

（3）富山湾沿岸生態系を支える河川環境特性に関する研究（Ⅱ）

—河川からの物質供給と沿岸海域における栄養塩類の動態特性—（Ⅲ）

藤島裕典 中易佑平 日吉真一郎 天野智順 齊藤悠悟

1 はじめに

海洋の基礎生産者である植物プランクトンは、栄養塩類を取り込み増殖し、海洋生態系の底辺を担っている。一方、植物プランクトンの増殖が原因で水質汚濁指標である化学的酸素要求量（COD）が環境基準値を超過することがあり、富山湾でも夏季を中心に植物プランクトンの増殖が原因でCODが環境基準値超過している。^{1、2)}

COD値が高いということは汚濁レベルが高く海中の酸素の消費が増加し、水生生物を死滅させる深層の貧酸素水塊の発生が危惧される。しかし、当センターにおけるこれまでの研究は公共水域の調査に基づく表層の調査に限られており、これより深い水深の状況を確認できていない。

そこで、本研究では表層から深層までの水質汚濁の状況を明らかにするため、小矢部川河口海域及び神通川河口海域においてCTD観測、並びに有機物及び栄養塩類の測定を行った。また、平成28年度までの結果を元に鉛直分布の季節変動を明らかにし、富山湾沿岸部の水質汚濁機構について考察した。

2 方法

2.1 調査地点および試料採取

調査地点を図1に示す。この地点は富山湾の水質環境基準点である。調査はCTD計（AAQ170, JFEアレック）を用いて平成28年4月から30年3月までの毎月1回、12地点で行い、水温、塩分、クロロフィルa（Chl-a）及び溶存酸素濃度を観測した。

採水は、平成28年5月から30年2月まで5、8、11、2月のCTD観測と同日に年4回、0-2、5、7並

びにJ-2、5、7の6地点において水深0.5、2、10、25、50mで行った。



図1 調査地点

2.2 分析方法

栄養塩類（亜硝酸態窒素： $\text{NO}_2\text{-N}$ 、硝酸態窒素： $\text{NO}_3\text{-N}$ 、アンモニア態窒素： $\text{NH}_4\text{-N}$ 、りん酸： $\text{PO}_4\text{-P}$ 及びケイ酸塩： $\text{SiO}_2\text{-Si}$)は、試料を孔径 $0.45\mu\text{m}$ のメンブランフィルター（Millex-HV, PVDF, Millipore）にてろ過を行った後、海洋観測指針（気象庁）の $5\cdot 5\cdot 3$ に定める方法に基づきQuAAtro2-HR（BL-TEC）を用いて測定した。それぞれの検出限界は $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ ： 0.01mg/L 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ ： 0.001mg/L 及び $\text{SiO}_2\text{-Si}$ ： 0.01mg/L である。

有機物はCOD、溶存態化学的酸素要求量（D-COD）、全有機炭素（TOC）及び溶存態有機炭素（DOC）の4項目を測定した。CODはJIS K 0102 17に基づき測定した。TOCは超音波で懸濁物を破碎処理した後、TOC-V CSH（島津）を用いて高温燃焼酸化法でNPOC（不揮発性有機炭素）を測定した。D-COD、DOCは孔径 $0.7\mu\text{m}$ ガラス繊維フィルター（GF/F, Whatman）でろ過を行った後、それぞれCOD、TOCの分析方法で測定した。

3 平成30年度調査結果

3.1 CTD観測結果

3.1.1 小矢部川河口海域

CTD観測結果を図2に示す。春季（5月）の水温は、表層で15℃前後であったが深くなるにしたがって低下し、水深55m以深で冬季とほぼ等しくなっていた。夏季（8月）には、水深4.5mで最高25.3℃で、水深60m以深で急激に低くなっていた。秋季（11月）は、表層から水深60mまで20.5±0.2℃、冬季（2月）は、11.9±0.3℃で水深80mまで一定であった。

塩分は、水深0～5mまでが最も低く、小矢部川と庄川の影響を受けていると示唆される。夏季には表層から水深30mまで他の季節より一様に低くなっていた。

Chl-a濃度は、春季に水深5.5mをピークに水深20mまで高く、夏季には表層で極大となったが、水深1m以深で急激に低下する傾向が見られた。これを河口からの距離及び水深で濃度分布を示すと図3のとおりであった。

溶存酸素濃度は、春季と冬季に高く、夏季と秋季は低くなった。また、夏季には水深60m以深から増加する傾向が見られた。なお、小矢部川河口海域のすべての調査地点で4mg/Lを下回ることがなく、貧酸素水塊の発生は見られなかった。

これらの結果より、小矢部川河口海域では夏季に水深60m前後を境に成層し、秋季から冬季に鉛

直混合で溶存酸素濃度の高い海水が表層から深層に供給されていることが示唆された。また、この結果は28年度と同様であった。

3.1.2 神通川河口海域

CTD観測結果を図4に示す。春季の水温は、表層で14℃前後であったが深くなるにしたがって低下し、水深70m以深で冬季とほぼ等しくなっていた。夏季には、水深6mで最高25.0℃で、水深60m以深で急激に低くなっていた。秋季は、水深5～70mまでは20.9±0.1℃と一定であったが、水深70m以深では夏季同様に急激に低下していた。冬季には、水深10m以深では12.0±0.4℃で水深86mまで一定であった。

表層付近の塩分は地点O-5よりも低く、小矢部川河口海域よりも河川の影響を強く受けていると示唆される結果となった。特に春季は水深5.5mまで低く、河川の影響を強く受けていた。一方、夏季は水深0～0.5mの薄い範囲で強く河川の影響を受けた水が存在している。

Chl-a濃度は、春季に水深0～2.5mをピークに水深3.5mまで高く、小矢部川河口海域と同様に水深1m以深で急激に低下する傾向が見られた。これを河口からの距離及び水深で濃度分布を示すと図5のとおりであった。

溶存酸素濃度は、小矢部川河口海域と同様に夏季には水深70m以深から増加する傾向が見られ、

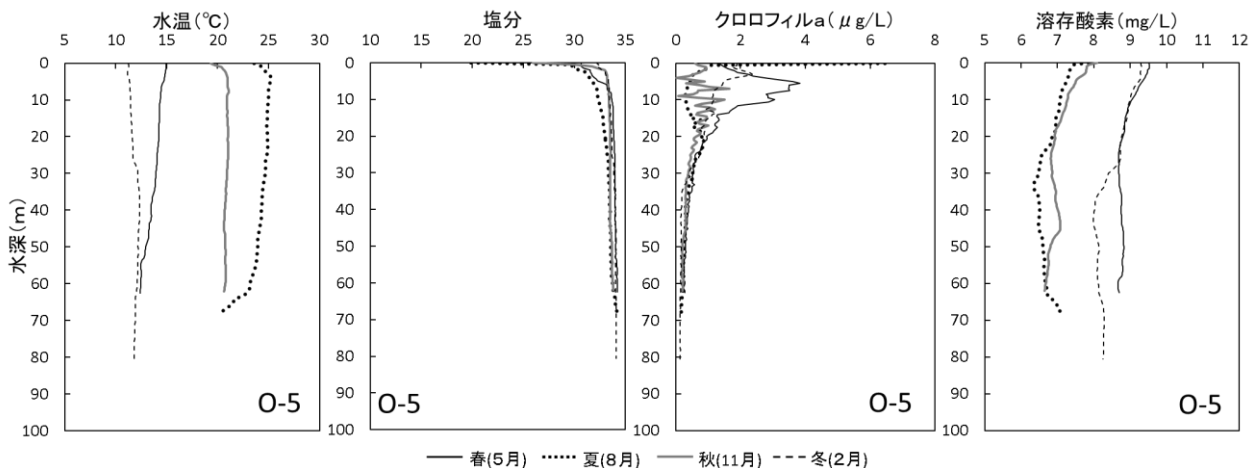


図2 小矢部川河口海域における水温、塩分、クロロフィルa濃度及び溶存酸素濃度の鉛直分布

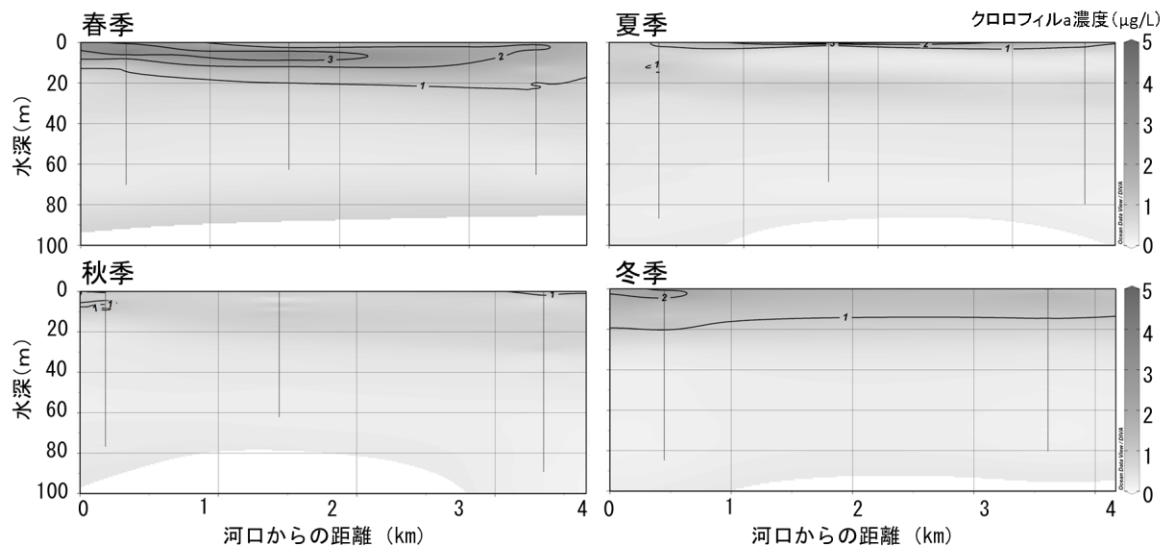


図3 小矢部河口海域におけるクロロフィルa濃度分布

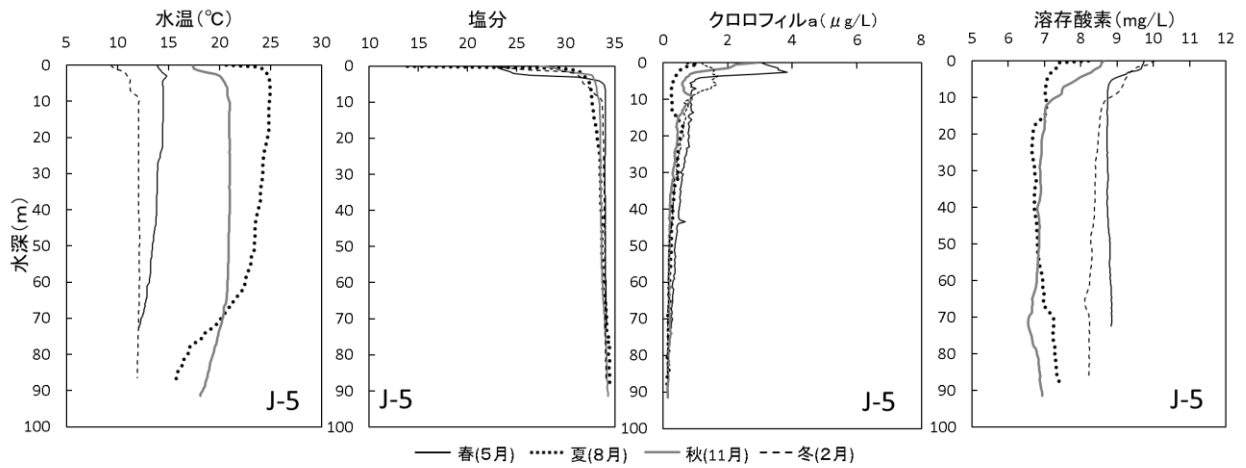


図4 神通川河口海域における水温、塩分、クロロフィルa濃度及び溶存酸素濃度の鉛直分布

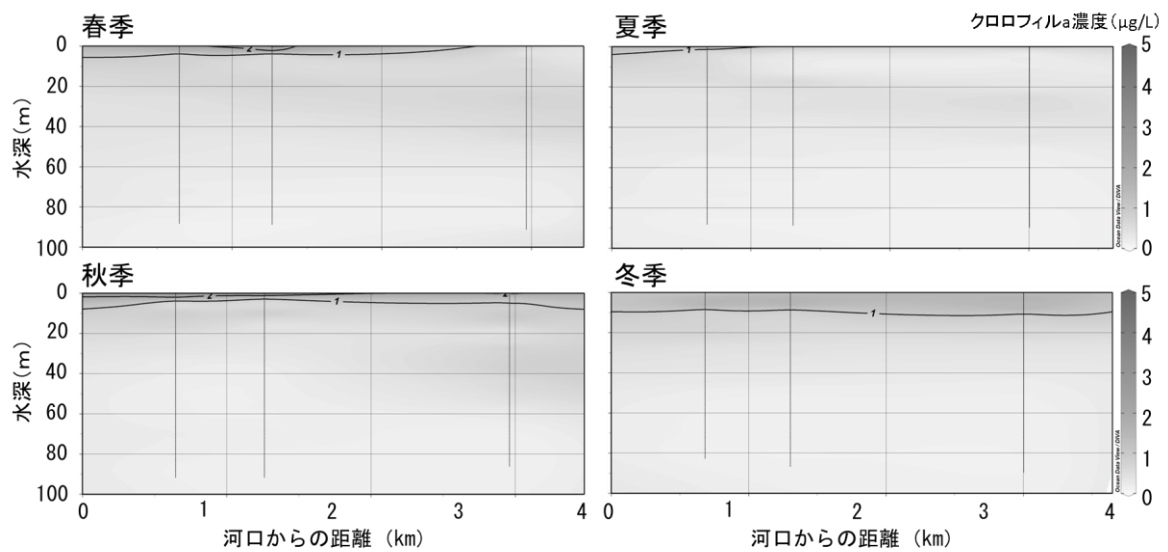


図5 神通川河口海域におけるクロロフィルa濃度分布

すべての調査地点で4 mg/Lを下回ることがなく、貧酸素水塊の発生は見られなかった。

これらの結果より、神通川河口海域でも夏季に水深70m前後を境に成層し、秋季から冬季に鉛直混合で溶存酸素濃度の高い海水が表層から深層に供給されていることが示唆された。また、この結果も28年度と同様であった。

3.2 栄養塩類濃度の鉛直分布

3.2.1 小矢部川河口海域

栄養塩類の測定結果を図6に示す。NO₃-Nは春季から秋季に低く（ND～0.02mg/L）、冬季は全ての水深で高かった（0.04～0.05mg/L）。

PO₄-Pは春季から秋季に低く（ND～0.004mg/L）、水深50mで若干高くなっていた。一方、冬季は全ての水深で高くなり（0.003～0.009mg/L）、水深50mが最も高くなる傾向が見られた。

これは、春季から夏季に植物プランクトンの活動が活発になり、栄養塩類が消費され濃度が低下し、冬季にはその消費が減ることに加え、鉛直混合で深層から栄養塩類が供給されたためと考えられる。

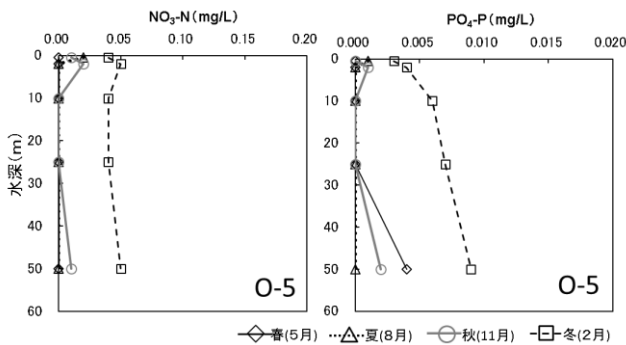


図6 小矢部川河口海域における栄養塩類濃度の鉛直分布

3.2.1 神通川河口海域

栄養塩類の測定結果を図7に示す。NO₃-Nは全ての季節の水深0.5mで最も高く、小矢部川河口海域より高かった（0.03～0.13mg/L）。これは、神通川河口海域は小矢部川河口海域よりも河川の影響が強いことによるものと考えられる。春季か

ら秋季は、水深2～50mまで小矢部川河口海域と同様に低く（ND～0.02mg/L）、冬季に水深0.5mを除く全ての水深で高くなった（0.04～0.06mg/L）。

PO₄-Pは、春季から秋季に低く（ND～0.006mg/L）、水深50mで若干高くなっていた。一方、冬季は全ての水深で高く（0.006～0.008mg/L）、水深50mが最も高くなる傾向が見られた。

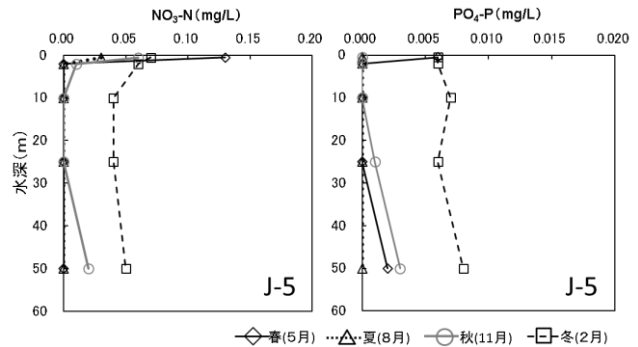


図7 神通川河口海域における栄養塩類濃度の鉛直分布

3.3 有機物濃度の鉛直分布

3.3.1 小矢部川河口海域

有機物の測定結果を図8に示す。28年度に見られた夏季のCODの大幅な増加を確認できなかった。CODは、春季の水深2mで最も高くなった（1.9mg/L）が、溶存態のCOD（D-COD）の連動した増加は小さく、COD増加の原因は海水中に存在する固形状の有機物（プランクトン、その他有機物の粒子など）であった。この増加傾向は、CTD観測のChl-*a*濃度の傾向とも一致するため、植物プランクトンの増殖によるものと示唆される。

TOCは、CODと同様に夏季に高く冬季に低い傾向があり、CODほど水深別の差は少ないものの春季は水深0.5mと2mで高かった。

3.3.2 神通川河口海域

有機物の測定結果を図9に示す。CODは、春季の水深0.5mで最も高くなった（2.7mg/L）が、溶存態のCOD（D-COD）の連動した増加はなく、CODの増加の原因は海水中に存在する固形状の有機物である。神通川河口海域においても小矢部川河

口海域と同様の傾向があり、植物プランクトンが増えたことが高CODの原因であると示唆される。

TOC及びDOCは、夏季に全ての水深で高い傾向であった。

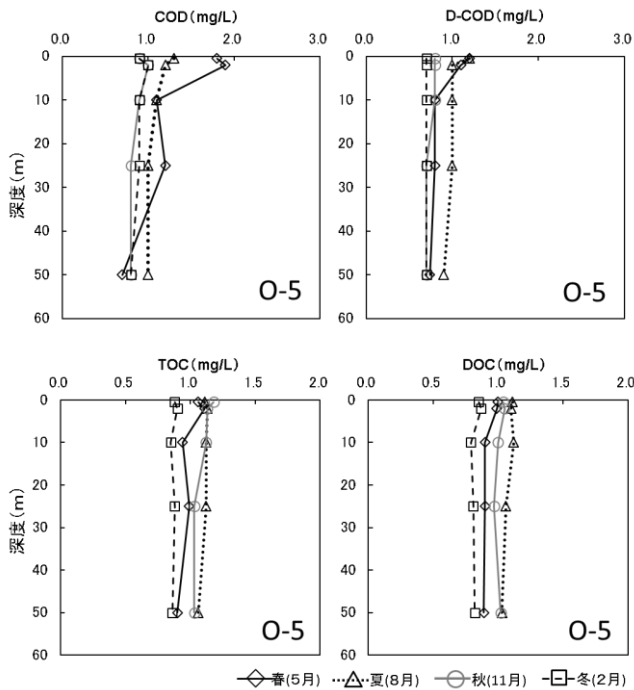


図8 小矢部川河口海域における有機物濃度の鉛直分布

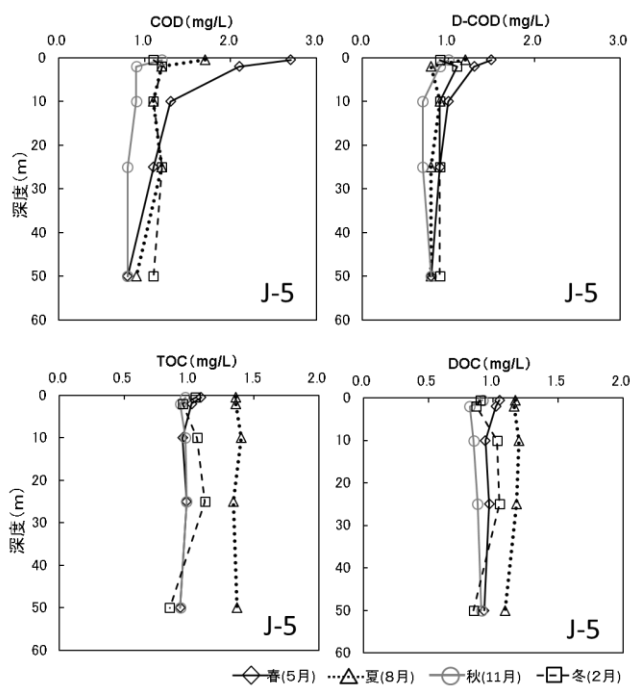


図9 神通川河口海域における有機物濃度の鉛直分布

4 まとめ

30年度の調査では、28年度の調査³⁾で見られた夏季の水深0.5m及び水深2mでCODの上昇を確認できなかった。

しかし、Chl-aの上昇に伴うCODの上昇はこれまでの研究¹⁻⁴⁾と同様に見ることができ、内部生産がCOD上昇のひとつの要因であると考えられる。Chl-aの上昇は夏の表層付近だけでなく、春には水深10~20m付近で濃度の上昇が見られた。

栄養塩類は、以前の研究³⁾と同様、夏季に植物プランクトンの増殖により減少し、反対に冬季は鉛直混合による深層からの供給で増加した。

これまでの結果より、富山湾沿岸の河口海域の水質汚濁機構を模式的に示した(図10)。

夏季は、表層付近(水深10m以浅)に栄養塩類を含む河川水が滞留し、高温・日射の影響を受けて植物プランクトンが増殖するためCOD濃度が高くなる。

秋季から冬季にかけては、表層が冷えて鉛直混合が進み、深層から栄養塩類が供給されるが、消費されずに海水中の濃度が増加する。

春季は、冬季に鉛直混合で供給された栄養塩類を利用して植物プランクトンが増殖し、COD濃度が上昇する。

富山湾の水質汚濁メカニズムは、この季節毎の物質循環が影響していると考えられた。

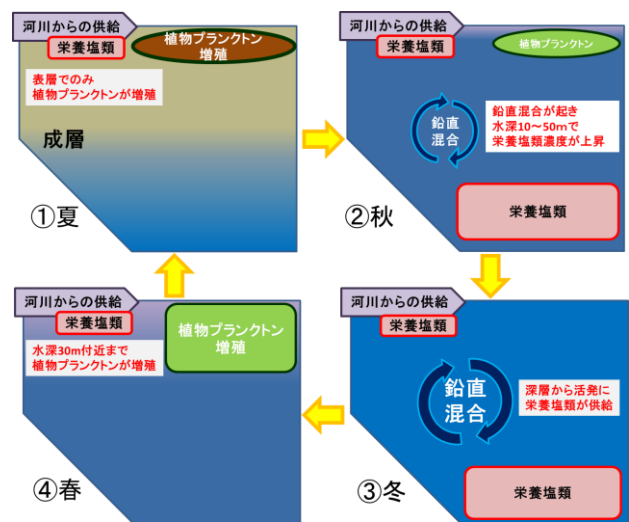


図10 富山湾沿岸河口海域の水質汚濁機構

5 成果の活用

富山湾の生態系や栄養塩管理を考えていくうえで、この水質汚濁機構を元に今後の富山湾沿岸海域における栄養塩類と海の生態系から見た物質収支について研究を進めていく。

参考文献

- 1) 藤島ら: 富山湾の健全性に関する研究 (第2報), 富山県環境科学センター年報, **41**, 107-119, 2013
- 2) 藤島ら: 富山湾沿岸部の水環境について (II), 富山県環境科学センター年報, **44**, 87-94, 2016
- 3) 藤島ら: 富山湾沿岸生態系を支える河川環境特性に関する研究 (II) —河川からの物質供給と沿岸海域における栄養塩類の動態特性— (I), 富山県環境科学センター年報, **45**, 92-99, 2017
- 4) 藤島ら: 富山湾沿岸生態系を支える河川環境特性に関する研究 (II) —河川からの物質供給と沿岸海域における栄養塩類の動態特性— (II), 富山県環境科学センター年報, **46**, 89-97, 2018