

Ecoregion の概念に基づく底生動物相及び 物理環境による河口域の類型化

巖島 怜¹・吉川 寛朗²・島谷 幸宏³

¹正会員 九州大学助教 持続可能な社会のための決断科学センター (〒819-0395 福岡市西区元岡 744)

E-mail: itsukushima@civil.kyushu-u.ac.jp

²学生会員 九州大学大学院 工学府都市環境システム工学専攻 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744)

E-mail: yoshikawa.h.river@gmail.com

³フェロー会員 九州大学大学院教授 工学研究院環境都市部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744)

E-mail: shimatani@civil.kyushu-u.ac.jp

河口域の保全, 修復のためには, 対象とする場の潜在的な生物相やハビタットを把握する必要がある. 本研究は, 河口域保全のための基礎的な情報として, 全国一級河川の河口域を対象に, 底生動物の生物地理に基づく Ecoregion を設定し, 同一 Ecoregion 内で物理指標による河口域の類型化を行った. 底生動物相の類似度から日本の河口域は, 日本海, 太平洋, 西南海の 3 つの Ecoregion に区分された. また, 各 Ecoregion の指標種と関係の強い物理環境要因として, 波浪, 潮汐, 河川のエネルギーを代表する指標が選択された. これらの指標を用い日本の河口域を 9 つの河口タイプに分類した. 同一分類に属する河口域は潜在的な生物相とハビタットが相同とみなせるため, 分類結果は河川生態系保全の基礎単位となりうる.

Key Words: estuary classification, ecoregion, benthic fauna, river enegy, tide energy, wave energy

1. はじめに

河川河口域は波浪, 潮汐, 河川流量の外力により土砂や栄養塩負荷等の流入を受け, 時空間変動が大きい複雑な物理・化学的環境を有している¹⁾. また, こうした特異な物理環境に依存した種が生息するなど生物多様性の観点から重要な場である²⁾. 河口域保全のためには, 物理場の特徴と出現する生物種との関係を理解し, 適切な保全計画を策定することが重要である. 米国では, 地域毎に水質, 底質, 底生動物, 沿岸域のハビタットを指標として河口域の環境を評価し, 保全や再生目標の設定を行っている³⁾. 底生動物の評価指標として, 地域毎の潜在的な生物相の相違を考慮した指標が導入されている⁴⁾. 一方, 豪州では, 河口地形を形成する外力として波浪, 潮汐, 河川の 3 つを選定し, いずれが卓越しているかによって⁵⁾河口を 6 タイプに分類し, 生じ得るハビタットのパターンを提案している⁷⁾. また, 河口域のタイプと生物相の関係⁸⁾や再生目標となるリファレンス⁹⁾についても研究が進められ, 保全が進んでいる. 河口域の保全, 修復のためには, 物理環境や生物相の観点から類型化を行い計画を策定することが重要である.

日本では, 河口閉塞の防止をはじめとする河道管理の

観点から河口域の類型化に関する研究が行われてきた. 須賀¹⁰⁾は, 河川の条件 (スケール, 形成過程, 活性度) と海の条件 (波, 潮位, 海底勾配, 河口位置) から河口形状を 8 パターンに区分した. また, 山崎ら¹¹⁾は, 東北南部の 116 の中小河川を対象に湾内に流入する河川の河口位置と砂州堆積の関係を明らかにした. 近年では, 河川汽水域の環境管理を目的とし, 河口域の類型化に関する研究が行われている. 岸田ら¹²⁾は, 全国一級水系の物理特性と汽水域出現魚種の類型化を行い, 両者が塩分濃度特性の指標となり得ることを示した.

河口域の環境管理のためには, 複数の分類群を対象とした生物地理から当該河口域の潜在的な生態系を予測すること, 河川や海の諸条件を考慮し潜在的に生じるハビタットを予測することが重要である. そのためには, 河口域を対象とした, 潜在的な生物相が相同な地域である Ecoregion¹³⁾の設定や河川, 波浪, 潮汐等の外力と河口域に形成されるハビタットとの関係を明らかにすることが必要である. そこで, 本研究は, 河口域保全のための基礎的な情報として, 全国一級河川の河口域を対象に, 底生動物の生物地理に基づく Ecoregion を設定し, 各 Ecoregion の指標種と関係の強い物理環境要因を特定し, 物理指標による河口域の類型化を行うことを目的とする.

2. 方法

(1) 生物データ

本研究では、カニ類相及び貝類相を解析対象とした。これまで、汽水性魚類に着目し河口域の生息環境を評価した研究^{14, 15)}はみられるが、汽水性魚類は偶発的に河川に侵入する種も多く、当該地点のハビタットの状況を直接反映する生物として充分でない。一方、貝類やカニ類は、水質や底質などに影響されやすく、自力での移動能力が低い種や特殊な環境条件下でのみ出現する種も多く、その場所の環境の現状を直接反映しており¹⁶⁾、環境の良否を判断する適切な生物と考えられる。

生物データは国土交通省が実施した水辺の国勢調査(1993年～2012年)の対象種の有無データを用いた。各河川4～5回の調査が実施されているが、一度でも生息が確認された場合は、当該河川に生息するものとした。

(2) 対象河川

全国の一級河川の河口域を対象とする。ただし、汽水湖は有機物や栄養塩類等が蓄積するなど、流水環境とは環境特性が異なるため¹⁷⁾、汽水湖流入河川(斐伊川、高瀬川、岩木川及び網走川)を除外した。また、Ecoregionの設定に際しては、貝類の生息が確認された87河川及びカニ類の生息が確認された103河川を対象とした。

(3) 物理指標

本研究では、豪州で行われた河口分類^{5, 6)}を参考に波浪、潮汐、河川のエネルギー及び河床材料を物理環境要因とした。波浪のエネルギーを示す指標として開放度及びdirect fetch、潮汐の影響を示す指標として潮位差、河川のエネルギーを示す指標として、攪乱の規模を示す河状係数、平均年最大比流量、平均年最大流量時の河口部における摩擦速度を用いた。開放度は、Baardsetch指標を採用した¹⁸⁾。5万分の1地形図により、河川下流端から半径7.5km円内を中心角9°の扇形40個に分割し、その中の地形的障害物(対岸、島嶼等)のない扇形の個数を開放度の指標とした^{19, 20)}。Direct fetchは中心点から±22.5°の幅で各方位に放射線を伸ばし、各線上で対岸にぶつかるまでの距離を測り、これを全方位について合計した²⁰⁾。対岸までの距離は、波高飽和の考え方に従い、200kmを上限值とした²²⁾。潮位差は、2014年1月～12月における各月の最高潮位及び最低潮位の差を平均し算出した。潮位データは対象河川の河口に最も近い、海上保安庁又は気象庁が公表している潮汐推算の数値を使用した。平均年最大比流量は、各河川の流量観測年数が最も多い観測所を対象に、観測所の集水面積と流域面積の比から河口部における平均年最大比流量を算出した。また、同観測所における平均年最大流量と平均年最小流量の比

を河状係数とした。平均年最大流量時の摩擦速度は、各河川の最下流端において、以下の式により算出した。

$$u_* = g^{0.5} n^{0.3} Q^{0.3} I^{0.35} B^{-0.3}$$

g: 重力加速度(cm/s²)、n: 粗度係数、Q: 流量(cm³/s)、I: 河口部の河床勾配、B: 河口部の川幅(cm)

河床材料は、河川汽水域の河川環境の捉え方に関する検討会が示した全国河川の河床材料の分類²⁾を用い、粗度係数は泥・砂河川で0.015、砂利河川で0.023とした。河口部の河床勾配は国土交通省公表資料、河口部の川幅は2万5千分の1の地形図から求めた。

(4) 解析方法

a) 河口域のEcoregion区分

貝類及びカニ類のうち、各々10河川以上に出現した種を対象にTWINSPAN(2元指標種分析)²³⁾を行い生物相の類似度から河川を分類した。TWINSPANの計算には、PC-ORD ver 5.1(MjM Software Design)を使用した。次に、カニ類及び貝類相の分類結果を基に、河口域のEcoregionを設定し、各Ecoregionの指標種をIndVal(指標指数)²⁴⁾により求めた。IndVal値は種iのクラスターjにおける出現率を種iの各クラスターにおける出現率の合計で除した値をAij、種iのクラスターjにおける出現率をBijとしたとき、IndValij=Aij×Bij×100により求めた。

b) Ecoregion毎の河口域の類型化

地域毎に潜在的な生物相が異なることは、その生息基盤であるハビタットの種類や分布等の特徴も地域毎に異なると考えられる。従って、本研究ではEcoregion毎に指標種と関係が強い物理指標を抽出し、河口類型化を行う。そこで、各EcoregionのIndVal値上位20種を指標種として、正準対応分析(Canonical Correspondence Analysis: CCA、以下CCAと記述)によって指標種の生息状況と物理環境との関係性を調べた。また、Monte Carlo permutation testによって全てのCCA軸を対象に有意な効果(p<0.05)を持つ物理指標を選択した。次に、選択された物理指標を用い、各Ecoregionの物理環境を階層的クラスター分析のward法により、河口域の類型化を行った。これらの解析には統計解析ソフトRを使用した。

3. 結果及び考察

(1) 河口域のEcoregion区分

a) 生物相の分類結果とEcoregion

対象とした103河川のカニ類相のTWINSPAN結果を図-1に示す。103河川は、第一段階で北海道及び日本海流入河川を中心とするグループAとそれ以外の63河川に分類された。第二段階では、63河川が豊川以東の太平洋流入河川を中心とするグループBと西日本に位置する河川(日本海流入河川を除く)を中心とするグルー

プ C に分類された. 図-1 の分類結果に示された種は, TWINSpan の分類に寄与した種であり, その種と同符号が記されているグループは多くの河川でその種が確認され, 異符号が記されたグループはほとんどの河川でその種が確認されなかったことを示している. 第一段階の分類に寄与した種のうち, アシハラガニは青森県以南²⁵⁾及びハマガニは関東以南²⁶⁾に生息する種であり, 第二段階の分類に寄与した種のうち, ハクセンシオマネキは伊勢湾以南, ユビアカベンケイガニ, ハマガニ, オオヒライソガニは相模湾以南^{26), 27)}の生息種であることから, 各種の生物地理に基づき河川が分類される結果となった.

次に, 87 河川の貝類相の TWINSpan 結果を図-2 に示す. 87 河川は, 第一段階で北海道及び日本海流入河川を中心とするグループ A とそれ以外の 53 河川に分類された. 第二段階では, 53 河川が木曾川以東の太平洋流入河川を中心とするグループ B と瀬戸内海に流入する河川, 九州地方及び四国地方に属する河川を中心とするグループ C に分類された. 第一段階の分類に寄与した種の多くは, 全国に広く分布する種であり, グループ A ではそれらの種の出現頻度が低い. また, 第二段階の分

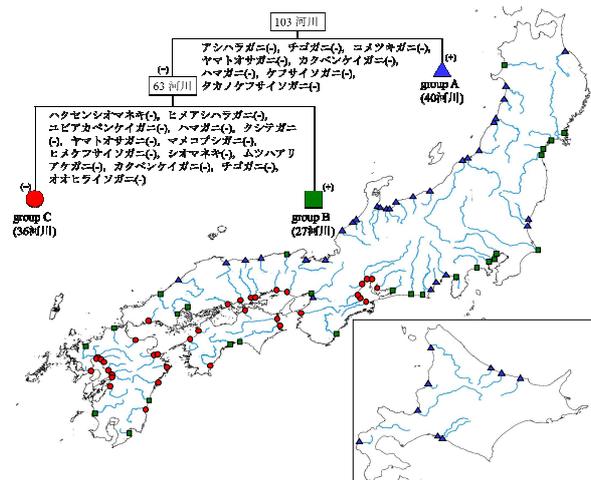


図-1 カニ類相を対象とした分類結果

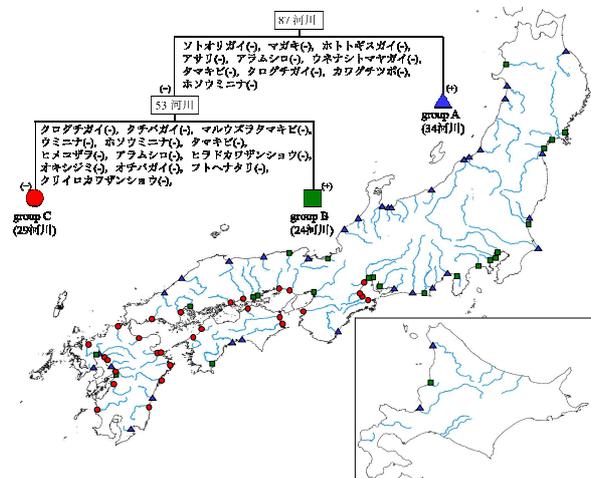


図-2 貝類相を対象とした分類結果

類に寄与した種のうち, オチバガイ及びクログチガイは東京湾以南, ヒラドカワザンショウは瀬戸内海以西, マルウズラタマキビは四国以南に分布する種^{28), 29)}であり, 各種の生物地理に基づき河川が分類されている.

貝類相及びカニ類相の分類結果を踏まえ, 北海道及び米代川から高津川までの日本海流入河川を日本海 Ecoregion (以下, 日本海と記載), 高瀬川から豊川までの太平洋・東京湾・相模湾流入河川を太平洋 Ecoregion (以下, 太平洋と記載), 矢作川以西の太平洋側河川を西南海 Ecoregion (以下, 西南海と記載) とし, 各 Ecoregion において, 河口域の類型化を行う.

b) IndVal 指標の算出結果

表-1 に各 Ecoregion の IndVal 値上位 20 種を示す. カニ類では日本海において確認種数が最も低く, 指標値も低い傾向にある. 日本海では, モクズガニの指標値が最も高く, 次いでクロベンケイガニ, アカテガニで高い値を示した. これらの種は, 国内に広く分布する種である^{29), 30)}. 太平洋では全国に広く分布するモクズガニやケフサイソガニ²⁸⁾に加え, 相模湾以南に生息するオオヒライソガニ²⁷⁾の指標値が高かった. 西南海は生息種数が最も多

表-1 各 Ecoregion における IndVal 値 (上位 20 種を着色表示)

標準和名	学名	IndVal指標			
		日本海 (36河川)	太平洋 (19河川)	西南海 (48河川)	
アカテガニ	<i>Chironomus haematocheir</i>	10 (14)	12 (8)	32 (33)	
アシハラガニ	<i>Helice tridens</i>	0 (3)	28 (13)	48 (43)	
アリアケモドキ	<i>Deiratonotus cristatus</i>	9 (14)	23 (12)	29 (34)	
イソガニ	<i>Hemigrapsus sanguineus</i>	2 (5)	15 (7)	16 (18)	
オオヒライソガニ	<i>Varuna literata</i>	0	38 (10)	6 (10)	
カクベンケイガニ	<i>Parasesarma pictum</i>	3 (7)	8 (6)	46 (37)	
クシテガニ	<i>Parasesarma plicatum</i>	0	0	42 (20)	
クロベンケイガニ	<i>Chironomus dehaani</i>	15 (22)	36 (18)	34 (44)	
ケフサイソガニ	<i>Hemigrapsus penicillatus</i>	7 (14)	35 (17)	42 (47)	
コメツキガニ	<i>Scopinera globosa</i>	0	18 (9)	46 (36)	
タカノケフサイソガニ	<i>Hemigrapsus takanoi</i>	1 (3)	20 (9)	28 (27)	
チゴガニ	<i>Ilyoplax pusilla</i>	0	15 (8)	52 (38)	
カニ類	ハクセンシオマネキ	<i>Uca lactea lactea</i>	0	0	56 (27)
	ハマガニ	<i>Chasmagnathus convexus</i>	0	3 (3)	50 (30)
	ヒメアシハラガニ	<i>Helicana japonica</i>	0	2 (2)	49 (28)
	フタハカクガニ	<i>Perisesarma bidens</i>	0	0	50 (24)
	ベンケイガニ	<i>Chironomus dehaani</i>	3 (6)	10 (6)	27 (25)
	マメコブシガニ	<i>Philyra pisum</i>	0 (1)	3 (3)	42 (27)
	ムツハリアケガニ	<i>Camptandrium sexdentatum</i>	0	0	27 (13)
	モクズガニ	<i>Eriocheir japonica</i>	34 (36)	34 (19)	32 (47)
	ヤマトオサガニ	<i>Macrophthalmus japonicus</i>	0	7 (5)	48 (32)
	ユビアカベンケイガニ	<i>Sesarma erythrodraculum</i>	0	0	46 (22)
	確認種数	16	24	34	
貝類	アサリ	<i>Venerupis philippinarum</i>	1 (3)	31 (12)	27 (30)
	イシマキガイ	<i>Cithon retropictus</i>	9 (8)	10 (7)	36 (35)
	イソシジミ	<i>Nuttallia olivacea</i>	0 (1)	33 (10)	12 (16)
	ウネナシトマヤガイ	<i>Trapezium liratum</i>	0 (1)	0 (1)	54 (30)
	ウミゴマツボ	<i>Stenothyra edogawensis</i>	3 (3)	0 (1)	30 (21)
	ウミニナ	<i>Batillaria multiformis</i>	0	0	55 (17)
	オオノガイ	<i>Mva arenaria</i>	0 (1)	15 (5)	7 (9)
	カワザンショウガイ	<i>Assiminea japonica</i>	7 (6)	14 (7)	15 (19)
	クチバガイ	<i>Coccella chinensis</i>	0	0	44 (21)
	クリイロカワザンショウ	<i>Angustassiminea castanea</i>	0	1 (1)	35 (19)
	クログチガイ	<i>Xenostrobus atratus</i>	0	0 (1)	53 (28)
	シズクガイ	<i>Theora fragilis</i>	3 (4)	26 (9)	9 (14)
	ソトオリガイ	<i>Laternula (Exolaternula) maritima</i>	0	17 (8)	45 (35)
	ハマグリ	<i>Meretrix lusoria</i>	2 (2)	1 (1)	18 (13)
	ヒメコザラガイ	<i>Patelloida pygmaea</i>	0	0	31 (15)
	ヒメシラトリガイ	<i>Macoma incongrua</i>	0 (1)	24 (7)	7 (10)
	ヒラドカワザンショウ	<i>Assiminea hiradoensis</i>	0	2 (2)	39 (23)
	ヒロクチカノコガイ	<i>Neripteron cornucopia</i>	0	1 (1)	41 (22)
	ホソウミニナ	<i>Batillaria attramentaria</i>	2 (2)	1 (1)	33 (21)
	ホトトギスガイ	<i>Musculista senhousia</i>	11 (10)	21 (11)	31 (30)
	マガキ	<i>Crasostrea gigas</i>	14 (12)	21 (12)	37 (42)
	マルウズラタマキビ	<i>Littoraria strigata</i>	0	0	48 (23)
	ミズゴマツボ	<i>Stenothyra japonica</i>	5 (4)	16 (6)	5 (9)
	ムシヤドリカワザンショウ	<i>Assiminea parasitologica</i>	0	9 (4)	18 (15)
	ヤマトシジミ	<i>Corbicula japonica</i>	29 (19)	31 (16)	25 (38)
	ヨシダカワザンショウ	<i>Angustassiminea yoshidayukioi</i>	2 (2)	8 (3)	3 (5)
	確認種数	23	36	47	

※ IndVal値と併記している()内の数字は出現河川数

い地域であり、コメツキガニ、ケフサイソガニ等の全国分布種に加え、ハクセンシオマネキ、ハマガニ、ヒメアシハラガニ等の西日本固有種^{25),26),28)}で高い値を示した。

貝類では、指標値が高い種は日本海と太平洋で類似しており、ヤマトシジミ、マガキ、ホトトギスガイの指標値が高かった。ただし、いずれの種も太平洋で指標値が高く、日本海と比較して出現率が高い。西南海では、他の2地域と異なり、マルウズラタマキビ、ヒラドカワザンショウ、クログチガイ等の西日本に生息する種の指標値が全国分布種と比較して高い傾向にあった。

(2) Ecoregion 毎の指標種と物理指標の関係

日本海、太平洋及び西南海の各 Ecoregion の指標種と環境要因を調べるため CCA を行った。結果をそれぞれ図-3～図-5に、第1軸～第3軸の概要を表-2に示す。

日本海では、第1軸で38%、第2軸で27%の合計65.0%の分散量が説明された。指標種のうち、クロベンケイガニ、ケフサイソガニ及びアカテガニは第1軸と第2軸の交点付近に位置し、解析対象とした物理指標の影響を受けにくい種であることがわかる。一方、ホソウミナナ、ヨシダカワザンショウ、シズクガイは、開放度と負の関係がある CCA 第1軸の値が大きな領域にプロットされたことから、波浪のエネルギーが小さな河川で頻繁に出現するものと解釈できる。これらの種は湾内環境や砂泥質生息種であることから、CCA の結果は、生息種と物理指標の関係を適切に示していると考えられる。

太平洋では、第1軸で70.6%、第2軸で26.2%の合計96.8%の分散量が説明された。指標種のうち、ヒメシラトリやソトオリガイは摩擦速度や開放度が小さい河川でみられ、コメツキガニ及びチゴガニは潮位差が大きい河川で出現する傾向がみられた。ヒメシラトリ及びソトオリガイは内湾泥底を好み、コメツキガニ及びチゴガニは干潟を主な生息場とすることから、解析結果は指標種の生息と環境要因の関係を適切に示していると考えられる。

西南海では、第1軸で50.4%、第2軸で9.3%の合計59.7%の分散量が説明された。クシテガニ及びヒメアシハラガニは潮位差が大きい河川でみられ、IndVal における典型性指標が高いヤマトオサガニやユビアカベンケイガニはいずれの環境要因とも強い関係はみられなかった。

(3) Ecoregion 毎の河口域の類型化

Monte Carlo permutation test の結果、日本海では開放度と摩擦速度、太平洋では開放度、潮位差及び摩擦速度、西南海では direct fetch、潮位差及び摩擦速度が指標種の生息に有効な指標として選択された(表-3)。日本海では他の Ecoregion と比較して潮位差が小さく、潮汐の差が

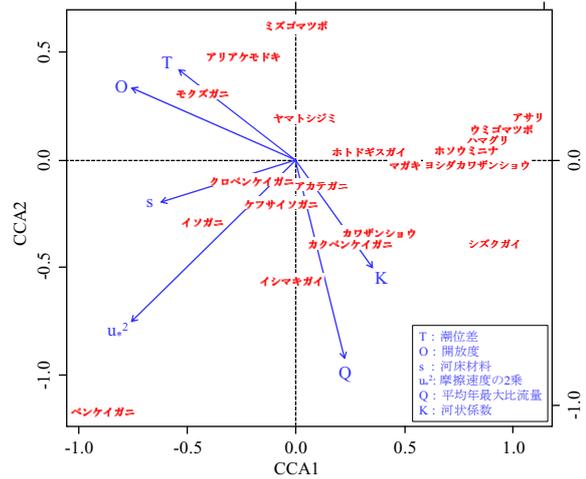


図-3 日本海における指標種と物理要因の CCA 結果

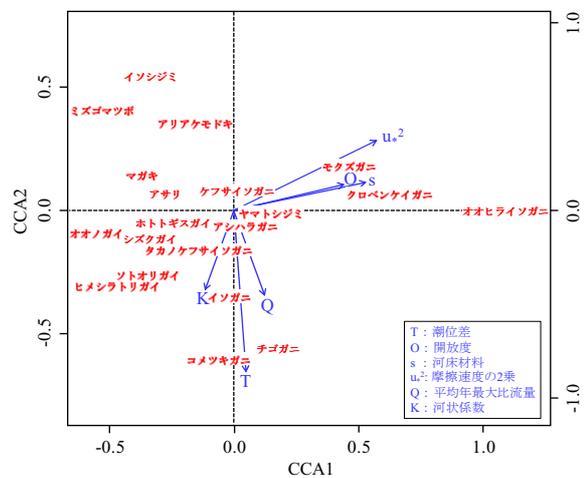


図-4 太平洋における指標種と物理要因の CCA 結果

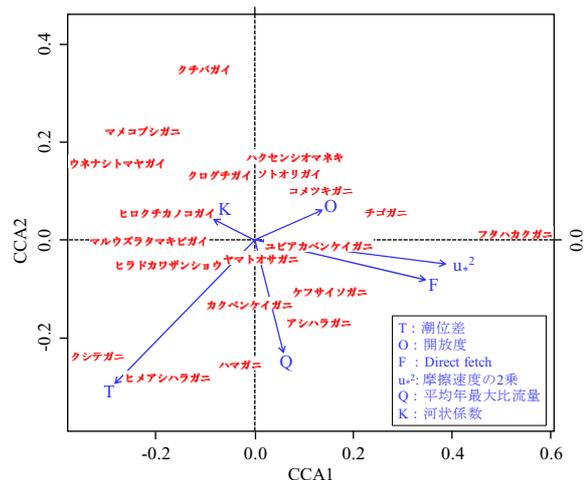


図-5 西南海における指標種と物理要因の CCA 結果

表-2 CCA 軸の統計値

Axes	日本海			太平洋			西南海		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Eigenvalues	0.091	0.064	0.006	0.217	0.081	0.008	0.261	0.048	0.013
% variance explained	38.0	27.0	2.7	70.6	26.2	2.6	50.4	9.3	2.5
Cumulative % explained	38.0	65.0	67.7	70.6	96.8	99.4	50.4	59.7	62.2
P-value	0.002	0.006	0.096	0.002	0.022	0.188	0.002	0.004	0.26

生息種を規定する要因となっていない。日本海を除き波浪、河川及び潮汐のエネルギーを示す指標が選択された。

これらの物理指標を用い、Ecoregion 毎に河口域をクラスター分析し、河口分類を決定した(図-6)。河口分類の定義は、各クラスターの物理指標値(表-4)から決定した。日本海では、摩擦速度が大きい姫川、手取川をはじめとする河川を河川卓越型、開放度が大きい天塩川、赤川等の河川を波浪卓越型と定義した。次に、太平洋は開放度、摩擦速度ともに高い数値を示した安倍川及び大井川を河川・波浪卓越型、摩擦速度が大きい鶴見川、富士川等を河川卓越型とした。上記に分類されなかった河川は、摩擦速度及び開放度が他の河川と比較して小さいものの、潮位差は平均的な値であることから、相対的に潮汐のエネルギーが大きいため、潮汐卓越型とした。西南海は、direct fetch 及び摩擦速度が大きい小丸川をはじめとする河川を河川・波浪卓越型、有明海流入河川を中心とする潮位差が大きい河川を潮汐卓越型とした。河川・波浪卓越型に次いで direct fetch が大きい山国川や大野川を含む河川は波浪卓越型、direct fetch が他のグループと比較して小さい伊勢湾流入河川を弱波浪型とした。

岸田らは、河川の平常時の環境形成要因によって日本の河口域を分類し、本研究における西南海に属する河川を、潮汐の大小で2分している¹²⁾。本研究では、西南海は4つのタイプに分類され、太平洋岸の河川は波浪卓越型として分類された。九州南部の貝類相は、潮汐差の小さい環境に生息するハザクラや波浪の影響が強い岩礁に生息するカノコガイに特徴付けられることが報告されており³⁰⁾、同一 Ecoregion 内で河口を類型化することで、これら波浪卓越型の河口域を抽出できたと考えられる。

次に、物理指標による類型化と生物相の分類結果について考察を行う。西南海では、小丸川、肝属川、物部川、仁淀川及び新宮川で貝類相とカニ類相による分類が所属する Ecoregion と異なる結果となった(図-1, 図-2)。これらは河川・波浪卓越型の河川であり、同一 Ecoregion の他河川とは異なる環境であることが想定される。また、淀川、大和川及び太田川も貝類相とカニ類相の分類結果と Ecoregion が一致していない。これらの河川は貝類やカニ類の生息種数が他の河川と比較して少なく(Ecoregion 内の平均 34.7種に対し、大和川 3種、太田川 19種、淀川 21種)、人為影響による環境劣化によって異なるグループに分類されたものと考えられる。

4. まとめ

本研究の結果、日本の河口域はカニ類相及び貝類相の類似度から、日本海、太平洋、西南海の3つの Ecoregion に区分された。更に、各 Ecoregion の指標種と関係が強い物理指標を用い、最終的に日本の河口域を9つのタイ

表-3 Monte Carlo permutation test の結果

	日本海	太平洋	西南海
開放度	0.014 *	0.002 **	0.168
direct fetch	-	-	0.030 *
潮位差	0.144	0.006 **	0.024 *
河状係数	0.718	0.622	0.932
平均年最大比流量	0.056	0.562	0.086
摩擦速度	0.006 **	0.002 **	0.034 *
河床材料	0.648	0.402	-

** 1%水準で有意 * 5%水準で有意 ・ 10%水準で有意

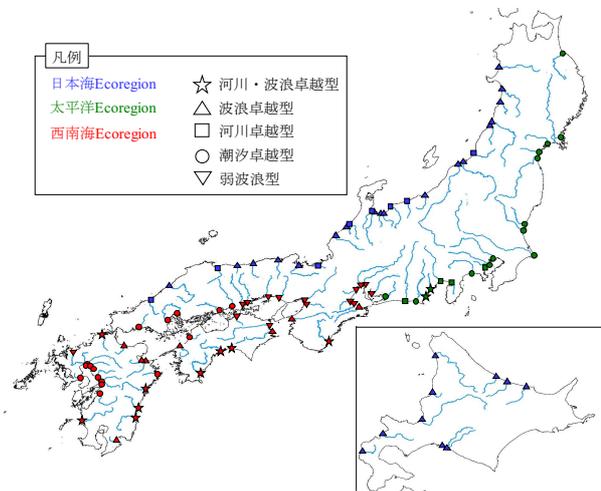


図-6 物理指標による Ecoregion 毎の河口域類型化の結果

表-4 河口タイプの物理指標

河口タイプ	日本海		太平洋			西南海		
	開放度	摩擦速度	開放度	潮位差	摩擦速度	direct fetch	潮位差	摩擦速度
河川・波浪卓越型	-	-	18.0 ± 1.4	168 ± 4.10	21.0 ± 1.9	1420 ± 555	204 ± 38.5	12.6 ± 4.7
波浪卓越型	14.2 ± 4.9	8.6 ± 2.1	-	-	-	448 ± 131	248 ± 67.7	10.0 ± 3.1
河川卓越型	13.1 ± 5.9	17.3 ± 4.1	11.0 ± 10.0	168 ± 32.9	13.1 ± 1.5	-	-	-
潮汐卓越型	-	-	8.9 ± 6.0	166 ± 32.0	7.5 ± 1.9	189 ± 82.8	447 ± 73.7	6.7 ± 2.8
弱波浪型	-	-	-	-	-	109 ± 75.3	216 ± 43.3	7.8 ± 3.0

プに分類した。同一の河口タイプに属する河口域は潜在的な生物相とハビタットは相同であることから、分類結果は生態学的健全度の比較の基礎単位となりうる。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 JP15K18144 及び公益財団法人河川財団の運用する河川基金の助成を受けた。

参考文献

- 1) McLusky, D. S.: The Estuary Ecosystem, Chapman and Hall, 2nd edition, 1989.
- 2) 楠田哲也, 山本晃一(監修), 河川環境管理財団(編): 河川汽水域, 技報堂出版, 2008.
- 3) Borja, A., Bricker, S. B., Dauer, D. M., Demetriades, N. T., Ferreira, J. G., Forbes, A. T., Hutchings, P., Jia, X., Kenchington, R., Marques, J. C. and Zhu, C.: Overview of integrative tools and methods in assessing ecological integrity in estuarine and coastal systems worldwide, Mar. Pollut. Bull., Vol 56, pp.1519-1537, 2008.
- 4) Diaz, R. J., Solan, M. and Valente, R. M.: A review of approaches for classifying benthic habitats and evaluating habitat quality, J. Environ. Manage., Vol 73, pp.165-181, 2004.
- 5) Dalrymple, R. W., Zaitlin, B. A. and Boyd, R.: Estuarine Facies Models: Conceptual Models and Stratigraphic Im-

- plications, *J. Sediment. Petrol.*, Vol. 62, 1130-1146, 1992.
- 6) Boyd, R., Dalrymple, R. W. and Zaitlin, B. A.: Classification of Clastic Coastal Depositional Environments, *Sediment, Geol.*, Vol.80, 139-150, 1992.
 - 7) Heap, A., Bryce, S., Ryan, D., Redke, L., Smith, R., Harris, P. and Heggie, D.: Australian Estuaries and Coastal Waterways: A Perspective for Improved and Integrated Resource Management. Australian Geological Survey Organization, Record 2001/07, 2001.
 - 8) Harrison, T. V. and Whitfield, A. K.: Estuarine Typology and the Structuring Of Fish Communities in South Africa, *Environ. Biol. Fishes.*, Vol.75, 269-293, 2006.
 - 9) Fairweather, P. G.: Determining the 'Health' of Estuaries: Priorities for Ecological Research, *Austral. Ecol.*, Vol. 24, 441-451, 1999.
 - 10) 須賀堯三：河口の分類と水理特性，水理講演会論文集，Vol. 32, pp.197-202, 1988.
 - 11) 山崎雅洋，長林久夫，木村喜代治，堺 茂樹，平山健一：東北地方における中小河川の河口変動特性，水工学論文集，Vol. 42, pp.1135-1140, 1998.
 - 12) 岸田弘之，天野邦彦，大沼克弘，遠藤希実：河川汽水域の環境管理技術確立のための全国一級水系の汽水域環境類型化，土木学会論文集 B1 (水工学)，Vol. 67, pp. I_1237-1278, 2011.
 - 13) Loucks, O.: A forest classification for the Maritime Provinces, *Proc. N. S. Inst. Sci.*, Vol. 259 (part 2): pp.85-167, 1962.
 - 14) Inui, R., Nishida, T., Onikura, N., Eguchi, K., Kawagishi, M., Nakatani, M. and Oikawa, S.: Physical Factors Influencing Immature-Fish Communities in the Surf Zones of Sandy Beaches in Northwestern Kyushu Island, Japan, *Estuar. Coast. Shelf. Sci.*, Vol. 86, pp.467-476, 2010.
 - 15) Koyama, A., Inui, R., Iyooka, H., Akamatsu, Y. and Onikura, N.: Habitat Suitability of Eight Threatened Gobies Inhabiting Tidal Flats in Temperate Estuaries: Model Developments in the Estuary of the Kuma River in Kyushu Island, Japan, *Ichthyol. Res.*, Vol. 63, pp.307-314, 2016.
 - 16) 佐藤正典：有明海の生物多様性保全のための四学会合同シンポジウム有明海の特異な生物相- 諫早湾の環境復元の意義-，日本ベントス学会誌，Vol.66, pp.102-116, 2012.
 - 17) 環境省：日本の汽水湖 ～汽水湖の水環境の現状と保全～，2014.
 - 18) Baardseth, E.: A Square Scanning, Two Stage Sampling Method of Estimating Sea Weed Quantities. *Norskinstitt for tang-ogtareforskning, Rapport*, Vol. 33: 1-41, 1970.
 - 19) Ruuskanen, A., Bäck, S. and Reitalu, T.: A Comparison of Two Cartographic Exposure Methods Using *Fucusvesiculosus* as an Indicator, *Mar. Biol.*, Vol. 134: pp.139-145, 1999.
 - 20) 大垣俊一：開放度地形の測定法，*Argonauta*, Vol. 16, pp.25-38, 2009.
 - 21) Keddy, P. A.: Quantifying a within-lake gradient of wave energy in Gillfillan Lake, Nova Scotia, *Can. J. Bot.* Vol. 62, pp.301-309, 1982.
 - 22) Burrows, M., Harvey, R. and Robb, L. Wave Exposure Indices from Digital Coastlines and the Prediction of Rocky Shore Community Structure, *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol.353, pp.1-12, 2008.
 - 23) Hill, M. O.: TWINSPAN, a FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Cornell university, 1979.
 - 24) Dufrière, M. and Legendre, P.: Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach, *Ecol. Monogr.* Vol. 67, pp.345-366, 1997.
 - 25) 鈴木孝男・木村昭一・木村妙子・森敬介・多留聖典：干潟ベントスフィールド図鑑，日本国際湿地連合，2013.
 - 26) 三宅貞祥：原色日本大型甲殻類図鑑（II），保育社，1983.
 - 27) 加藤直：オオヒライソガニ *Varuna litterata*(FABRICIUS)のメガラパの湖河について，甲殻類の研究，No.6, pp.25-30, 1974.
 - 28) 和田恵次・西平守孝・風呂田利夫・野島哲・山西良平・西川輝照・五島聖治・鈴木孝男・加藤真・島村賢正・福田宏：日本における干潟海岸とそこに生息する底生生物の現状，WWF Japan サイエンスレポート，Vol. 3, pp.1-181, 1996.
 - 29) 奥谷喬司：日本近海産貝類図鑑，東海大学出版会，2001.
 - 30) 峯水亮・奥野淳児・武田正倫：海の甲殻類，文一総合出版，2000.
 - 31) Itsukushima, R. and Shimatani, Y.: Relationship between Estuarine Shellfish Fauna And Physical Environmental Characteristics For Estuary Conservation In Kyushu, Japan. *Curr World Environ.*, Vol. 10, pp.715-728, 2015.

(2016.9.30 受付)

CLASSIFICATION OF RIVER ESTUARIES USING PHYSICAL ENVIRONMENT AND BENTHIC FAUNA BASED ON ECOREGION CONCEPT

Rei ITSUKUSHIMA, Hiroaki YOSHIKAWA and Yukihiko SHIMATANI

The establishment of a conservation strategy or restoration goal for river estuaries requires knowledge of potential biota or possible habitat characteristics. We classified the Japanese river estuaries using physical indicators related to river energy, tide energy and wave energy, based on ecoregion decided by similarity of benthos. Japanese estuaries were classified into three ecoregions (Japan Sea, the Pacific Ocean and west Nankai). Finally, we classified nine types of estuary in three ecoregions by river energy, tide energy and wave energy. This classification is basic unit for conservation, because the potential biota or possible habitat is homogeneous in the same classification.