

短報 (Short Report)

序列化手法を用いた水源河川における底生動物の群集解析

飯田信行
(環境情報部)

The analysis of communities of benthic animals in water source rivers using the ordination method

Nobuyuki IIDA
(Environmental Information Division)

キーワード：冗長性分析，底生動物，水源河川，相模川，酒匂川

1 はじめに

神奈川県では、2007年から「かながわ水源環境保全・再生実行5か年計画」を策定し、水源環境を保全し再生するための事業を総合的に進めており、事業の効果と影響を把握するため、水環境モニタリングを実施している¹⁾。水環境モニタリングのうち、「河川のモニタリング調査」では、相模川と酒匂川の各40地点を対象に、底生動物や魚類等の生息状況調査(頻度は年2回)、河床調査(同年1回)及びBOD、窒素、りん等の水質調査(同月1回)を5年に1回のペースで実施している。これまでに相模川では2008年(1期)と2013年(2期)、酒匂川では2009年(1期)と2014年(2期)に調査を実施した。

水源環境保全・再生のための各種の取組の中で、森林生態系の健全化を目指して実施する森林対策では、下層植生の回復や落葉の堆積の増加など森林土壌の保全を促し、土壌流出の減少や河床の土砂堆積量の減少の効果が期待される。

そこで、本報では、生物群集の種組成の変化と環境要因との関連性の解析に多用される序列化手法^{2,3)}を上記の調査結果に適用し、河床の砂の堆積状況の変化に追従して生息状況が変化する底生動物群集について検討を行った。

2 方法

2.1 解析方法

解析には、冗長性分析を使用した。この手法は、特定の環境要因を外的基準として多変量解析により座標付けを行う直接傾度分析の一つである。生物群集の組成変化の軸を見つけ、その組成変化に関連する要因を推定する点は主成分分析と類似するが、環境要因をはじめから変数

に含める点に特徴がある。環境変化と特定種の個体数変化の関係を説明できることから、指標種の選定にも利用されており⁴⁾、本報でもこの方法を用いて解析を行った。

2.2 使用したデータ

使用したデータは、河川のモニタリング調査結果のうち底生動物及び河床の調査データとした。調査データの概要を表1に示した。調査地点は、図1-1及び図1-2に黒及び白抜きのプロットでその位置を示した。

底生動物調査は、国土交通省の河川水辺の国勢調査マニュアル⁵⁾に準拠し、定性及び定量採集を行い、調査年度ごとに定量採集の2季分(夏、冬)の個体数合計値の対数値を求めた。

砂・礫径は、線格子法⁶⁾により砂や礫の長径を測定して表1の長径区分の6段階に分類し、調査地点ごとにその構成比を求めた。調査地点1地点当たりの砂・礫径測定数は地点により異なるが、平均で150個程度であった。

表1 使用した調査データの概要

項目	内容
調査年度	相模川;2008,2013,酒匂川;2009,2014
調査地点数	各河川40地点
調査時期	底生動物;7,12月,河床底質;1月
底生動物の出現種類数*	相模川;475(2008),454(2013) 酒匂川;467(2009),451(2014)
河床調査項目	砂・礫径,はまり石割合,川幅,河川勾配,瀬割合
長径区分(単位:mm)	巨礫(>256),大礫(≥128),小礫(≥64), 大砂利(≥16),小砂利(≥2),砂(<2)

* 科又は属までしか同定できなかったものも含む。

2.3 解析手順

はじめに、外的基準として設定する河床の砂

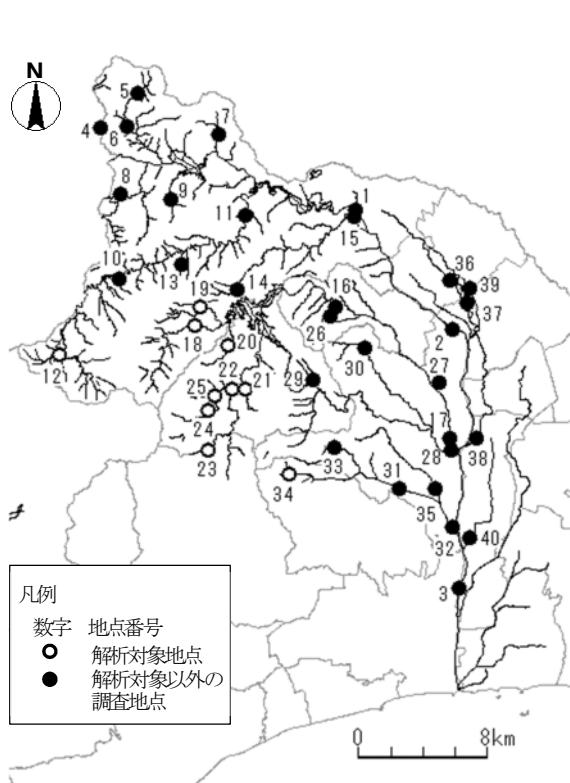


図 1-1 相模川調査地点

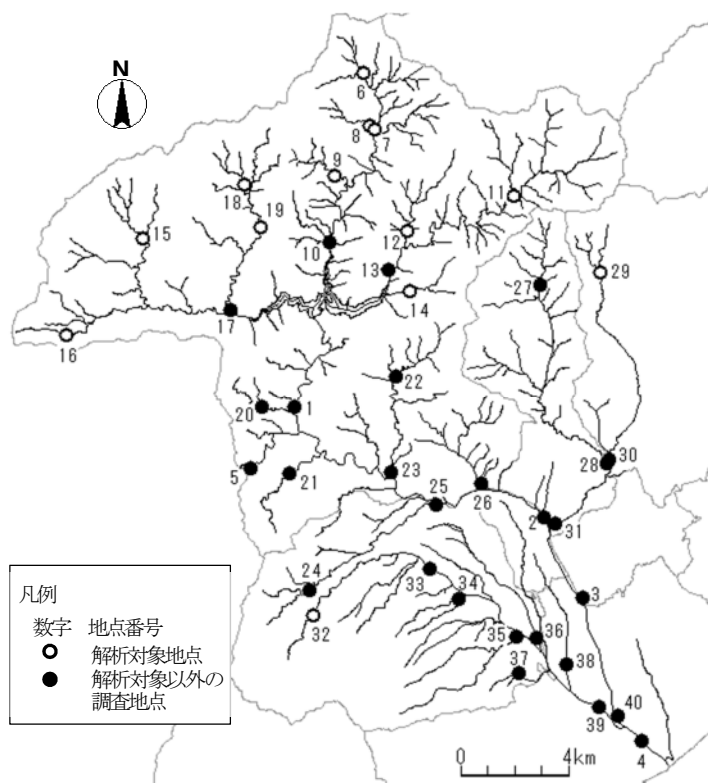


図 1-2 酒匂川調査地点

や礫以外の環境要因による底生動物個体数への影響を除外するため、主成分分析により解析対象地点を選定した。両河川の調査地点から、山間地にあり水質の汚濁が少ない相模川 22 地点及び酒匂川 20 地点を選び、これらを対象に地点標高、水温、開空率（冬）、平均川幅、流域面積、河川勾配、平均礫径、建物用地比率、BOD、T-N 及び T-P の 11 項目を変数として主成分分析を行った。この主成分分析には直近のデータとして 2009 年の酒匂川及び 2013 年の相模川の調査結果を使用した。変数とした 11 項目は相模川及び酒匂川の 1 期と 2 期のデータに大きな差がなかったため、この分析結果を有効とみなした。主成分分析の結果、両河川ともに第 1 主成分の主成分負荷量が正であった変数は、地点標高、平均粒径、河川勾配であり、他の主成分負荷量は相模川の平均川幅を除きすべて負であった。これらのことから、第 1 主成分は河川の上流下流を特徴づける軸であると判定

した。第 1 主成分が正であり、地点標高、平均粒径及び河川勾配が類似する地点として相模川 10 地点及び酒匂川 13 地点を解析対象地点に選定した。解析対象地点は、図 1-1 及び図 1-2 に白抜きプロットで示した。

解析対象とした底生動物は、環境要因と個体数との関係が把握しやすいと考えられるカゲロウ Ephemeroptera、カワゲラ Plecoptera 及びトビケラ Trichoptera の 3 目とした。この 3 目の定量採集の成果から、2 季分の個体数合計値の対数値の解析対象地点総計が 1 期及び 2 期の調査ともに 6 以上の底生動物を選んで解析対象とし、冗長性分析に供した。解析対象とした底生動物は、表 2 に○印を付して表示した。環境要因には、本報で着目する河床環境である砂のほか、対極的な環境として巨礫及び大礫も含めて解析した。計算には、統計分析フリーソフトウェア「R」を使用した。結果は、パイプロット法で表示した。

表 2 解析対象とした底生動物

科名	種名	相模川	酒匂川
ヒメフタオカゲロウ	ヒメフタオカゲロウ属	○	○
コカゲロウ	ヨシノコカゲロウ	○	○
〃	フタバコカゲロウ	○	○
〃	シロハラコカゲロウ	○	○
〃	Fコカゲロウ	○	○
〃	コバネヒゲトガリコカゲロウ	○	○
ヒラタカゲロウ	ミヤマタニガワカゲロウ属	○	○

表2 解析対象とした底生動物 (続き)

科名	種名		相模川	酒匂川
ヒラタカゲロウ	タニガワカゲロウ属	<i>Ecdyonurus</i> sp.	○	○
〃	ウエノヒラタカゲロウ	<i>Epeorus curvatulus</i>	○	○
〃	ナミヒラタカゲロウ	<i>Epeorus ikanonis</i>	○	○
〃	エルモンヒラタカゲロウ	<i>Epeorus latifolium</i>	○	○
〃	ユミモンヒラタカゲロウ	<i>Epeorus nipponicus</i>	○	○
〃	ヒラタカゲロウ属	<i>Epeorus</i> sp.	○	○
〃	ヒメヒラタカゲロウ属	<i>Rhithrogena</i> sp.	○	○
トビイロカゲロウ	トビイロカゲロウ属	<i>Paraleptophlebia</i> sp.	○	○
モンカゲロウ	フタスジモンカゲロウ	<i>Ephemera japonica</i>	○	○
マダラカゲロウ	オオクママダラカゲロウ	<i>Cincticostella elongatula</i>	○	○
〃	トウヨウマダラカゲロウ属	<i>Cincticostella</i> sp.	○	○
〃	オオマダラカゲロウ	<i>Drunella basalis</i>	○	○
〃	ヨシノマダラカゲロウ	<i>Drunella ishiyamana</i>	○	○
〃	トゲマダラカゲロウ属	<i>Drunella</i> sp.	○	○
〃	マダラカゲロウ属 ^{※1}	<i>Ephemerella</i> sp.	○	○
クロカワゲラ	クロカワゲラ科	Capniidae	○	○
ホソカワゲラ	ホソカワゲラ科	Leuctridae	○	○
オナシカワゲラ	フサオナシカワゲラ属	<i>Amphinemura</i> sp.	○	○
〃	オナシカワゲラ属	<i>Nemoura</i> sp.	○	○
〃	ユビオナシカワゲラ属	<i>Protonemura</i> sp.	○	○
シタカワゲラ	シタカワゲラ科 ^{※2}	Taeniopterygidae	○	○
ミドリカワゲラ	セスジミドリカワゲラ属	<i>Sweltsa</i> sp.	○	○
〃	ミドリカワゲラ科	Chloroperlidae	○	○
カワゲラ	モンカワゲラ	<i>Calineuria stigmatica</i>	○	○
〃	モンカワゲラ属 ^{※3}	<i>Calineuria</i> sp.	○	○
〃	コナガカワゲラ属	<i>Gibosia</i> sp.	○	○
〃	クロヒゲカワゲラ	<i>Kamimuria quadrata</i>	○	○
〃	クラカケカワゲラ属	<i>Paragnetina</i> sp.	○	○
〃	カワゲラ科 ^{※4}	Perlidae	○	○
アミメカワゲラ	ヒロバネアミメカワゲラ	<i>Pseudomegarcys japonica</i>	○	○
〃	ヒメカワゲラ属	<i>Stavsolus</i> sp.	○	○
〃	コウノアミメカワゲラ属	<i>Tadamus</i> sp.	○	○
〃	アミメカワゲラ科 ^{※5}	Perlodidae	○	○
シマトビケラ	シロズシマトビケラ	<i>Hydropsyche albicephala</i>	○	○
〃	ウルマーシマトビケラ	<i>Hydropsyche orientalis</i>	○	○
〃	シマトビケラ属 ^{※6}	<i>Hydropsyche</i> sp.	○	○
カワトビケラ	タニガワトビケラ属	<i>Dolophilodes</i> sp.	○	○
ヒゲナガカワトビケラ	ヒゲナガカワトビケラ	<i>Stenopsyche marmorata</i>	○	○
ヤマトビケラ	ヤマトビケラ属 ^{※7}	<i>Glossosoma</i> sp.	○	○
カワリナガレトビケラ	ツメナガレトビケラ	<i>Apsilochorema sutshanum</i>	○	○
ナガレトビケラ	クレメンズナガレトビケラ	<i>Rhyacophila clemens</i>	○	○
〃	レゼイナガレトビケラ	<i>Rhyacophila lezei</i>	○	○
〃	トランスクイラナガレトビケラ	<i>Rhyacophila tranquilla</i>	○	○
〃	ナガレトビケラ属(ニグロケファラ G)	<i>Rhyacophila</i> sp. (<i>Nigrocephala</i> group)	○	○
〃	ナガレトビケラ属 ^{※8}	<i>Rhyacophila</i> sp.	○	○
カクツツトビケラ	カクツツトビケラ属 ^{※9}	<i>Lepidostoma</i> sp.	○	○
クワツツトビケラ	クワツツトビケラ	<i>Uenoa tokunagai</i>	○	○

標準和名及び学名は、国土交通省⁷⁾に従った。

※1 ホソバマダラカゲロウ *Ephemerella atagosana*, イマニシマダラカゲロウ *Ephemerella imanishii*, クシゲマダラカゲロウ *Ephemerella setigera* を除く。

※2 ユキシタカワゲラ属 *Mesysysia* sp., オビシタカワゲラ属 *Obipteryx* sp. を除く。

※3 モンカワゲラを除く。

※4 モンカワゲラ属, エダオカワゲラ属 *Caroperla* sp., コナガカワゲラ属, カミムラカワゲラ属 *Kamimuria* sp., フタツメカワゲラ属 *Neoperla* sp., ヤマトカワゲラ属 *Niponiella* sp., オオヤマカワゲラ属 *Oyamia* sp., クラカケカワゲラ属を除く。

※5 ヒロバネアミメカワゲラ属 *Pseudomegarcys* sp., ニッコウアミメカワゲラ属 *Sopkalia* sp., ヒメカワゲラ属, コウノアミメカワゲラ属を除く。

※6 イカリシマトビケラ *Hydropsyche ancorapunctata*, シロズシマトビケラ, ギフシマトビケラ *Hydropsyche gifuana*, ウルマーシマトビケラ, セリーシマトビケラ *Hydropsyche selysi*, ナカハラシマトビケラ *Hydropsyche setensis* を除く。

※7 イノブスヤマトビケラを除く。

※8 オオナガレトビケラ *Himalopsyche japonica*, ヒロアタマナガレトビケラ *Rhyacophila brevicephala*, クレメンズナガレトビケラ, タシタナガレトビケラ *Rhyacophila impar*, イトウナガレトビケラ *Rhyacophila itoi*, カワムラナガレトビケラ *Rhyacophila kawamurae*, キソナガレトビケラ *Rhyacophila kisoensis*, クワヤマナガレトビケラ *Rhyacophila kuwayamai*, レゼイナガレトビケラ, ナカガワナガレトビケラ *Rhyacophila nakagawai*, シコツナガレトビケラ *Rhyacophila shikotsuensis*, トランスクイラナガレトビケラ, ヤマナカナガレトビケラ *Rhyacophila yamanakensis*, RC ナガレトビケラ *Rhyacophila* sp. RC, ナガレトビケラ属(アナティナグループ) *Rhyacophila* sp. (*Anatina* group), ナガレトビケラ属(ニグロケファラグループ)を除く。

※9 フトヒゲカクツツトビケラ *Lepidostoma complicatum*, オオカクツツトビケラ *Lepidostoma crassicorne*, サトウカクツツトビケラ *Lepidostoma satoi* を除く。

3 結果及び考察

冗長性分析結果を図2-1及び図2-2に示した。図は、第1及び第2主成分による2次元平面の主成分得点のプロットに、原点を始点とするベクトルとして表示した環境要因を重ねて表示したものである。底生動物のプロットから外的基準ベクトルの矢印におろした垂線との交点がこの環境要因に対する底生動物の最適値に相当する。すなわち、その交点の位置が環境要因のベクトルの先端方向にある底生動物ほどその環境要因の量が多いところで最適値を持つ底生動物と判定できる。逆に、環境要因のベクトルから逆向きの延長線上に底生動物のプロットからおろした垂線との交点が原点から遠いほど、その環境要因の量とは逆相関の関係で最適値を有する底生動物と判定できる。

環境要因である砂堆積割合のベクトルと底生動物の主成分得点の位置関係が1期と2期の調査ともに同じである底生動物は、両河川合わせて7種類であった。バイプロット図は、この7種類のみを表示した。砂ベクトルと底生動物の主成分得点プロットの位置関係から、相模川についてはオオマダラカゲロウとヒゲナガカワトビケラの個体数は砂堆積割合と正の相関、クロカワゲラ科、フサオナシカワゲラ属では負の相関が見られた。同様に酒匂川については、フタスジモンカゲロウとオナシカワゲラ属は

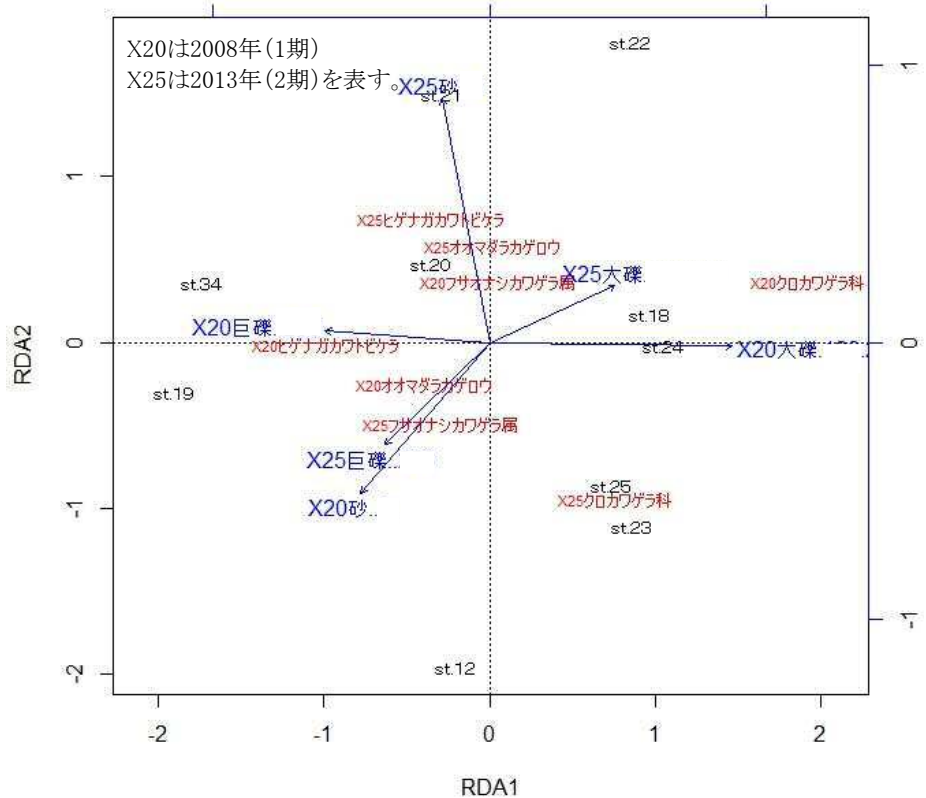


図2-1 冗長性分析結果（相模川）

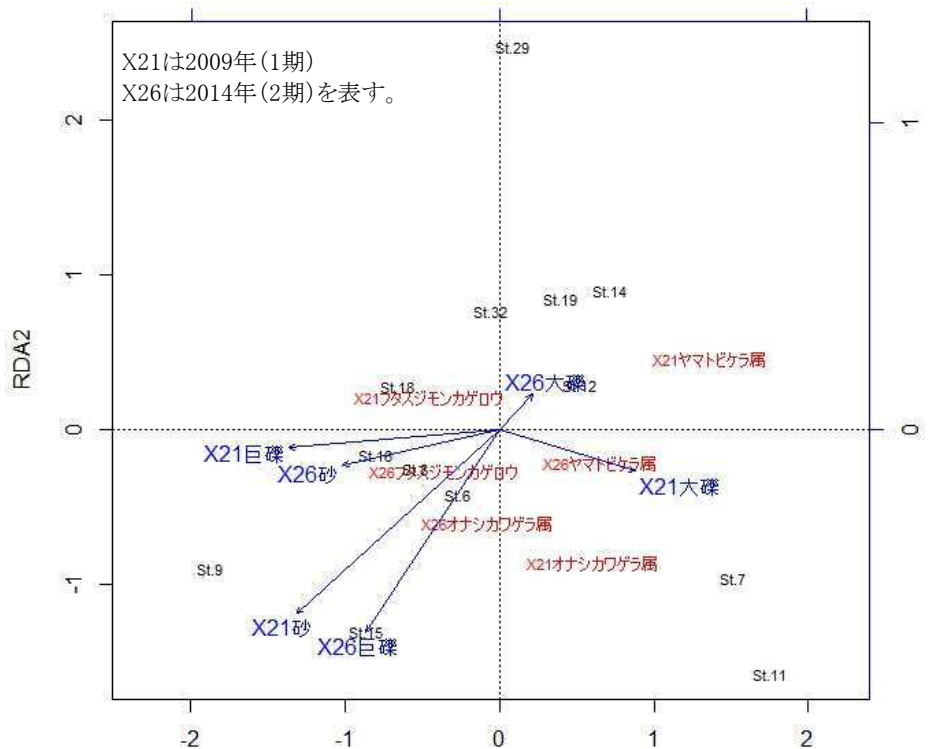


図2-2 冗長性分析結果（酒匂川）

砂堆積割合と正の相関、ヤマトビケラ属は負の相関が見られた。冗長性分析結果から砂堆積割合に追従

表3 砂堆積割合と個体数の相関関係

底生動物	オオマダラカゲロウ	ヒゲナガカワトビケラ	クロカワゲラ科	フサオナシカワゲラ属	フタスジモンカゲロウ	ヤマトビケラ属	オナシカワゲラ属
対象河川	相模川	相模川	相模川	相模川	酒匂川	酒匂川	酒匂川
相関係数	0.78	0.64	-0.42	-0.074	0.29	-0.44	-0.15
無相関検定値	5.2×10^{-5}	2.3×10^{-3}	0.063	0.76	0.15	0.021	0.46
p値							
応答※	+	+				-	

※ 砂堆積割合が増の時の個体数変化の方向を表す。

して個体数が増減する応答を示した相模川4種類、酒匂川3種類の底生動物の個体数対数値と砂堆積割合の単相関係数を表3に示した。単相関係数は有意水準0.05で無相関検定を行い、そのp値を合わせて表示した。有意な相関が認められたのは、相模川ではオオマダラカゲロウとヒゲナガカワトビケラ、酒匂川ではヤマトビケラ属であった。

7) 国土交通省：河川水辺の国勢調査のための生物リスト 平成28年度生物リスト(2016)
<http://mizukoku.nilim.go.jp/ksnkankyo/mizukokuweb/system/seibutsuListfile.htm> (参照; 2017.10)

4 まとめ

2008年と2013年に相模川、2009年と2014年に酒匂川でそれぞれ実施した河川モニタリング調査で得られた底生動物データを序列化手法を用いて解析し、河床材料の変化と底生動物の相関を検討した結果、相模川ではオオマダラカゲロウとヒゲナガカワトビケラ、酒匂川ではヤマトビケラ属に河川の砂の堆積状況と相関が認められた。

参考文献

- 1) 神奈川県：第3期かながわ水源環境保全・再生実行5か年計画, 6-35, 神奈川県環境農政局緑政部水源環境保全課 (2016)
- 2) 加藤和弘：生物群集のための序列化手法の比較研究, 環境科学会誌, 8(4), 339-352 (1995)
- 3) 長谷川元洋：土壌動物群集の研究における座標付け手法の活用, Edaphologia, 80, 35-64 (2006)
- 4) 仲宗根一哉, 大城哲, 金城孝一, 玉城不二美, 渡口輝, 大城洋平, 井上豪, 天願博紀：礁池内生物群集の環境傾度分析, 沖縄県衛生環境研究所報, 43, 73-78 (2009)
- 5) 国土交通省：平成18年度版 河川水辺の国勢調査基本調査マニュアル [河川版] (底生動物調査編), III 1-III 85, 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課 (2006)
- 6) 清水 宏：線格子法による河床礫の分布特性の解析, 新砂防, 122, 27-35 (1982)