沖合で $10\mu\text{M}$ を超える測点が見られたが、それ以外では $5\mu\text{M}$ 以下であった(図4)。<sup>1)</sup>18年には、河川水の影響が見られた東部の沿岸域、児島湾の沖合、高梁川の河口域を中心に高い値を示し、児島湾沖では $42.7\mu\text{M}$ 、高梁川河口では $42.9\mu\text{M}$ であった。一方、それ以外の場所では、

表1 吉井川, 旭川, 高梁川の河川流量とTN, TP, DSiの海域への供給量

	2016~18年の3か年平均				2018年7月5~9日			
	流量 (Mt/年)	TN (t/年)	TP (t/年)	DSi (t/年)	流量 (Mt)	TN (t)	TP (t)	DSi (t)
吉井川	2,193 ± 135*	1,585 ± 97	67 ± 4	12,127 ± 745	429	451	18	3,009
旭川	1,851 ± 82	1,286 ± 57	43 ± 2	11,269 ± 499	356	327	17	2,802
高梁川	1,945 ± 90	1,332 ± 61	100 ± 5	8,628 ± 398	395	415	31	2,330
合計	5,990	4,204	210	32,026	1,180	1,193	66	8,141

\* 平均値 ± 標準偏差

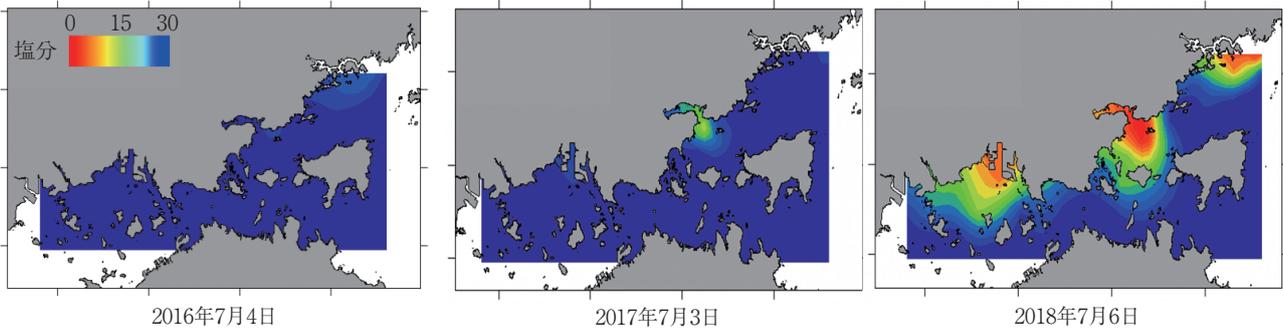


図3 表層塩分の水平分布

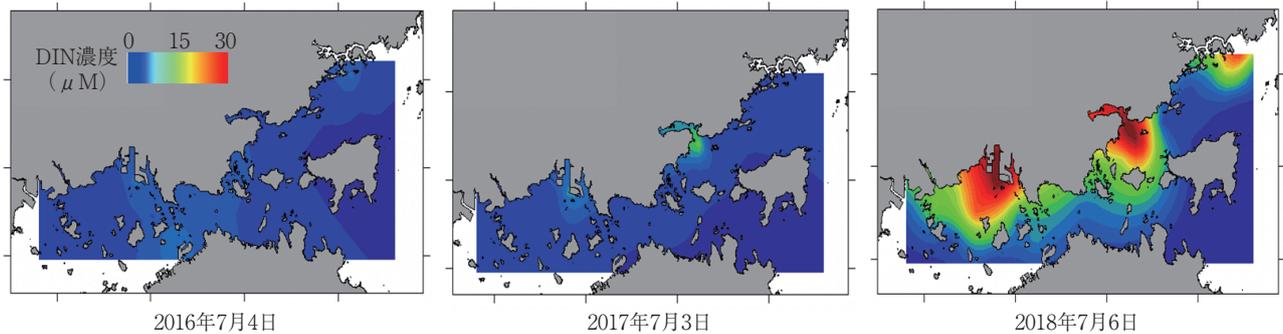


図4 表層DIN濃度の水平分布

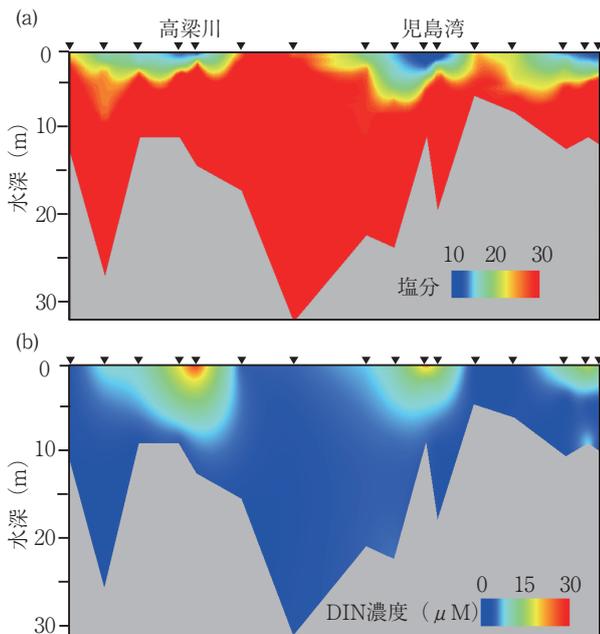


図5 2018年7月における沿岸測線上の鉛直断面分布 (a)塩分, (b)DIN濃度

1 μMを下回る場所も散見され、高濃度域は沿岸に限られていた。

次に、河川水の流入とDIN濃度の上昇が見られた'18年7月の横断側線(図1中の点線)断面における塩分、DIN濃度の分布を図5に示した。前述のとおり、塩分は高梁川河口、児島湾沖、東部沿岸の表層で低い値を示していたが、それらの場所であっても塩分20以下の場所は5m以浅に限られ、10m以深では一様に塩分は30以上となり、河川水の影響は表層に限定された(図5(a))。低塩分の場所でDIN濃度は高かったが(図5(b)), 10m以深では一様に2 μM以下であった。

'18年7月における表層の塩分と水質の関係を図6に示した。TN濃度、DIN濃度、TP濃度、DIP濃度、SS、COD、DSi濃度はいずれも塩分と有意な( $p < 0.05$ )負の相関を示しており、これらの成分は河川を通じて陸域から海域に供給されていた。一方、クロロフィルa濃度は、明確な相関が見られなかった。

本節では、船舶を用いた調査結果を基に豪雨の影響を

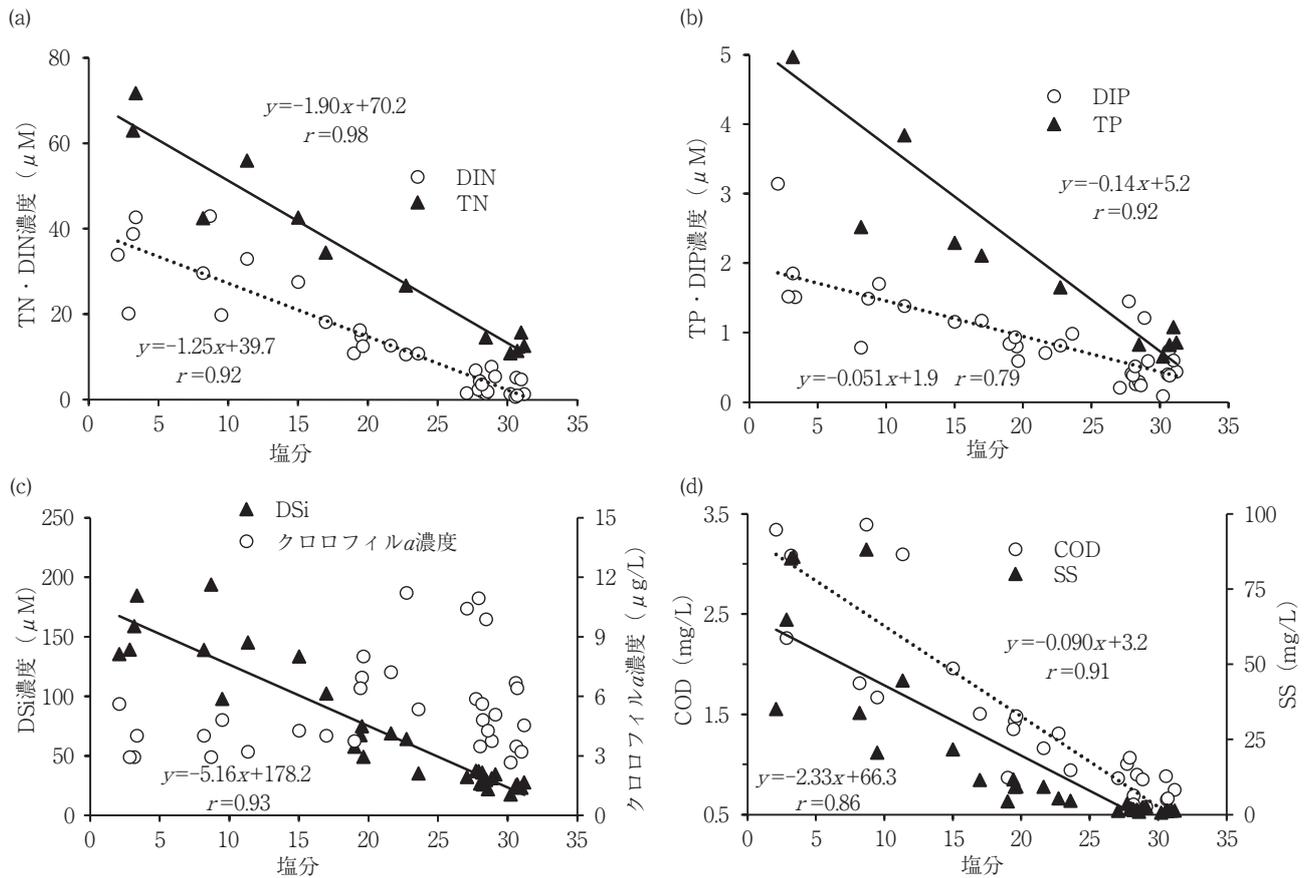


図6 2018年7月の表層塩分と各種項目の関係  
 (a)塩分とTN・DIN濃度, (b)塩分とTP・DIP濃度,  
 (c)塩分とDSi濃度とクロロフィルa濃度, (d)塩分とCOD濃度とSS

評価した。その結果、降雨に伴う出水によって供給された栄養塩等により沿岸域の水質環境が変化していることが分かった。夏季には、供給された栄養塩は通常、河口域で植物プランクトンに吸収され、その沖合には到達しないが<sup>12)</sup>、出水時には、冬季と同様に沿岸海域の水質に直接的に影響を与えていた。一方で、本報で示したレベルの流量であっても平水時と同様に<sup>13)</sup>、河川水の影響が直接見られるのは沿岸域の表層に限られ、底層には到達していなかった。

**2018年7月の水質と平年値の差異** '17年9月～'18年9月（以下、豪雨年とする）の月毎の表層水温、塩分、SS、DIN濃度、DIP濃度、クロロフィルa濃度の全点平均値と平年値、平年偏差を図7に示した。なお、1980～2010年の30年間の毎月値を基に、月毎の平年値と標準偏差（ $\sigma$ ）を求め<sup>14)</sup>、当該年の値と平年値の差（ $\delta$ ）を $\sigma$ で除した値を平年偏差とした。この際、 $\delta/\sigma < -2$ ：きわめて低め、 $-2 \leq \delta/\sigma < -1.3$ ：低め、 $-1.3 \leq \delta/\sigma < -0.6$ ：やや低め、 $-0.6 \leq \delta/\sigma \leq 0.6$ ：平年並み、 $0.6 < \delta/\sigma \leq 1.3$ ：やや高め、 $1.3 < \delta/\sigma \leq 2$ ：高め、 $2 < \delta/\sigma$ ：きわめて高め、と表現する。

水温は、例年夏季に高く、冬季に低下する季節変動を

示し、豪雨年でも同様であった（図7(a)）。4月に平年より高めとなった以外は、平年との相違は明確ではなかった。塩分は、例年夏季に低下し、冬季に上昇する変動を示すが、豪雨年の7月に21.7、偏差は-5.9となり、きわめて低めとなった（図7(b)）。SSは、平年値では明確な季節変動は見られないが、豪雨年の7月には18.5、偏差は7.2となり、きわめて高めとなった（図7(c)）。それ以外の月ではいずれも平年値よりも低かった。DIN濃度は、例年秋季と梅雨時期に上昇する2峰型の変動を示すが（図7(d)）、豪雨年の7月には、13.6 $\mu$ M、偏差は2.4となり、きわめて高めとなった。DIP濃度は、例年DINと同様の季節変動を示すが（図7(e)）、豪雨年の7月には0.92 $\mu$ M、偏差は3.9となり、きわめて高めとなった。クロロフィルa濃度は、通常夏季に上昇し、冬季に低下するが（図7(f)）、豪雨年は11月に低め、3月にきわめて低めとなった以外は、平年との明確な違いは見られなかった。

本節では、平成30年7月豪雨があった年を中心として、平年値との比較を行った。その結果'18年7月には塩分がきわめて低めとなり、平年と比較して河川水の影響を強く受けていた。また、DIN濃度やSS等の河川から流入

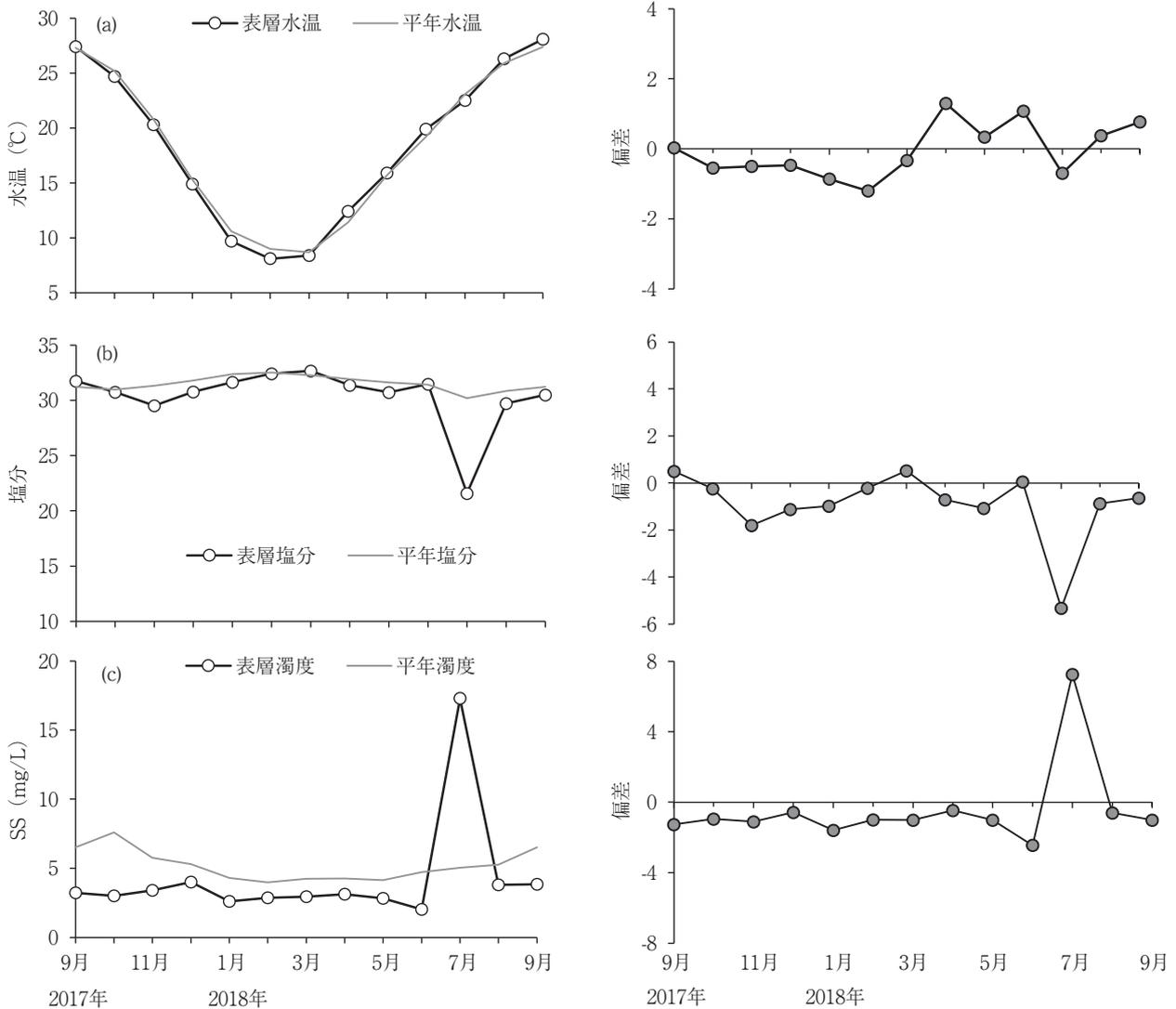


図7-1 2017年9月～2018年9月の月毎の表層全点平均値と平年値，平年偏差の推移  
(a)水温，(b)塩分，(c)SS

してくる成分についてもきわめて高めとなり，豪雨に伴う出水は同月の水質に大きな影響を与えていた。一方，その翌月の8月にはそれらの項目はいずれも平年並みとなっていた。これらのことから，本出水によって河川から供給された淡水や栄養塩等は，海水によってすみやかに希釈され，翌月にはその直接的な影響は見られなくなったと考えられた。

**連続観測による水質変化** '18年7月1～20日の岡山気象台の1日当たりの日射量と日平均気温の推移を図8に示した。

図2(c)で示したとおり，降雨前後の7月3～7日は，日射量はほぼ0となった。以降は降雨がなかったため，7月10日には日射量が10時間以上となり，以降も8時間以上の日射量が見られた。気温は，降雨時に一時的に低下したが，その後は降雨前と同程度まで上昇し，30℃を超える日も見られた。

'18年7月1～20日の水質の連続観測結果を図9に示した。塩分は，7月4日までは約30.5であったが，その翌日から徐々に低下し始め，7日には，約15まで低下した(図9(a))。その後，11日頃までは同程度で推移したが，以降は上昇に転じ，14日には30前後となった。硝酸塩センサー値は，4日の正午には3.5μMであったが，その後急速に上昇し，7日の正午には15.4μMとなった。9日までは15μM程度で推移していたが，以降は急速に低下し，12日の正午には3.9μMとなり，13日以降は出水前と同程度となった。なお，同期間中のDINの主成分はNO<sub>3</sub>-Nであり，センサー値はDIN濃度の変動を反映していた。

クロロフィル蛍光量は，4日の正午には3.5μg/Lであったが，徐々に上昇し，7日の正午には5.3μg/Lとなった(図9(b))。その後，8日の正午には4.5μg/Lまで一時的に低下したが，再び上昇し，11日の正午には期間中

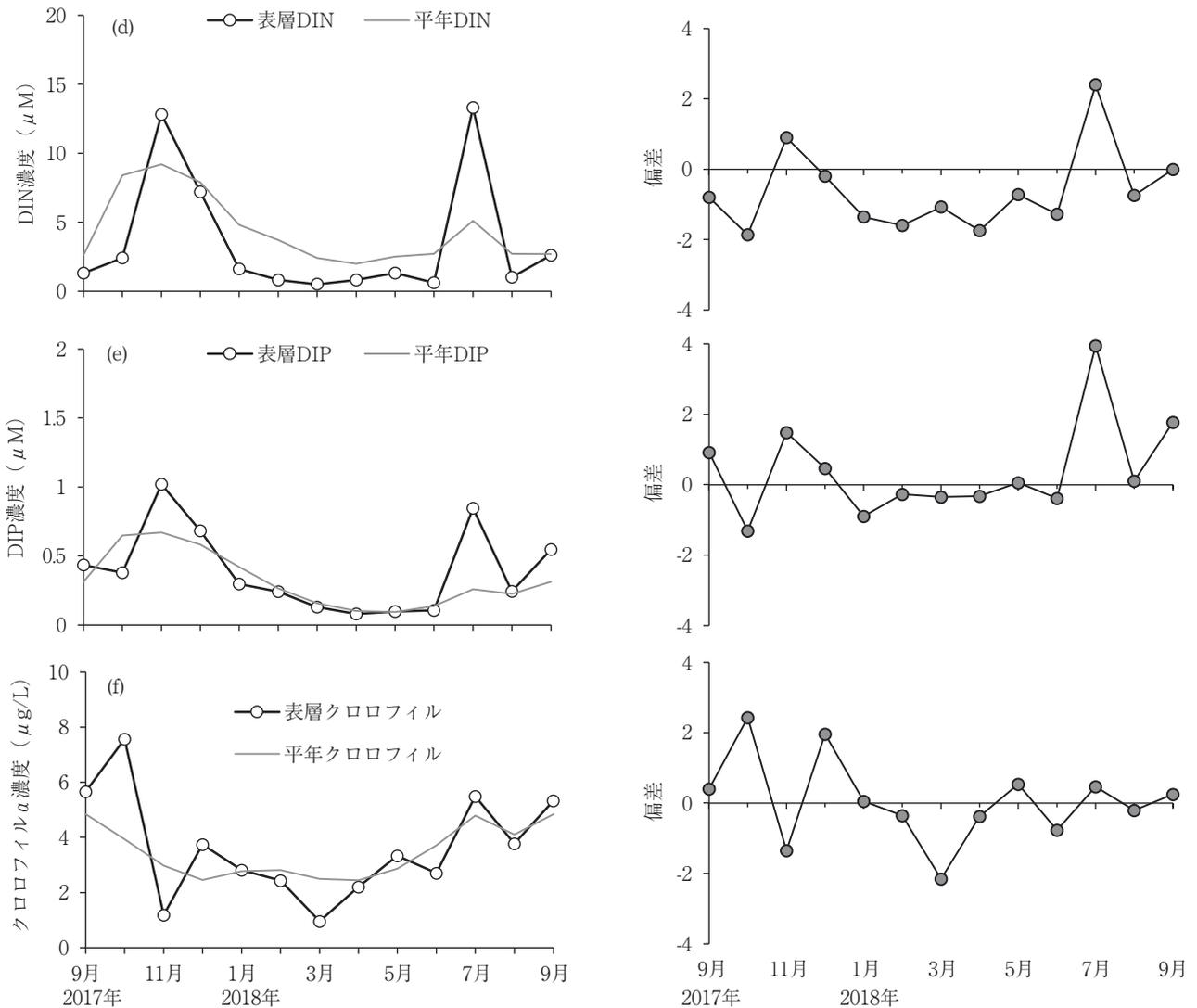


図7-2 2017年9月～2018年9月の月毎の表層全点平均値と平年値，平年偏差の推移  
(d)DIN濃度，(e)DIP濃度，(f)クロロフィルa濃度

最高となる $6.6 \mu\text{g/L}$ となった。翌日以降減少し始め，14日には出水前と同程度となった。DOは，1日には $8 \text{mg/L}$ 程度であったが，8日頃から上昇し始め，11日の正午には $11.6 \text{mg/L}$ となった。その後低下し，14日には約 $9 \text{mg/L}$ となり，以降もそのまま推移した。一般に，沿岸表層の酸素は光合成によって生成され，植物プランクトンが減少するとDOも低下する。今回，6，7日にクロロフィル蛍光量が上昇したにも関わらず，DOは上昇しなかった。また，同期間中は気温が低下し，日射もないため，プランクトンの増殖には適していなかったと思われる。そのため，この一時的な蛍光量の上昇は，淡水中の植物プランクトンの流入や濁りによる吸光度の変化を反映した可能性があり，植物プランクトンの増殖は，8日頃から始まったと考えられた。

次に，供給された栄養塩と植物プランクトンの応答関係を検証するために，7月1～20日の日平均の塩分と硝

酸塩センサー値の関係を図10に示した。

降雨前の7月1～4日は塩分が30，センサー値が $3.5 \mu\text{M}$ 周辺にプロットされた。その後，塩分が低下し，センサー値は上昇し，8日には塩分が15.3，センサー値が $14.9 \mu\text{M}$ となった。9日以降，センサー値は急速に低下し，11日の塩分は18.5，センサー値は $5.6 \mu\text{M}$ となった。その後は，急速に塩分が上昇し，14日の塩分は29.0，センサー値は $3.4 \mu\text{M}$ となり，出水前とほぼ同じ場所にプロットされ，以降も同様であった。

この一連の変化を植物プランクトンの消長と合わせて次のとおり解釈した。まず，7月5日頃から河川から栄養塩が供給され始め，8日にはその量がピークとなった。この期間中は塩分とセンサー値の間には相関があり，図6で示したとおり，陸域から直接的な栄養塩供給があった。一方，9日からは，日射量の増加に伴って，植物プランクトンが増殖し始め，栄養塩の取り込み量も増加し

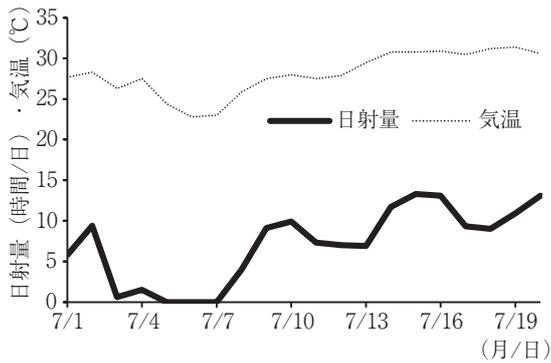


図8 2018年7月1～20日の岡山気象台における日射量と日平均気温の推移

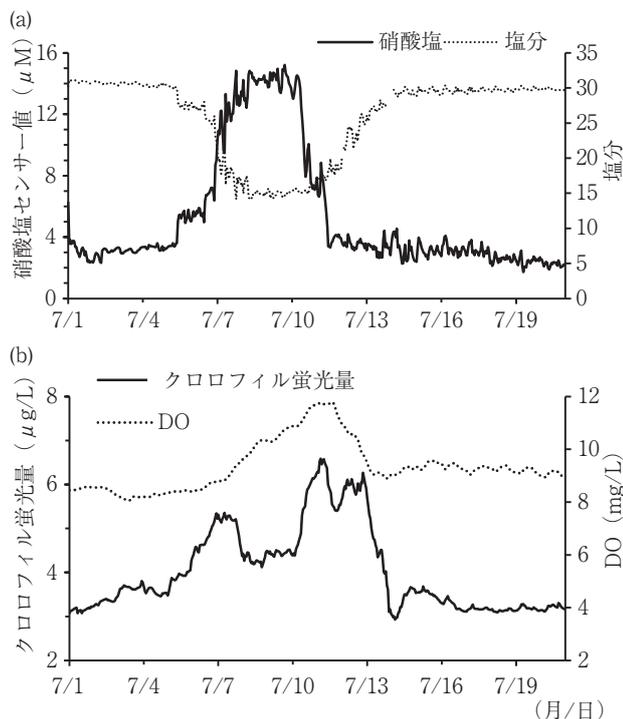


図9 2018年7月1～20日の水質の連続観測の結果  
(a)塩分と硝酸塩センサー値、  
(b)クロロフィル蛍光量とDO

た。11日には植物プランクトン量が最大となり、塩分が18.5と河川水の影響があるにもかかわらず、栄養塩はほぼ枯渇しており、この時点で河川由来の栄養塩を使い切った。その後、新たな栄養塩の供給がないために、植物プランクトンは増殖することができず、14日には出水前と同様の水質（高塩分、低栄養塩）に戻ったと考えられた。また、今回は示していないが、栄養塩が減少している期間中のTSダイアグラムは、ほぼ同じ位置にプロットされており、一連の水質変化は出水の際に河川から供給された栄養塩の動態を捉えていたものと考えた。

本節の調査結果から、河川から海域に供給された栄養塩は植物プランクトンに急速に取り込まれ、枯渇することが分かった。当該年は、出水後に晴天が続いたために、

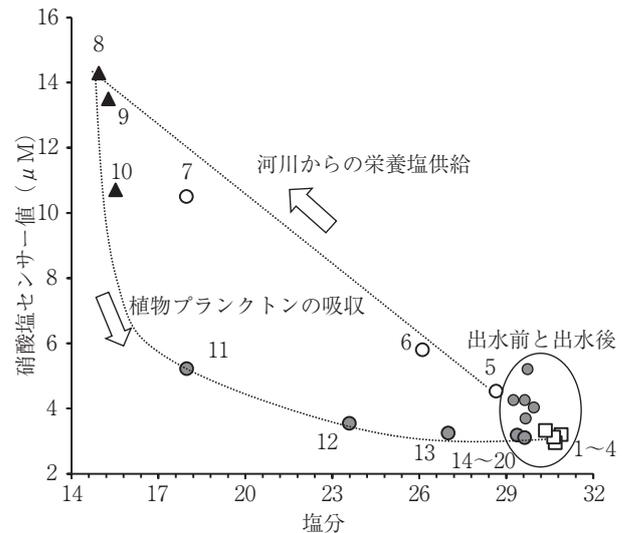


図10 2018年7月1～20日の日平均塩分と硝酸塩センサー値の関係(図中の数字は日を示す)  
□: 7/1～4, ○: 7/5～7, ▲: 7/8～10, ●: 7/11～20

植物プランクトンが増殖しやすく、一連の現象がごく短時間に生じた可能性はあるが、出水のピークから栄養塩が枯渇するまでわずかに4日程度しか要しなかった。このことは前述のとおり、出水等のイベントが海域の栄養塩動態や低次生態系に与える影響をスポット的な調査で把握することが難しいことをより強く示唆するものである。今後は、栄養塩を含めた水質の連続観測を中心とした解析が必要であると考えられた。

## 文 献

- 1) 気象庁, 2018: 今般の豪雨の名称について(平成30年7月9日発表), [https://www.jma.go.jp/jma/press/1807/09b/20180709\\_meishou.html](https://www.jma.go.jp/jma/press/1807/09b/20180709_meishou.html).
- 2) 三隅良平, 2019: 平成30年7月豪雨における被害の概要, 防災科学技術研究所主要災害調査, **53**, 1-32.
- 3) 牛山素行・本間基寛・横幕早季・杉村晃一, 2019: 平成30年7月豪雨災害による人的被害の特徴, 自然災害科学, **38**, 29-54.
- 4) 岡山県, 2018: 平成30年7月豪雨による農振水産関係被害額について(平成30年11月15日現在), <https://www.pref.okayama.jp/page/576015.html>.
- 5) 有路隆一・八木 宏・灘岡和夫・風呂田利夫・中川康之・鈴木紀慶, 2011: 多摩川河口前置斜面における出水前後の底質環境と底生生物群集の変動, 海岸工学論文集, **67**, 851-855.
- 6) 鳥羽光晴, 2017: アサリ資源の減少に関する議論への再訪, 日水誌, **83**, 914-941.
- 7) 根木桂三, 2016: 瀬戸内海環境保全特別措置法の改正と瀬戸内海環境保全計画の変更等について, 水環境学会誌, **39**, 78-82.
- 8) 鷹野 洋・冠野禎男・吉川省子・高橋英博, 2010: 備讃海域での汚濁負荷の解析, 岡山県環境保健センター年報, **34**, 25-30.

- 9) 高木秀蔵・近藤正美・小林志保・阿保勝之, 2016: 河川水の栄養塩濃度と窒素安定同位体比の変動が陸域負荷の評価に与える影響, 海岸工学論文集, **72**, 1255-1260.
- 10) 山下泰司・高木秀蔵・渡辺 新, 2016: 備讃瀬戸のノリ漁場における栄養塩のテレメトリー技術の開発, 月刊海洋, **48**, 236-241.
- 11) 原田和弘・宮原一隆・岡本繁好, 2020: 播磨灘北西部における陸域からの栄養塩供給が二枚貝養殖漁場の生産力に及ぼす影響の解明, 平成31年度漁場環境改善推進事業「栄養塩の水産資源に及ぼす影響の調査報告書」成果報告書, 19-25.
- 12) 高木秀蔵・難波洋平・藤沢節茂・渡辺康憲・藤原建紀, 2012: 備讃瀬戸に流入する河川水の広がりどノリ漁場への栄養塩供給, 水産海洋研究, **76**, 197-204.
- 13) 高木秀蔵・岩本俊樹・藤原建紀, 2014: 河川から供給された窒素の備讃瀬戸河口域, 沿岸海域での形態変化, 沿岸海洋研究, **52**, 93-101.
- 14) 阿保勝之・秋山 諭・原田和弘・中地良樹・林 浩志・村田憲一・和西昭仁・石川陽子・益井敏光・西川 智・山田京平・野田 誠・徳光俊二, 2018: 瀬戸内海における栄養塩濃度等の水質変化とその要因, 沿岸海洋研究, **55**, 101-111.