

# 福岡工業大学 機関リポジトリ

## FITREPO

Title	河川横断構造物が魚類生息状況に与える影響の評価 ーインドネシアスマトラ島パダン市近郊のカンディス川の事例ー
Author(s)	太田 有生夫
Citation	福岡工業大学総合研究機構研究所所報 第1巻 P89-P96
Issue Date	2018-12
URI	<a href="http://hdl.handle.net/11478/1212">http://hdl.handle.net/11478/1212</a>
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	Publisher

**Fukuoka Institute of Technology**

# 河川横断構造物が魚類生息状況に与える影響の評価 —インドネシアスマトラ島パダン市近郊のカンディス川の事例—

太田 有生夫 (西日本工業大学 研究センター)

## The Evaluation of the Drainage Crossing against River Fishes —The case study of the Kandis River at Padang in Sumatra Island, Indonesia—

Yukio OTA (Research Center, Nishinippon Institute of Technology)

### Abstract

There are a lot of weirs for irrigation at rivers in Sumatra Island, Indonesia. However, very few fishways are installed at these weirs, and the influence of these drainage crossings on fresh-water fish has not been evaluated clearly. Therefore, in this paper, the influence of the Parak Buruk Weir on the fish condition is tried to evaluate at the Kandis River near Padang City in Indonesia with species composition analyses, such as Shannon's diversity index, Simpson's diversity index, Jaccard index, Bray-Curtis similarity, percentage similarity, cluster analysis and its dendrograms, TWINSpan and INSPAN.

**Keywords :** Drainage crossing, Diversity index, Similarity index, Cluster analysis, TWINSpan

### 1. はじめに

インドネシアのスマトラ島においては、古来より稲作が盛んであるため、灌漑のための堰が数多く設置されている。堰の大半は、水位差が 2m 以下の低いものであり、老朽化のために一部が破損している堰も多いため、生息する淡水魚が全く遡上できない、という状況の堰は少ないものの、世界銀行やアジア開発銀行のような国際援助機関が出資して建設した最近の堰においては、高さが高いことが多い上に、魚道が設置されていないことが多く、それらの横断構造物が河川生態系に与える影響は少なくないことが予想される。

筆者が所属する NGO インシニョールエコの会は、地域住民の重要な蛋白源である淡水魚を保全するため、スマトラ島で木製の仮設魚道を数基設置した実績があるが、いずれも短命に終わっており、魚道としての機能を維持することに成功していない。しかし、河川行政を監督する公共事業省の関係者の間では、すでに魚道についての知識が普及し、河川生態系保全の重要性について、行政および研究者の間で認識が深まりつつある。

その一方で、魚道を設置するためには膨大な資金を必要とするため、優先順位を検討しながら魚道の整備を進める必要があるにもかかわらず、堰のような横断構造物が河川生態系に与える影響を評価する手法が確立されておらず、魚道を設置する優先順位の検討ができない状況にある。さらに、設置した魚道による魚類の生息状況の改善効果の評価方法が確立されていないため、魚道の費用対効果の検討

ができないのが現状である。

そこで、本論文では、スマトラ島パダン (Padang) 市近郊のカンディス川 (Kandis River) パラックブルック堰 (Parak Buruk Weir) を例に取り、2007 年 8 月と 2008 年 5 月に実施した PHAB-Study (Physical Habitat Study : 魚類生息場物理環境調査法) のデータの一部を利用して、淡水魚の種組成データの分析による河川横断構造物の影響評価法の検討を試みた。

### 2. 調査地および調査方法

#### 2-1 調査地域と調査時期

調査地は、インドネシアのスマトラ島パダン市近郊にあるカンディス川パラックブルック堰の上流域と下流域で、調査日は、2007 年 8 月 11 日、12 日、2008 年 5 月 4 日の 3 日間である。Table1 に、調査日、調査地、天候、水温を記す。また、Fig.1 に、パラックブルック堰の上流と下流



Fig.1 カンディス川の下流 (左) と上流の調査サイト (右)  
左の写真の手前に堰があり、堰の水位差は約 2m ある。

Research sites: The left is the downstream and the right is the upstream of the Kandis River.

Table 1. Research Sites

Site	Date	Weather	Water Temperature degree Celsius
Downstream	11August2007	Cloudy	26-27
Underweir	11August2007	Cloudy	26-27
Upstream	11August2007	Cloudy	26-27
Upstream	12August2007	Fine	28
Downstream	04May2008	Fine	26-27
UpstreamA	04May2008	Fine	26-27
UpstreamB	04May2008	Fine	26-27

Table 2. Fish Data at Parak Buruk Weir, Kandis River

Species	Life Stage	Site&Date					Total		
		Downstream 11Aug07	Downstream 04May08	Underweir 11Aug07	Upstream 11Aug07	Upstream 12Aug07		UpstreamA 04May08	UpstreamB 04May08
Garing	a (adult)	0	1	0	0	0	15	0	16
Garing	j (juvenile)	0	21	3	6	3	101	4	138
Kaperas	a	0	0	0	0	0	7	0	7
Kaperas	j	0	0	5	0	7	120	33	165
Kulari	a	0	0	0	0	0	0	0	0
Kulari	j	0	0	0	0	125	0	0	125
Mungkus	a	0	3	11	100	179	31	0	324
Mungkus	j	125	357	20	377	136	483	197	1695
Nila	a	0	2	4	3	6	70	0	85
Nila	j	31	130	6	51	68	51	2	339
Pantau	a	0	0	0	0	0	0	0	0
Pantau	j	5	0	0	0	0	0	0	5
Total		161	514	49	537	524	878	236	2899

Garing: *Labeobarbus soro*  
 Kaperas: *Puntiusbinotatus*  
 Kulari: *Tylognathus kajanensis*  
 Mungkus: *Glossogobius giurus*  
 Nila: *Oreochromis niloticus*  
 Pantau: *Rasbora jakobsoni*

の様子を示す。

## 2-2 調査方法

調査地の下流側から、潜水目視で、魚種、成長段階（成魚と幼魚の区別）、全長、尾数を確認しながら、魚を観察した場所に、番号を記したタグを置いていく。上流まで潜水目視を行った後に、タグを回収しながら、タグを置いた位置を平板測量で地図上に記し、水深、流速、底質、カバーの状態について記録する。

Fig.2 に、潜水目視の様子と流速測定の様子を示す。本論文では、これらのデータのうち、魚類に関するデータだけを種組成の分析に用いる。また、Table2 に、観察された魚種と魚数を示す。魚種については、全長を参考に、成魚 (adult) と幼魚 (juvenile) に分け、種組成の分析におい



Fig.2 潜水目視 (左) と流速測定 (右)

潜水目視はシュノーケルを使い、魚種、成長段階（成魚と幼魚の区別）、尾数、全長を記録する。魚のいた場所を平板測量で地図上に記し、その場の水深、流速、底質、カバーの状態を記録する。

Diving visual observation with snorkel and water glass (left), and measurement of velocity with handy small-propeller velocity meter (right).



Fig.3 クラリ (左) とムンクス (右)

クラリは、日本のカワムツに似た魚で、食用として人気がある。ムンクスは、日本のカワヨシノボリに似た魚で、多様な種類が観察されるが、本論文では、ムンクスとして、一括して扱う。

Kulari (left: *Tylognathus kajanensis*) and Mungkus (right: *Glossogobius giurus*). Both of them are edible, especially Kulari is a very popular fish for food among inhabitants.

ては、成魚と幼魚を区別して分析する。Fig.3 に、代表的な遊泳魚であるクラリ (現地名: Kulari, 学名: *Tylognathus kajanensis*) と、代表的な底生魚であるムンクス (現地名: Mungkus, 学名: *Glossogobius giurus*) を示す。

## 3. 種組成の分析方法および分析結果

### 3-1 種の多様性の評価

種の多様性の評価には、シャノンの多様性指数  $H'$  (Shannon's Diversity Index) とシンプソンの多様性指数  $SID$  (Simpson's Diversity Index) の2種類を用いる。これらの指数は、いずれも、種の多様性を評価する尺度とし

Table 3. Shannon's Diversity Index

Species	Life Stage	Site&Date		Underweir 11Aug07	Upstream 11Aug07	Upstream 12Aug07	UpstreamA 04May08	UpstreamB 04May08
		Downstream 11Aug07	Downstream 04May08					
Garing	a (adult)	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00
Garing	j (juvenile)	0.00	0.19	0.25	0.07	0.04	0.36	0.10
Kaperas	a	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00
Kaperas	j	0.00	0.00	0.34	0.00	0.08	0.39	0.40
Kulari	a	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kulari	j	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49	0.00	0.00
Mungkus	a	0.00	0.04	0.48	0.45	0.53	0.17	0.00
Mungkus	j	0.28	0.37	0.53	0.36	0.51	0.47	0.22
Nila	a	0.00	0.03	0.30	0.04	0.07	0.29	0.00
Nila	j	0.46	0.50	0.37	0.32	0.38	0.24	0.06
Pantau	a	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pantau	j	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Index H' [bit]		0.90	1.15	2.26	1.25	2.11	2.08	0.77
Downstream Average		1.43						
Upstream Average		1.55						

Table 4. Simpson's Diversity Index

Species	Life Stage	Site&Date		Underweir 11Aug07	Upstream 11Aug07	Upstream 12Aug07	UpstreamA 04May08	UpstreamB 04May08
		Downstream 11Aug07	Downstream 04May08					
Garing	a (adult)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Garing	j (juvenile)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Kaperas	a	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kaperas	j	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02
Kulari	a	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kulari	j	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
Mungkus	a	0.00	0.00	0.05	0.03	0.12	0.00	0.00
Mungkus	j	0.60	0.48	0.17	0.49	0.07	0.30	0.70
Nila	a	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
Nila	j	0.04	0.06	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00
Pantau	a	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pantau	j	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Index SID		1.56	1.82	3.96	1.86	3.87	2.89	1.40
Downstream Average		2.45						
Upstream Average		2.51						

Table 5. Estimated Species by Rarefaction

Species	Life Stage	Site&Date		Underweir 11Aug07	Upstream 11Aug07	Upstream 12Aug07	UpstreamA 04May08	UpstreamB 04May08
		Downstream 11Aug07	Downstream 04May08					
Garing	a (adult)	0.000	0.019	0.000	0.000	0.000	0.159	0.000
Garing	j (juvenile)	0.000	0.344	0.504	0.107	0.056	0.707	0.160
Kaperas	a	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.077	0.000
Kaperas	j	0.000	0.000	0.698	0.000	0.127	0.772	0.785
Kulari	a	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Kulari	j	0.000	0.000	0.000	0.000	0.936	0.000	0.000
Mungkus	a	0.000	0.057	0.942	0.875	0.985	0.303	0.000
Mungkus	j	1.000	1.000	0.998	1.000	0.952	1.000	1.000
Nila	a	0.000	0.039	0.612	0.055	0.110	0.566	0.000
Nila	j	0.890	0.947	0.767	0.635	0.754	0.452	0.083
Pantau	a	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pantau	j	0.277	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
E(S)		2.167	2.406	4.521	2.672	3.920	4.037	2.028
Downstream Average		3.031						
Upstream Average		3.164						

ての種数 (Species Richness) と均等度 (Species Evenness) の両方を加味した総合的な尺度として用いられる。

Table3 にシャノンの多様性指数を、Table4 にシンプソンの多様度指数の結果を示す。

### 3-2 レアファクション法による種数の推定

個体数ベースのレアファクション法 (Rarefaction) を用いて、すべてのサイトの記録個体数を 10 に揃えた場合の推定種数を求める。Table5 に、計算した推定種数を示す。

### 3-3 調査サイト間の類似度の検討

調査サイト間の質的 (qualitative) な類似度の評価にジャッカードの係数 (Jaccard Index) を、量的 (quantitative) な類似度の評価にブレイ・カーティスの類似度 (Bray-

Curtis Similarity) とパーセンテージ類似度 (Percentage Similarity) を用い、2007 年 8 月 11 日上流のデータ (Upstream11Aug07) を基準にした各調査サイトの類似度を求める。Table6 に、各調査サイトにおけるジャッカードの係数、ブレイ・カーティスの類似度、パーセンテージ類似度の結果を示す。

ブレイ・カーティスの類似度とパーセンテージ類似度は、同じものとして扱われることがあるが、本論文では、相対優占度を用いて計算したものをブレイ・カーティスの類似度、計測した個体数を用いて計算したものをパーセンテージ類似度として区別する。

Table6 の Downstream Average は、

Table 6. Jaccard Index, Bray-Curtis Similarity, Percentage Similarity

Research Site and Date	Jaccard Index	Bray-Curtis Similarity	Percentage Similarity
	JC		PS
Downstream11Aug07	0.333	0.797	0.447
Downstream04May08	0.833	0.810	0.797
Underweir11Aug07	0.833	0.706	0.147
Upstream11Aug07	1.000	1.000	1.000
Upstream12Aug07	0.714	0.552	0.552
UpstreamA04May08	0.625	0.660	0.661
UpstreamB04May08	0.500	0.722	0.525
Downstream Average	0.667	0.771	0.464
Upstream Average	0.613	0.645	0.580

Downstream11Aug07、Downstream04May08、Underweir11Aug07の平均値、Upstream Averageは、Upstream12Aug07、UpstreamA04May08、UpstreamB04May08の平均値を示す。

3-4 Rを用いたクラスター分析

データ解析用のフリーソフトウェアであるRと、R上で使用するパッケージのveganを用いて、類似度の計算とクラスター分析を行う。

類似度は、ブレイ・カーティスの類似度 (bray)、ユークリッド距離 (euclidean)、ホーンの指数 (horn) の3種類を用い、それぞれにおいて、クラスター融合のアルゴリズムとして、群平均法 (average)、最短距離法 (single)、最長距離法 (complete) の3種類を用いて階層型クラスター分析を行う。よって、これらから、9種類のデンドログラムを得ることができる。これら9種類のデンドログラムの中に、下流 (Downstream)、堰下 (Underweir)、上流 (Upstream) をグループ化できているものがあるかどうかを検討する。

今回得られた9種類のデンドログラムの中には、下流、堰下、上流をグループ化できていると思われるものがないため、得られたデンドログラムの中から、Fig.4に、アルゴリズムに群平均法を用いた、ブレイ・カーティスの類似度、ユークリッド距離、ホーンの指数によるデンドログラムを示す。

3-5 TWINSPLANによる分類

分類型の変量解析であるTWINSPLANを使って、調査サイトのグループ化を行う。本論文では、Windows上で動作するフリーソフトウェアのWinTWINSを用い、Pseudospecies Cut Levelの数を2に設定する以外は、すべて初期設定のままで実行する。Table 7に、調査サイトの序列化と分類の結果を示す。

3-6 INSPANによる指標種の抽出

INSPANは、各グループを特徴付ける指標種 (Indicator Species) を抽出することができ、R上でパッケージlabdsvを用いて実行することができる。この、グループにおける特徴的であることの指標が指標値 (Indicator Value/IV) であり、最も特徴的な種が指標種となる。

調査サイトのグループ化は、3-4で得られた、群平均法を用いたブレイ・カーティスの類似度によるデンドログラムを用いて、3つのグループ、(Downstream04May08、Downstream11Aug07、Upstream11Aug07、UpstreamB04May08) + (UpstreamA04May08、Underweir11Aug07) + (Upstream12Aug07) に分類する。Table 8に、INSPANを用いた指標値の値と指標種を示す。

3-7 下流グループと上流グループの指標種の抽出

調査サイトを下流グループ (Downstream11Aug07、Downstream04May08、Underweir11Aug07) と上流グル

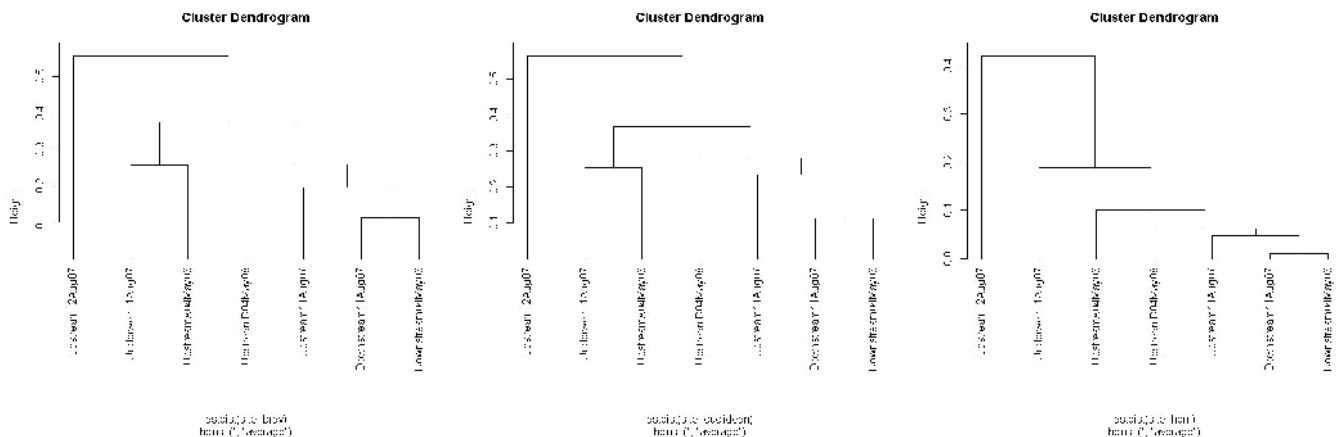


Fig.4 Rを用いたクラスター分析によるデンドログラム

類似度は、左から、ブレイ・カーティスの類似度、ユークリッド距離、ホーンの指数を用いている。いずれも、クラスター融合のアルゴリズムは群平均法を用いている。

Cluster dendrograms of Bray-Curtis similarity, Euclidean distance and Horn's index with average clustering algorithm from the left side.

Table 7. Order and Grouping with TWINSpan

TWINSpan	Site and Date						
	Downstream04May08	UpstreamA04May08	Underweir11Aug07	Upstream11Aug07	Upstream12Aug07	UpstreamB04May08	Downstream11Aug07
Division 1 (N=7)	negative	negative	negative	negative	negative	negative	positive
Division 2 (N=6)	negative	negative	positive	positive	positive	positive	-

Table 8. Clustering of research site, Indicator Value, IVmax and p-value

Site & Date	Cluster	Species	Indicator Value (IV)			Species	Cluster	IVmax	p-value
			1	2	3				
Downstream11Aug07	3	Garing.a	0.000	0.472	0.014	Garing.a	2	0.472	0.663
Downstream04May08	3	Garing.j	0.054	0.791	0.116	Garing.j	2	0.791	0.066
Underweir11Aug07	2	Kaperas.a	0.000	0.500	0.000	Kaperas.a	2	0.500	0.449
Upstream11Aug07	3	Kaperas.j	0.078	0.713	0.052	Kaperas.j	2	0.713	0.140
Upstream12Aug07	1	Kulari.j	1.000	0.000	0.000	Kulari.j	1	1.000	0.142 *
UpstreamA04May08	2	Mungkus.a	0.658	0.249	0.046	Mungkus.a	1	0.658	0.339
UpstreamB04May08	3	Mungkus.j	0.174	0.321	0.504	Mungkus.j	3	0.504	0.010 *
		Nila.a	0.116	0.857	0.013	Nila.a	2	0.857	0.125 *
		Nila.j	0.364	0.252	0.384	Nila.j	3	0.384	0.878
		Pantau.j	0.000	0.000	0.250	Pantau.j	3	0.250	1.000

\* Clustering from the dendrogram with Bray-Curtis Similarity and average argorithm

\* Indicator Values (IV) with INSPAN

\* Indivicator Species

Table 9. Clustering of research site, Indicator Value, IVmax and p-value

Site & Date	Cluster	Species	Indicator Value (IV)			Difference 1-2	Species	Cluster	IVmax	p-value
			1	2	1-2					
Downstream11Aug07	1	Garing.a	0.045	0.216	-0.171	Garing.a	2	0.216	1.000	
Downstream04May08	1	Garing.j	0.318	0.523	-0.205	Garing.j	2	0.523	0.630 *	
Underweir11Aug07	1	Kaperas.a	0.000	0.250	-0.250	Kaperas.a	2	0.250	1.000	
Upstream11Aug07	2	Kaperas.j	0.106	0.511	-0.404	Kaperas.j	2	0.511	0.300	
Upstream12Aug07	2	Kulari.j	0.000	0.250	-0.250	Kulari.j	2	0.250	1.000	
UpstreamA04May08	2	Mungkus.a	0.235	0.486	-0.250	Mungkus.a	2	0.486	0.652	
UpstreamB04May08	2	Mungkus.j	0.516	0.484	0.033	Mungkus.j	1	0.516	0.850	
		Nila.a	0.361	0.344	0.017	Nila.a	1	0.361	0.935	
		Nila.j	0.722	0.278	0.445	Nila.j	1	0.722	0.102 *	
		Pantau.j	0.333	0.000	0.333	Pantau.j	1	0.333	0.435	

\* Clustering downstream and upstream

\* Indicator Values (IV) with INSPAN

\* Indivicator species

ープ ( Upstream11Aug07、Upstream12Aug07、UpstreamA04May08、UpstreamB04May08) に分類し、INSPAN を用いて、指標値と指標種を抽出する。Table9 に、上流グループと下流グループの指標値の値と指標種を示す。

#### 4. 考察

本論文では、種の多様性、調査サイトの類似度、クラスター分析と TWINSpan による調査サイトの分類、魚種ごとの指標値と指標種、これらの視点から、横断構造物が魚類生息状況に与える影響について考察する。

##### 4-1 種の多様性の評価

Table3 と Table4 にて計算した、それぞれの調査サイト

におけるシャノンの多様性指数とシンプソンの多様性指数について、その結果を Fig.5 にまとめる。また、調査サイトを上流と下流に分けた、それぞれの指標の平均値を Fig.6 にまとめる。

Fig.5 のグラフから分かるとおり、シャノンの多様性指数とシンプソンの多様性指数は、ほぼ同様の傾向を示しており、Underweir11Aug07 が最も高い値を示している。本論文の調査地であるパラックブルック堰では、堰の直下は洗堀で深みになっており、その深みから瀬にいたる水域では、他の水域よりも、多くの魚種を観察できることが多い。多様な水深と流速が、多様な魚の生息を可能にしていると考えられる。

また、Fig.6 から、シャノンの多様性指数とシンプソン

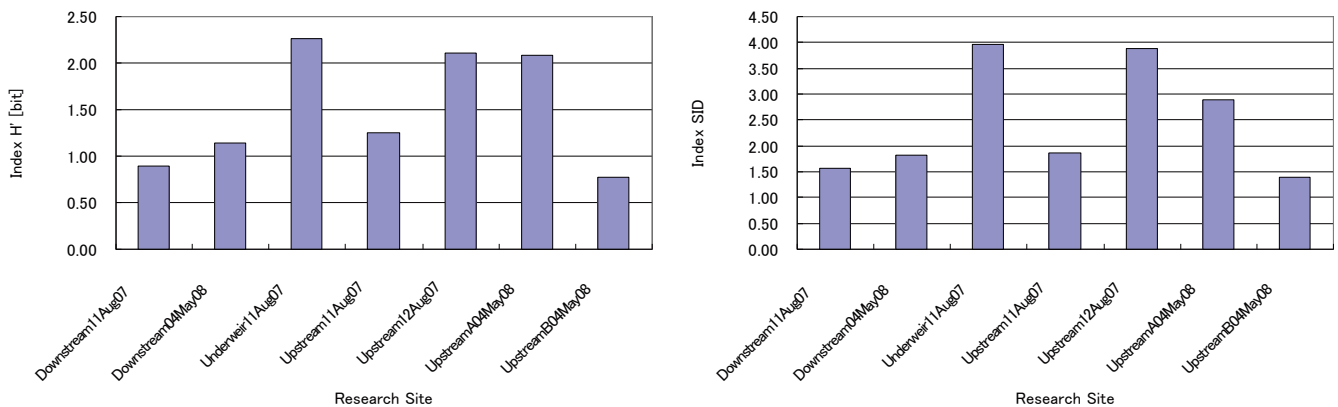


Fig.5 シャノンの多様性指数 H' (左) とシンプソンの多様性指数 SID (右)  
The left is Shannon's Diversity Index (H') and the right is Simpson's Diversity Index (SID).



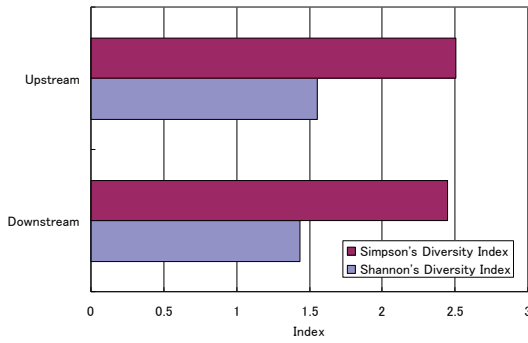


Fig.6 シャノンの多様性指数とシンプソンの多様度指数における上流と下流の差

Both Simpson's and Shannon's Diversity Indexes, upstream indexes are larger than downstream ones.

の多様度指数の両方において、下流の平均値よりも、上流の平均値の方が、指数が高くなっている。Fig.6 でのその差はわずかであるが、Underweir11Aug07 を除外すると、その差は、これよりも大きくなる。Fig.1 の調査サイトの写真を見て分かる通り、堰の下流と上流の底質やカバーの状況が異なる（上流の方が河床の石が大きく、それらの石がカバーになっている）ため、一概に結論付けるのには無理があるが、本調査地の場合には、河床の状況の違いも含めて、上流の方が、下流よりも、種の多様性に富むものと考えられる。

4-2 レアファクション法による種数の推定

Table5 で計算した種数について、Fig.7 にまとめる。この種数の推定値は、Fig.5 に示したシャノンの多様性指数とシンプソンの多様度指数と、ほぼ同様の傾向を示しており、Underweir11Aug07 の種数が最も高くなっている。また、下流と上流の平均値は、それぞれ、3.031 と 3.164 となることから、同様に、上流の種数が、若干ではあるが、下流の指数よりも高くなっている。

よって、個体数ベースのレアファクション法による推定種数については、シャノンの多様性指数やシンプソンの多様度指数と、ほぼ同様の結果が得られることが分かる。

4-3 調査サイト間の類似度の検討

Table6 の、ジャッカードの係数、ブレイ・カーティスの類似度、パーセンテージ類似度を Fig.8 に示す。また、それぞれの下流と上流の平均値をまとめたものを Fig.9 に示す。

種の多様性指数が、どのような指数を用いても、ほぼ同じような傾向が出るのに対し、Fig.8 を見ると、調査サイト間の類似度に関しては、用いる類似度によって、かなりの差が生じることが分かる。例えば、ブレイ・カーティスの類似度を見ると、下流、上流を問わず、いずれの調査サイトも高い類似度を示すのに対し、パーセンテージ類似度では、Upstream11Aug07 と Underweir11Aug07 の間で、類似度に大きな差があることが示されている。また、Underweir11Aug07 においては、3 つの類似度の中で、差が極めて大きくなっている。

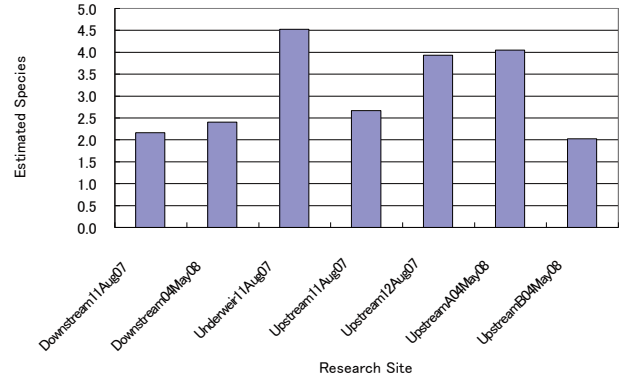


Fig.7 個体数ベースのレアファクション法による推定種数  
Estimated species that is calculated by rarefaction based on the fish quantity.

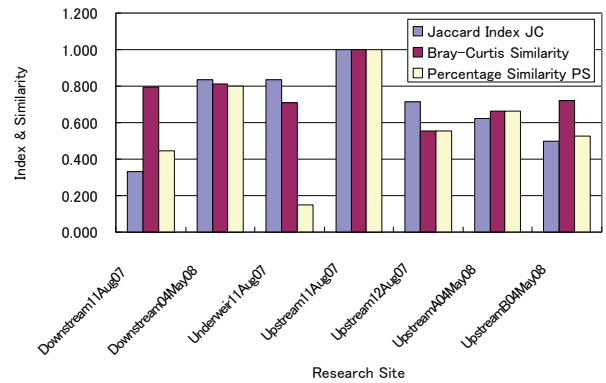


Fig.8 調査サイト間の類似度  
Upstream11Aug07 を基準としたジャッカードの係数、ブレイ・カーティスの類似度、パーセンテージ類似度を示す。  
Similarity indexes of Jaccard Index, Bray-Curtis Similarity and Percentage Similarity.

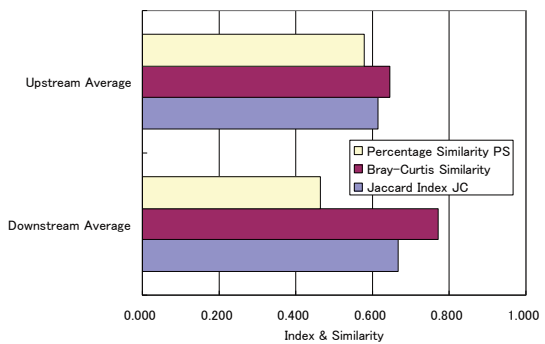


Fig.9 ジャッカードの係数、ブレイ・カーティスの類似度、パーセンテージ類似度における上流と下流の差  
The differences between downstream and upstream are not large in every index and similarity.

Fig.10 に、調査サイトごとの観察された魚数を示す。これを見ると、Upstream11Aug07 と Underweir11Aug07 の間には、個体数で約 10 倍の開きがあるが、Table2 で種の構成比（相対優占度）を見てみると、かなり似かよって

ることが分かる。プレイ・カーティスの類似度では、計算に相対優占度を用い、パーセンテージ類似度では、計測した個体数を用いて計算していることから、パーセンテージ類似度には、計測した個体数の差が大きく反映していると考えられる。その一方で、Fig.9を見ると、いずれの類似度においても、下流と上流の間には、それほど大きな差がないことが分かる。

観察された魚数を考慮するのであれば、魚類調査の際に、水域面積を揃える、あるいは、水域の長さを揃える、などの対応が必要である。本論文の調査では、水域面積を揃えたり、水域の長さを揃えたりはしていないが、極端に水域の長さが異なる調査はしておらず、水域の長さは、おおよそ 100m を目処に調査している。よって、Fig10 に示す観察された魚数の差は、実際の魚数の差を反映しているものと考えられるが、本論文においては、種組成の分析による差異の検出が主な目的であるため、計測した個体数の問題については、これ以上言及しない。

#### 4-4 R を用いたクラスター分析

3-4 に示すとおり、プレイ・カーティスの類似度、ユークリッド距離、ホーンの指数の 3 種類の類似度と、群平均法、最短距離法、最長距離法の 3 種類のクラスター融合のアルゴリズムの組合せで得られる 9 つのデンドログラムの中には、下流、堰下、上流をグループ化できているものはなかった。

しかし、Fig.4 では、3 つのデンドログラムに共通する傾向を見て取ることができる。Downstream11Aug07 と Downstream04May08 の組に、Upstream11Aug07 と UpstreamB04May08 が繋がりが、これらに UpstreamA04May08 と Underweir11Aug07 が繋がった上で、最後に Upstream12Aug07 が繋がっている。Upstream12Aug07 が、他の調査サイトとの類似度が低いのは、この調査サイトでのみ、クラリが観察されているからと考えられ、それ以外の調査サイトに関しては、類似度が高いものの、おおよそ、Downstream の組+Upstream の組+Underweir となっていることを読み取ることができる。よって、Fig.4 のデンドログラムからは、下流、上流、堰下の間で、類似度に大きな差はないものの、グループ化に影響を与える程度の差は認められる、と考えてよいであろう。

#### 4-5 TWINSPAN による分類

Table7 より、TWINSPAN による調査サイトの分類では、(Downstream11Aug07) + (UpstreamB04May08, Upstream1 2 Aug07, Upstream11Aug07, Upstream11Aug07, Underweir11Aug07) + (UpstreamA04May08, Downstream04May08) の 3 つに分類できることが分かる。この分類は、4-4 に示すクラスター分析による分類の結果とは全く異なり、TWINSPAN による分類とクラスター分析による分類の間には、類似性が認められないことが分かる。

また、TWINSPAN による分類では、クラスター分析で

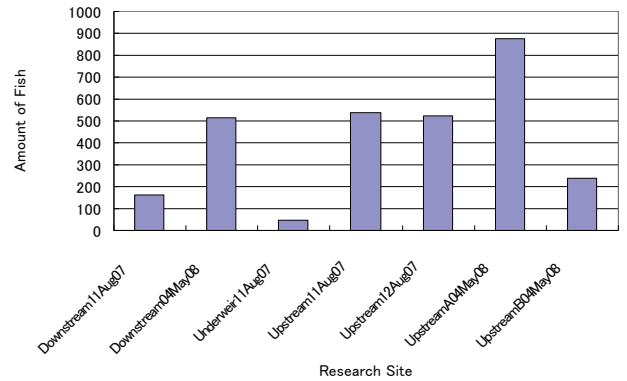


Fig.10 調査サイトごとの観察された魚数

Lengths of research water areas are almost the same, but amounts of observed fish are quite different, for example, between Upstream11Aug07 and Underweir11Aug07.

認められたような、下流、堰下、上流という分類傾向が認められないため、TWINSPAN では、本調査地における横断構造物の影響は検出されない、という結論に至る。

#### 4-6 INSPAN による指標種の抽出

Table8 において、IVmax が 25%以上で、かつ、その値が  $p < 0.01$  で有意となった種をグループの指標種とする<sup>(4)</sup>ならば、第3グループの Mungkus-j (ムンクスの幼魚) が、ほぼ指標種としての条件を満たしている。第3グループは、(Downstream04May08, Downstream11Aug07, Upstream11Aug07, UpstreamB04May08) と、下流の 2 調査サイト、上流の 2 調査サイトで構成されていることから、指標種と、下流、上流という調査サイトの位置との間には、関連性のないことがわかる。

#### 4-7 下流グループと上流グループの指標種の抽出

3-4 のクラスター分析の結果と関係なく、調査サイトを下流グループと上流グループに分け、4-6 と同様に、INSPAN で指標種を求めてみる。Table9 に示すように、下流グループでは Nila-j (ニラの幼魚) が、上流グループでは Garing-j (ガリンの幼魚) が、指標種としての IVmax を満たしているが、いずれも  $p < 0.01$  とはならず、有意に指標種とはいえない、という結果になる。つまり、4-6 と同様に、指標種と、下流、上流の調査サイトの位置との間には関連性が認められない、ということになる。

しかし、この結果を、本調査地での調査経験に照らし合わせてみると、Nila-j は、下流側の、流速が遅く、植生などのカバーの近くで多く観察されており、Garing-j は、流速が速く、底質が礫(れき)で、巨石をカバーとして利用している姿が観察されている。このことから、下流の指標種が Nila-j で、上流の指標種が Garing-j である、という結果は、経験的には、極めて妥当な結果である、ということができる。

## 5. おわりに

本論文では、インドネシア、スマトラ島パダン市近郊の



カンディス川パラックブルック堰の下流と上流で実施した PHAB-Study のデータをもとに、シャノンの多様性指数とシンプソンの多様度指数を用いた種の多様性の評価、個体数ベースのレアファクション法を用いた種数の推定、ジャッカートの係数、ブレイ・カーティスの類似度、パーセンテージ類似度を用いた調査サイト間の類似度の検討、データ解析用のフリーソフト R を用いたクラスター分析とデンドログラムの作成、分類型の多変量解析である TWINSpan を用いた調査サイトのグループ化、INSPAN を用いた各グループを特徴付ける指標種の抽出を行い、観察された魚種の種組成データの分析により、横断構造物が魚類生息状況に与える影響の評価を試みた。

以下に、本論文で得られた結論をまとめる。

- 本論文の調査地においては、シャノンの多様性指数とシンプソンの多様度指数は、ほぼ同様の傾向を示し、両者に大きな差はない。両方の指数において、堰下での指数が最も高い値を示し、下流の指数の平均値よりも上流の指数の平均値の方が高くなっていることから、堰下に滞留する魚種がいる可能性があり、また、上流の方が、下流よりも、種の多様性に富むものと考えられる。
- 個体数ベースのレアファクション法による種数の推定では、堰下の種数が最も高く、下流よりも、上流の種数が高くなることから、堰下に滞留する魚種がいる可能性が指摘でき、また、上流の方が、下流よりも、種数が多く、種の多様性に富むものと考えられる。
- ジャッカートの係数、ブレイ・カーティスの類似度、パーセンテージ類似度を用いた調査サイトの類似度の検討では、用いる類似度の種類によって、得られる結果に差が生じる。特に、計算に相対優占度を用いるブレイ・カーティスの類似度と、計算に計測した個体数を用いるパーセンテージ類似度では、その差が大きく、パーセンテージ類似度は、観察された魚数の影響を強く受けることがわかる。
- ジャッカートの係数、ブレイ・カーティスの類似度、パーセンテージ類似度において、Upstream11Aug07 を基準にした類似度の平均を、下流と上流で比較すると、ジャッカートの係数とブレイ・カーティスの類似度では、下流の類似度の方が上流よりも大きく、パーセンテージ類似度では、上流の類似度の方が下流よりも大きくなっている。しかし、その差は小さく、明確に下流と上流の差を示しているとはいえない。
- ブレイ・カーティスの類似度、ユークリッド距離、ホーンの指数を用いたクラスター分析では、下流、堰下、上流を明確にグループ化できる類似度はなかったものの、得られたデンドログラムからは、下流グループ、上流グループ、堰下のグループ化の傾向を読み取れるものがあり、類似度に、グループ化に影響を与える程度の差異があるものと考えられる。
- TWINSpan を用いた分類では、クラスター分析で得

られた結果との類似性が認められず、下流、堰下、上流のグループ化に結び付く結論は得られなかった。

- クラスター分析で得られたグループ化とは無関係に、調査サイトを上流と下流の 2 グループに分け、INSPAN による指標種の抽出を行うと、 $p < 0.01$  とはならないものの、下流の IVmax がニラの幼魚、上流の IVmax がガリンの幼魚となり、経験的な指標種と一致する結果が得られる。

以上の結果より、本論文の調査地であるパラックブルック堰においては、観察された魚数、種の多様性、調査地の類似度などを総合的に勘案すると、上流の魚の生息状況の方が、下流の魚の生息状況よりも良好であると考えられ、その差は、調査サイトのグループ化に影響を与える程度には大きい、と結論付けることができる。

### 謝辞

本論文をまとめるにあたっては、放送大学教授 加藤和弘氏の技術的な支援を受け、インドネシアでのフィールド調査は、アンダラス大学農学部水産学科の Azhar 教官と Masrizal 教官を筆頭に、多くの学生たちの協力を得て実施されたものである。また、調査にかかる資金については、「NGO インシニョールエコの会」からの援助を得ている。ここに付記して、すべての関係者に対して謝意を表すものである。

(平成 30 年 1 月 23 日受付)

### 参考文献

本論文は、放送大学大学院科目「生物の種組成データの分析法（'16）」の講義内容に沿って、種組成データの分析を行ったものである。

- (1) 加藤和弘：放送大学大学院教材「生物の種組成データの分析法（'16）実習資料 第 2 回－第 9 回」（2016 年）
- (2) 加藤和弘：放送大学大学院教材「生物の種組成データの分析法（'16）第 1 回－第 9 回」（2016 年）
- (3) 太田有生夫：放送大学大学院修士論文「簡易型 PHAB-Study 法の開発とインドネシアでの応用例」（2007 年）