

4) 群集生物学的手法を用いた水生生物調査結果の解析

内田大智*

要旨

1990年度から2019年度までに行った河川の水生生物調査の結果について、群集生物学的手法によって作成した散布図を用いて解析した。

その結果、散布図には生物評価値Ⅰ及びⅡのプロットが集中する範囲があり、生物評価値は生物相を一定程度表していることが示された。

また、現行の生物評価値の算出方法では、同一地点における経年的又は一時的な生物相の変化を表しきれていない課題があることが明らかとなった。

キーワード：水生生物，生物評価値，群集類似度（Horn Index），統計ソフト R

はじめに

河川における水生生物調査は、水環境の中長期的な状態を知るために有用な方法であり、また、高価な機材や高度な知識を必要としないことから環境教育の教材としても用いられている。

熊本県では、「みんなの川の環境調査」として学校、民間団体等が行う調査を支援するとともに、当所においても県内河川 35 地点の環境基準点等において調査を行っている。その結果は、毎年度県環境保全課によって公表される¹⁾とともに、谷口²⁾によって各調査地点における生物の出現状況の変遷が取りまとめられている。

今回、1990年度から2019年度までの調査結果を群集生物学的手法を用いて生物相を解析することにより、その特徴を取りまとめるとともに、現行の評価値算出方法の課題を抽出した。

方法

1 水生生物調査

(1) 調査地点

環境基準点等の県内河川 35 地点（図 1）において 1990 年度から 2019 年度まで、のべ 975 地点で調査を実施した。

ただし、表 1 に示す 3 地点については、水深増等の理由により地点を変更している。

表 1 変更した調査地点

地点番号	地点名	変更年度	旧地点名
8	第二高田橋	2019	高田橋
15	小嵐山堰	2002	大正橋
27	立神峡	1993	島地

(2) 調査期間

各年度の秋季（9月～11月）に生物を採取した。

(3) 採取方法

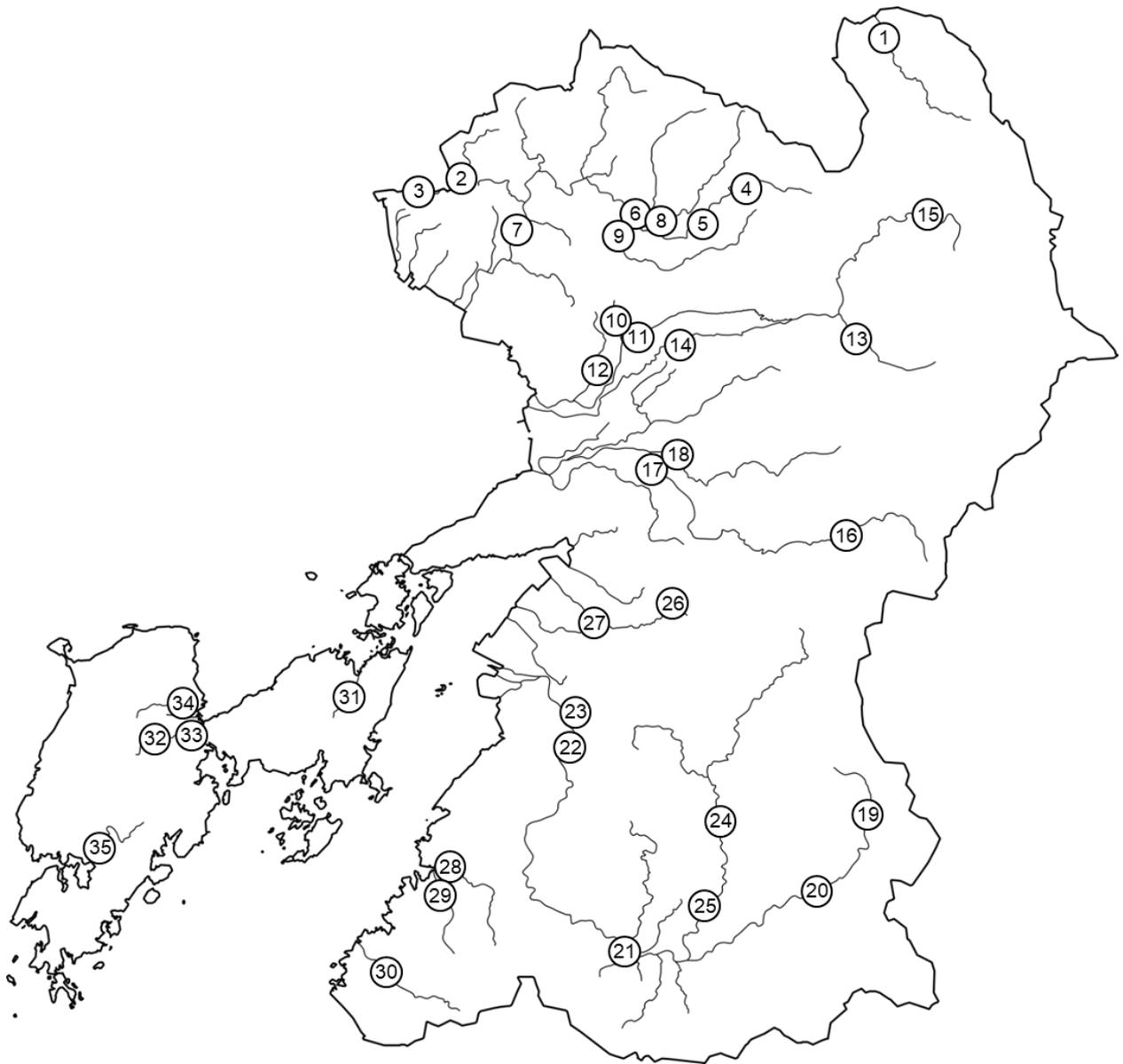
熊本県環境保全課「川の水環境・調査のてびき」³⁾に基づき行った。水生生物の採取は、D 型フレームネット（網目：約 1.0 mm）を用いて、水深約 10～30 cm の瀬においてキック・スイープ法により行った。

採取した生物はエタノールにより固定し、持ち帰ったのちに同定、評価を行った。

(4) 生物評価

評価は熊本県独自の 25 種類の指標生物種⁴⁾の出現状況から水生生物による川の水環境評価値（以下「生物評価値」とする）を求める方法によった。この方法では 25 種の指標生物種をⅠ～Ⅴに区分し、それぞれの区分で出現した種数及び優占種（最も個

*現県北広域本部保健福祉環境部



- | | | | | | |
|-----------|-------|---------|-------|----------|--------|
| 1 杖立 | (筑後川) | 13 妙見橋 | (白川) | 25 川辺大橋 | (川辺川) |
| 2 杉本橋 | (関川) | 14 吉原橋 | (白川) | 26 白岩戸 | (氷川) |
| 3 助丸橋 | (関川) | 15 小嵐山堰 | (黒川) | 27 立神峡 | (氷川) |
| 4 念仏橋 | (菊池川) | 16 津留橋 | (緑川) | 28 柵橋 | (佐敷川) |
| 5 木庭橋 | (菊池川) | 17 乙女橋 | (緑川) | 29 広瀬橋 | (湯浦川) |
| 6 中富 | (菊池川) | 18 五庵橋 | (御船川) | 30 長野橋 | (水俣川) |
| 7 白石堰 | (菊池川) | 19 古屋敷 | (球磨川) | 31 倉江橋 | (教良木川) |
| 8 第二高田橋 | (迫間川) | 20 中鶴橋 | (球磨川) | 32 海老宇土橋 | (亀川) |
| 9 芦原 | (合志川) | 21 西瀬橋 | (球磨川) | 33 草積橋 | (亀川) |
| 10 堀川合流前 | (坪井川) | 22 坂本橋 | (球磨川) | 34 法泉寺橋 | (広瀬川) |
| 11 坪井川合流前 | (堀川) | 23 横石 | (球磨川) | 35 一町田橋 | (一町田川) |
| 12 山王橋 | (井芹川) | 24 藤田 | (川辺川) | | |

図1 調査地点

体数が多い指標生物) から河川の状態を I : 快適な水環境, II : 親しめる水環境, III : 不快を感じない水環境, IV : 多少不快な水環境, V : 不快な水環境の 5 段階に分類することができる。指標生物の同定は図説等^{5~10)}を参考とした。

2 解析

統計ソフト R (vegan package)¹¹⁾ (以下「R」という) を用いてのべ 975 回のすべての調査結果に対して以下の(1)~(3)のとおり解析した。

(1) 類似度指標

下式により各調査結果間の類似度指標 Horn Index¹²⁾を算出した。

$$C_{\lambda} = \frac{2 \sum_{i=1}^n X_{ij} X_{ik}}{(\lambda_j + \lambda_k) N_j N_k}$$

$$\lambda_j = \sum_{i=1}^n \frac{X_{ij}^2}{N_j^2} \quad \lambda_k = \sum_{i=1}^n \frac{X_{ik}^2}{N_k^2}$$

X_{ij}, X_{ik} : 標本 j, k の i 番目の指標生物の個体数

N_j, N_k : 標本 j, k の指標生物の総個体数

(2) 多次元尺度構成法

(1)により得られた指標を多次元尺度構成法により 2 次元の座標として表した。

ただし, R によって自動的に算出された座標を一部改変し, すべてのプロットが第一象限に収まるように平行移動し用いている。

(3) 散布図の作成

生物評価値で色分けするなどして種々の散布図を作成した。

なお, この方法によって作成された散布図は, プロット間の距離にのみ意味があり, 平行移動や回転移動を行っても同一のものとみなすことができる。

ただし, 本文中においては便宜上 X 軸及び Y 軸を固定し, 散布図の解釈をその方向によって示すことがある。

結果及び考察

1 生物評価値別散布図

生物評価値別に色分けした散布図を図 2 のとおり作成した。

生物評価値 I 及び II のプロットは図中左上に分布しており, 散布図は一定程度生物評価値を反映していることが示された。

一方で, 生物評価値 III のプロットは図中左上を含め全体に散布しており, 生物評価値 III が表す生物相の範囲が広いことが明らかとなった。

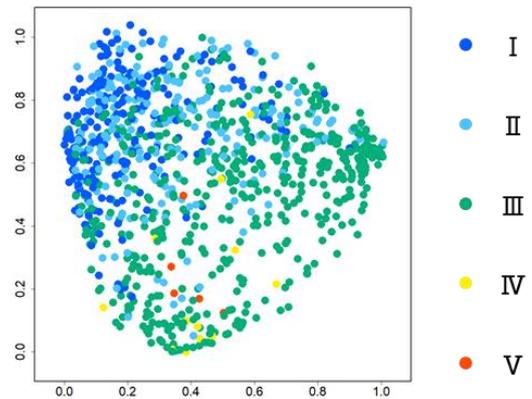


図 2 評価値別散布図

2 BOD 別散布図

環境基準点等で測定している生物化学的酸素要求量 (BOD ; 75 % 値¹³⁾) によって色分けした散布図を図 3 のとおり作成した。調査地点には環境基準点や補助点以外の地点もあるため, それらについては表 2 のとおり近傍の地点の測定結果を用いた。

なお, 測定結果がない又は未公表の年度については図中に灰色 (N.T.) で示した。

表 2 BOD 測定地点

地点番号	地点名	BOD測定地点名
15	小嵐山堰	白川合流前
19	古屋敷	市房ダム
20	中鶴橋	多良木
27	立神峡	氷川橋
30	長野橋	鶴田橋

散布図には青 (BOD 1 mg/L 以下: 河川 AA 類型相当) 及び水色 (BOD 2 mg/L 以下: 河川 A 類型相当) のプロットが多く, 合計で全体の 90 % 以上を占めている。また, そのプロットは散布図全体に散布している。

BOD 2 mg/L 以下のプロットはほとんどが図 2 では生物評価値 I ~ III となっているが, 図 2 と図 3 の散布図を比較しても生物評価値 I のプロットで BOD 1 mg/L 以下のプロットが多い等の情報は読み取ることができない。

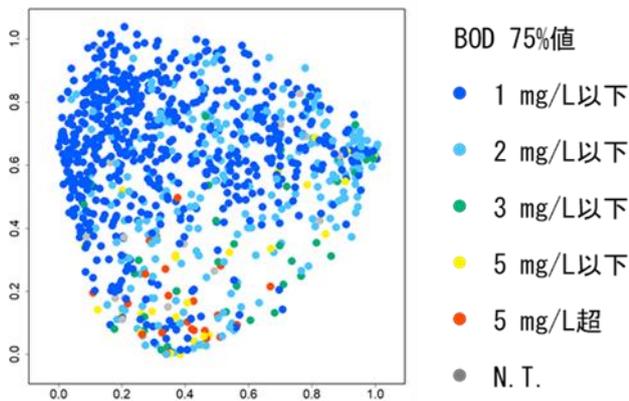


図3 BOD別散布図

ただし、BODと生物評価値の関係を示した表3から、BODの値が大きくなるにつれて生物評価値がIからVに向けて移行する傾向が確認でき、生物評価値は水質（BOD）の影響を受けていると考えられる。

また、図2で生物評価値Vとなっているプロットは図3ではすべてBOD 5 mg/L超となっており、この点からも生物評価値は水質（BOD）の関係があることが示される。

3 指標生物出現率別散布図

25種の指標生物のそれぞれについて出現率（各指標生物の個体数 / 総個体数）によって色分けした散布図を作成した。

そのうち、出現率が高いプロットが比較的多い5種の指標生物（ヒラタカゲロウ類、タニガワカゲロウ類、コカゲロウ類、コガタシマトビケラ、ユスリカ類（白・緑））に関する散布図を図4-1～4-5に示す。

ヒラタカゲロウ類及びタニガワカゲロウ類は図中上側に出現率が高いプロットが存在し、また、コカゲロウ類は図中左側、コガタシマトビケラは図中右側、ユスリカ類（白・緑）は図中下側にそれぞれ出現率が高いプロットが存在している。

これらの5種の指標生物は表4に示すとおり、優占種となる回数が多く、出現回数も比較的多い。そのた

表3 BODと生物評価値の関係

BOD	～1 mg/L		1～2 mg/L		2～3 mg/L		3～5 mg/L		5mg/L～		計
	出現回数(回)	出現率(%)	出現回数(回)	出現率(%)	出現回数(回)	出現率(%)	出現回数(回)	出現率(%)	出現回数(回)	出現率(%)	
I	212	92.6	17	7.4	0	0.0	0	0.0	0	0.0	229
II	177	76.6	49	21.2	5	2.2	0	0.0	0	0.0	231
III	260	52.4	169	34.1	32	6.5	23	4.6	12	2.4	496
IV	0	0.0	2	14.3	0	0.0	4	28.6	8	57.1	14
V	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	5	100.0	5
計	649		237		37		27		25		975

め、散布図を特徴づける指標生物種となっていると考えられる。

小田ら⁴⁾によると、これらの5種の指標生物のうち、ヒラタカゲロウ類を除く4種は「水質に対して広範囲な生息域をもつが、とくに優占的に出現するか、出現頻度がとくに多くなるような、ある水質に対して比較的狭い適応性をもつ。」ことが指標生物としての選定基準とされており、図4-1～図4-5及び表4のような結果となることを裏付けている。

また、ヒラタカゲロウ類及びタニガワカゲロウ類はいずれもヒラタカゲロウ科に属する生物（タニガワカゲロウ類はヒラタカゲロウ科の一属）で、その形態や摂食様式は似ている。本県では適用する水質が異なること、肉眼で見分けることが可能なことから別の指標生物種としているが、形態等の類似が生息する環境の類似、ひいては散布図上でのプロットの傾向が似ていることにつながっていると考えられる。

そこで、ヒラタカゲロウ類とタニガワカゲロウ類の合計（以下「ヒラタカゲロウ類等」とする）の出現率から作成した散布図を図4-6に示す。

図4-6では、図4-1、図4-2と比較しても図中上側で出現率が高くなる傾向が強い。

また、コガタシマトビケラ / コカゲロウ類（X軸方向）及びヒラタカゲロウ類等 / ユスリカ類（Y軸方向）のそれぞれの出現率の比（図4-7及び4-8）を作成すると、明確に区分されることが示された。このことは、これらの4種の指標生物のみを指標とした評価手法の開発につながられる可能性を示している。

表4 指標生物の出現回数と優占種となる回数

指標生物種	出現回数(回)	ランク	優占種回数(回)	ランク
ヒラタカゲロウ類	688	7	98	5
タニガワカゲロウ類	767	4	99	4
コカゲロウ類	926	1	228	2
コガタシマトビケラ	825	3	239	1
ユスリカ類(白・緑)	911	2	138	3

※「ランク」は指標生物種の中で多い順に並べた場合の順位を示す。

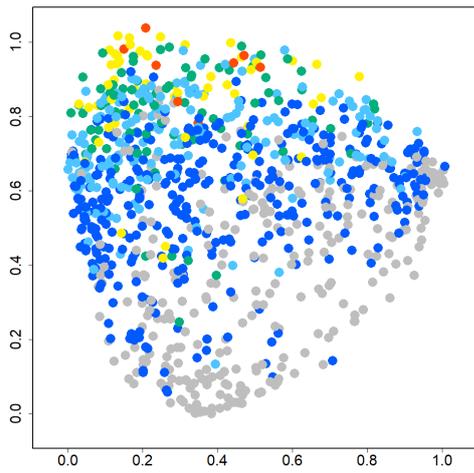


図 4-1 ヒラタカゲロウ類出現率

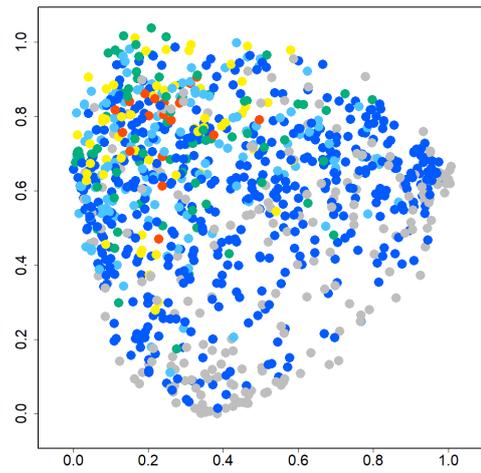


図 4-2 タニガワカゲロウ類出現率

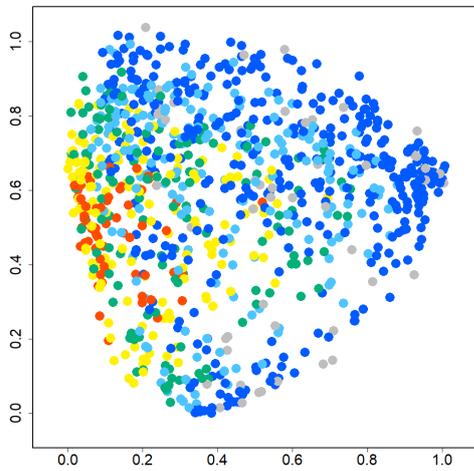


図 4-3 コカゲロウ類出現率

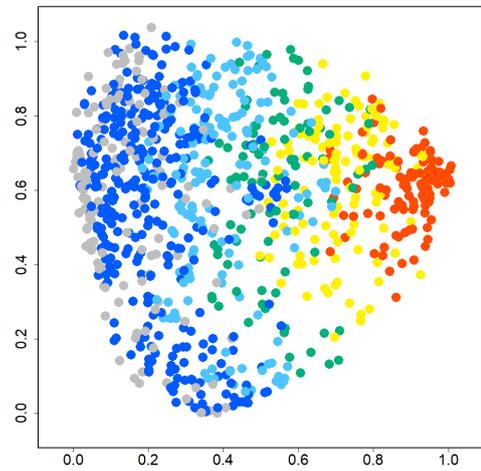


図 4-4 コガタシマトビケラ出現率

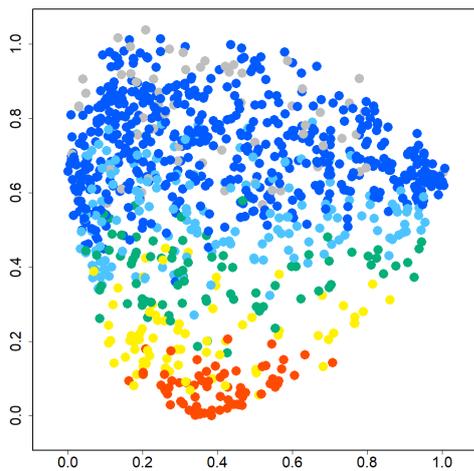


図 4-5 ユスリカ類（白・緑）出現率

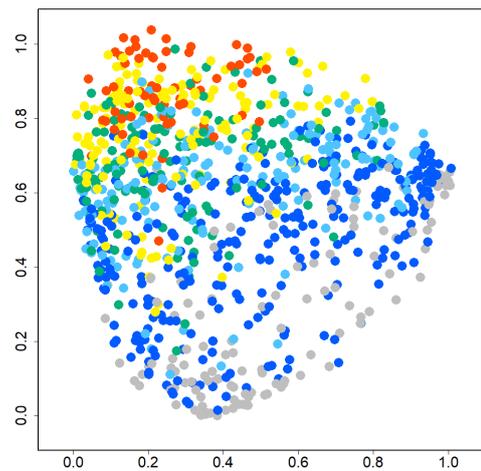


図 4-6 ヒラタカゲロウ類等出現率

出現率

● 0 % ● 0~10 % ● 10~20 % ● 20~30 % ● 30~50 % ● 50%~

※ 図 4-1~4-6 共通

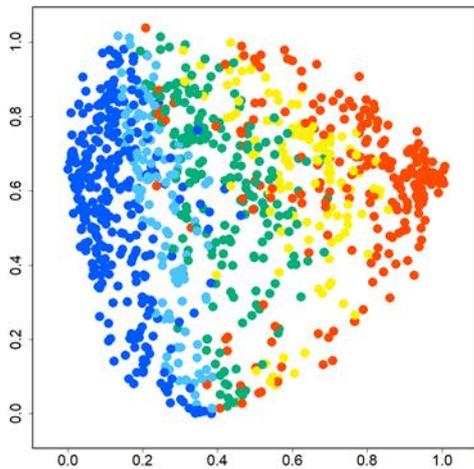


図 4-7 コガタシマトビケラ/
コカゲロウ類 出現比

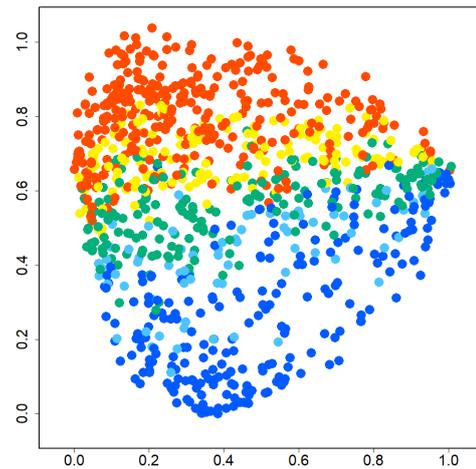


図 4-8 ヒラタカゲロウ類/
ユスリカ類 出現比

出現比 (コガタシマトビケラ/コカゲロウ類 又は ヒラタカゲロウ類等/ユスリカ類)

● ~0.2 ● 0.2~0.5 ● 0.5~2.0 ● 2.0~5.0 ● 5.0~

4 地点別散布図

地点別にプロットを強調し、生物評価値により形を、調査年度により色を分けた散布図を作成した。

そのうち、特徴的な傾向を示した地点から No.3 助丸橋、No.13 妙見橋、No. 19 古屋敷、No. 29 広瀬橋の散布図を図 5-1~5-4 に示す。

(1) 助丸橋

助丸橋では、生物評価値Ⅲのプロットが多い範囲（図中右）から生物評価値Ⅰ及びⅡが多い範囲（図中左）への経年的な変化が確認される。このことは、この地点での水環境が改善している傾向にあることを示している。

実際、出現している指標生物種を確認すると、Ⅴに区分される生物種は 2003 年度を最後に近年出現していない。また、2003 年度以前はⅠに区分される生物種が出現することはまれであったが、2010 年度以降はほとんどの年度で区分Ⅰの生物種が複数出現する（data not shown）など、水環境は改善していると考えられる。

ただし、生物評価値はほとんどの年度でⅢとなっており、助丸橋における水環境の改善は生物評価値には表れていない。

(2) 妙見橋

妙見橋では、助丸橋と同様に生物評価値Ⅲのプロットが多い範囲から生物評価値Ⅰ及びⅡが多い範囲

への経年的な変化が確認され、生物評価値もⅢが多かったものがⅠが多くなっている。これは、水環境の改善が生物評価値に表れている例といえる。

(3) 古屋敷

古屋敷は球磨川の上流部で、そのプロットは生物評価値Ⅰが多い左上に集中している。

実際の生物評価値もすべての年度でⅠとなっており、良好な水環境を維持していることが分かる。

(4) 広瀬橋

広瀬橋では、おおむね散布図の中央から上に多くのプロットがあるものの、1993 年度のみ下側にプロットが外れている。

なお、指標生物の出現状況ではユスリカ類（白・緑）の出現割合が高くなっている。

近傍の観測地点（水俣及び田浦）における 1993 年度の降水量¹⁴⁾を確認すると、いずれにおいても 1990 年度から 2019 年度までの間（水生生物調査の期間）で最も降水量が多い。大雨等の場合、水生生物が減少することが知られており¹⁵⁾、この結果、生物相が一時的に大きく変化したと推察される。

ただし、1993 年度の生物評価値は、他の多くの年度と同様にⅢとなっており、この生物相の変化は生物評価値には表れていない。

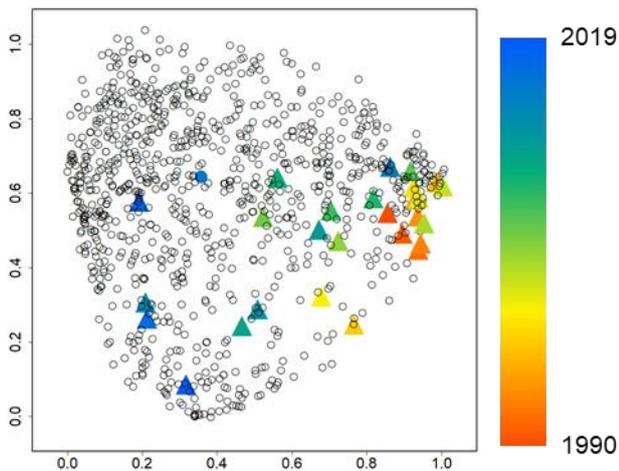


図 5-1 助丸橋

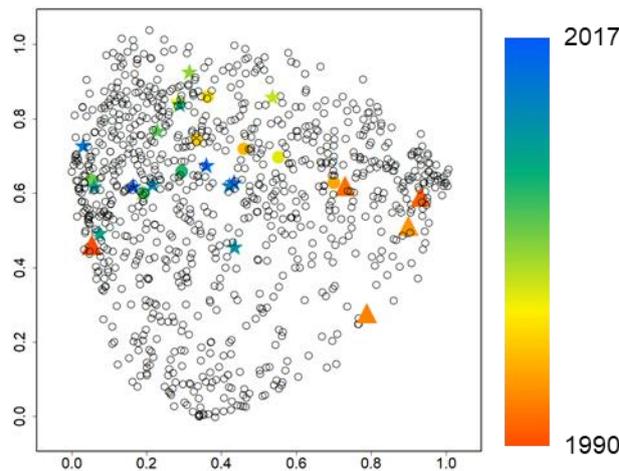


図 5-2 妙見橋

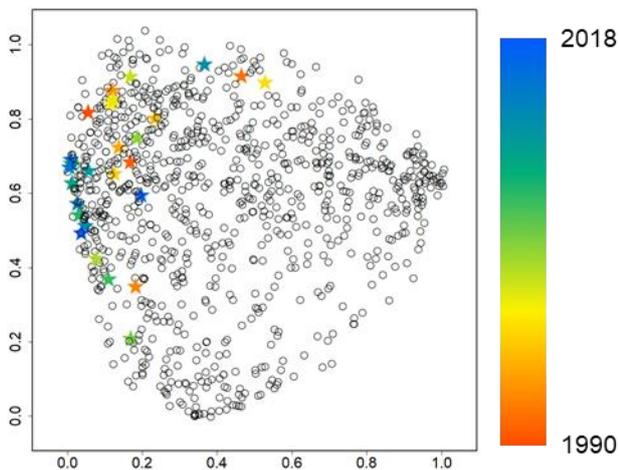


図 5-3 古屋敷

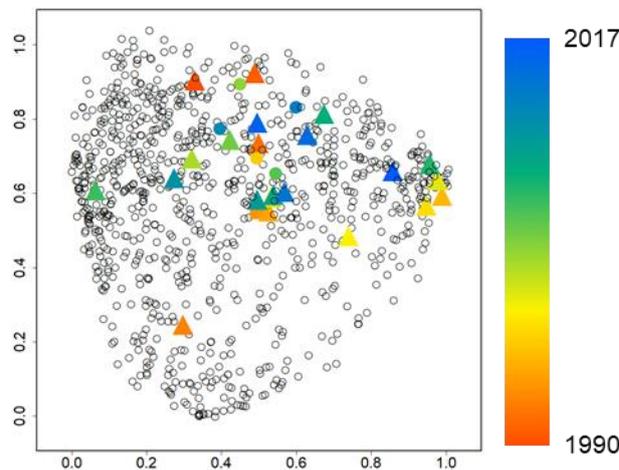


図 5-4 広瀬橋

生物評価値

I : ★ II : ● III : ▲ IV : ■ V : ▼

※ 図 5-1~5-4 共通

まとめ

1990 年度から 2019 年度までの水生生物調査結果を群集類似度 (Horn Index) を用いて解析した結果, 作成した散布図は生物評価値を一定程度表しており, 水質 (BOD) とも関係があると考えられた。

また, 散布図はヒラタカゲロウ類等, コカゲロウ類, コガタシマトビケラ, ユスリカ類 (白・緑) の出現率によって特徴づけられることが分かった。

一方で, 地点別の散布図の解析結果から, 現行の生物評価値の算出方法では, 同一地点における長期的又は一時的な生物相の変化を表し切れていない課題があることが明らかとなった。

文献

- 1) 熊本県環境保全課 HP: みんなの川の環境調査報告書 http://www.pref.kumamoto.jp/kiji_583.html (2020 年 6 月閲覧)
- 2) 谷口智則: 熊本県保健環境科学研究所報, 44, 108 (2014).
- 3) 熊本県環境保全課 HP: みんなの川の環境調査「川の環境調査のてびき」を掲載しています https://www.pref.kumamoto.jp/kiji_584.html (2020 年 6 月閲覧)
- 4) 小田泰史, 杉村継治, 久保 清: 用水と廃水, 34, 112 (1992).

- 5) 川合禎次編：“日本産水生昆虫検索図説”，(1985)，
(東海大学出版会)。
- 6) 谷田一三編，丸山博紀，高井幹夫著：“原色川虫図鑑”，(2000)，(全国農村教育協会)。
- 7) 刈田 敏著：“水生昆虫ファイルⅠ”，(2002)，(株式会社つり人社)。
- 8) 刈田 敏著：“水生昆虫ファイルⅡ”，(2002)，(株式会社つり人社)。
- 9) 刈田 敏著：“水生昆虫ファイルⅢ”，(2002)，(株式会社つり人社)。
- 10) 椎野季雄著：“水産無脊椎動物学”，(1969)，(培風館)。
- 11) The Comprehensive R Archive Network
<https://cran.r-project.org/> (2020年6月閲覧)
- 12) H.S.Horn: *The American Naturalist*, 914, 419 (1966)。
- 13) 環境庁水質保全局水質規制課長：環水規第80-3号，
(1999)。
- 14) 気象庁HP：過去の気象データ検索
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index> (2020年6月閲覧)
- 15) 前田敏孝，渡邊和博：熊本県保健環境科学研究所報，46，44 (2016)。