

HEPによるダム撤去事業に伴う野生生物生息地の定量的影響評価 —球磨川、荒瀬ダムをケーススタディとして—

Applying HEP to Quantitative Habitat Impact Assessment for Dam Removal Projects —Case Study of Arase Dam Removal Project in The Kumagawa River—

八木 裕人
YAGI Hiroto

概要：本研究では日本初のダム撤去事業をケーススタディとしダム撤去事業に HEP を適用することの有効性と課題を考察することを目的とした。アユを対象とし HSI モデルを作成し八代海河口から瀬戸石ダム湛水区間までを評価区域として評価を行った。結果、質と時間と空間の指標を含んだ CHU まで評価することができた。また自然遡上するアユを対象とした場合流域のつながりを入れた評価が重要であり、荒瀬ダムの上・下流にある堰とダムを入れ評価を行うこととなった。複数案を定量的に評価でき、ダム撤去事業時の HEP の有効性が示されたが、目標設定の困難さや HSI モデルの精度、時間軸の評価の難しさといった課題が残った。

Summary:This paper aims to clarify the problem with dam removal using the Habitat Evaluation Procedure (HEP) as a case study Arase Dam removal project. We selected a *Plecoglossus altivelis* as represented species because a *Plecoglossus altivelis* is species that represent the Kumagawa River. As a result, points to hold the follow-up committee collected academics and released the information to the public were highly applicability of HEP. The research questions were as follows: the change prediction form dam removal, how to set goals, the evaluation taking into account the time axis, evaluation limits of the data and the accuracy of the HSI models.

キーワード：HEP、ダム撤去、複数案評価、環境アセスメント、アユ

Keywords: Habitat Evaluation Procedure, Dam Removal, Arase dam, Environmental Impact Assessment, Ayu

1. はじめに

わが国では、高度経済成長期に造られた道路・橋梁・ダム等の公共構造物が、その役割や機能を終える時期に差し掛かり改修や撤去を行う転換期に差しかかったといえる。そのような中、球磨川に 1954 年完成した荒瀬ダムは住民の撤去を求める活動により、紆余曲折の末、2010 年 2 月に撤去が決定し、3 月 31 日水利権許可期限が過ぎた翌 4 月からゲートが開放された（つる，2012）。ダムに関する経済分析で一般的に使用されている、多くのダムの使用に耐えうる年数はおよそ 50 年であり（科学・経済・環境のためのハインツセンター，2004）、今後このような事例は増えて行くものと考えられる。

荒瀬ダム撤去は「ダム撤去工法専門部会」、「荒瀬ダム撤去技術研究委員会」において撤去の工程が決定された。また、「荒瀬ダム撤去フォローアップ専門委員会」において治水面及び環境面のモニタリング調査を検討・評価している。しかしその方法は環境影響評価法（1999 年制定）における環境アセスメントにおける調査を踏襲している。環境アセスメントにおける動植物評価には、生態系の「空間」と「時間」についての定量的評価手法を持たなかったために、結果としてこれらの量の増減に対する実質的なミティゲーションが行われてこなかった（田中，2004）。その解決先として生態系を生物種の「質」、「空間」、「時間」の概念から定量的に評価する HEP（Habitat Evaluation Procedure，ハビタット評価手続き）が着目されている。こういった背景から、公共構造物を造る際だけでなく撤去や改修する際にも定量的な評価が

必要になってくるものと思われる。

そこで本研究では、日本初のダム撤去事業が行われている球磨川水系を対象として HEP による複数のダム撤去案の比較評価を行い、ダム撤去による HEP 適用の可能性と課題について考察することを目的とした。

2. 研究方法

HEP の手順と本研究での考え方について表 1 にまとめた。本来の HEP では目標設定やそれに付随する評価種の選定等を HEP チームで行うため、HEP チームの編成が重要なポイントとなってくる。しかし本研究では仮に HEP チームが編成されたとして評価を行った。評価のレベルはダム撤去ということを考え、「時間」の概念が必要であるとの判断から CHU（Cumulative Habitat Unit）まで算出を行った。既存の情報としては事業者である熊本県企業局と、球磨川を管理し荒瀬ダムの魚道も建設した国土交通省九州地方整備局に協力を頂き資料を収集した。目標設定等は特に荒瀬ダム撤去運動を推し進めた地元住民の方の話から行った。評価種はアユ（*Plecoglossus altivelis*）とし HSI（Habitat Suitability Index）モデルを作成した。

2-1 対象地の概要

荒瀬ダムは 1951 年に策定された球磨川総合開発計画の一つとして 1954 年 12 月 10 日に県営で建設された。水力発電のために造られたダムだったが、建設当時県内需要電力の 15%を占めていた年間出力 7400 万 kW の電力は 0.7%でしかなくなり、700 軒ほどあった海苔業者は 4 軒に、

この研究の一部は環境アセスメント学会第 2011 年度 10 回大会において発表した。

この研究の一部は不知火海・球磨川流域圏学会の原著論文として投稿中である。

鮎漁師の数は 50 分の 1 になり、放流時の振動により度重なる家の修繕を余儀なくされてきた（つる，2003）。荒瀬ダム竣工から撤去までの流れを表 2 にまとめた。

2-2 HEP の前提条件

(1) 評価種の選定

まず HEP の目標は「流域生態系の回復」とした。さらにこの目標を達成するような小目標を「河川の連続性の確保」、「干潟の再生」、「一次産業の再生」とした。図 1 のように評価種としては数種考えられたが、最終的にアユとアサリに絞った後、熊本県企業局の調査している範囲、すなわち干潟を除いた河川のみを評価することとし、評価対象種をアユとした。

アユは両側回遊性を持ち、球磨川での生活史は図 2 に示す通りである。荒瀬ダム建設を機に球磨川漁業協同組合が設立され、一番河口近くにある球磨川堰の魚道を遡上してくる稚アユを掬い上げ、上流の三十数箇所放流している（つる，2009）。大島（1956）によると 1955 年 2 月 6 日から稚アユ放流が開始され、その年に放流された稚魚の総尾数は 1,639,375 尾（うち陸封小アユ 1,000,073、海アユ 639,302 尾）である。

ここでの評価は稚アユの放流事業を行わない場合のアユの生息ポテンシャルについて評価することとした。

(2) 複数案の設定とターゲットイヤーの設定

複数案は「流域生態系の回復」という目標の下設定した（表 3）。2012 年 12 月現在では荒瀬ダムの一部ゲートが開放された状態で撤去工事がされ始めているが、2012 年 9 月まではダムのゲートが全開されており、その状態を「現状」案とした。2010 年 4 月以降ダムのゲートが全開となったが、それ以前の状態を「過去（何もしない案）」として設定した。荒瀬ダム撤去工事は 2018 年 3 月までの予定であるので 2018 年から魚類が行き来できる状態となると仮定し「将来 A」とした。また、現在では荒瀬ダム下流に位置する九州農政局が管轄の遥拝堰（河口から 9km 地点）の魚道改修のための調査が行われている。现阶段では複数の運用方法の検討が行われているようであるが、荒瀬ダム撤去と同時にその運用方法が決定されたとした場合を「将来 B」とした。また、遥拝堰の改修に加え、荒瀬ダムの上流に位置する電源開発が管轄の瀬戸石ダム（河口から 28.8km 地点）が撤去された場合を「将来 C」とした。瀬戸石ダムは水利権が 2014 年で切れるため、その後 2 年かけて撤去について準備が行われ、4 年間で撤去される場合を仮定した。以上のことからターゲットイヤー（TY）を 2010 年、2012 年、2018 年、2020 年、2050 年と設定した。

(3) 評価区域の設定とカバータイプ区分

評価区域は表 1 に示す通り八代海河口から瀬戸石ダム湛水区間までである。荒瀬ダムフォローアップ委員会は「荒瀬ダム撤去の影響は瀬戸石ダムから遥拝堰までである」とし、その範囲内での調査と評価のみ行なっているが、今回の評価では河川の連続性の確保という観点から八代海河口から瀬戸石ダムの湛水区間までとした。第 5 回荒瀬ダム撤去工法専門部会の資料（荒瀬ダム対策検討委員会，2004）にある「河床変動高および河床材料が概ね変化していない瀬戸石ダム上流 11km 地点」を参考に河口から 40.8km 地点を上流端とした。

後述する SI（Suitability Index）を適用するためのカバータイプ区分を図 3 のように行った。図 3 の最小評価区分

表 1 HEP の手順と本研究での考え方

	手順	項目	本研究での考え方
1	HEP 適用可能性調査	HEP チームの編成	筆者が第三者的な立場で評価を行った。
		HEP 評価のレベル検討	「質」×「空間」×「時間」で評価を行うこととした。
2	HEP 事前調査	評価区域の設定	球磨川本流の河口から瀬戸石ダムの湛水区間までを評価範囲とした。
		既存情報収集	熊本県企業局作成資料、国土交通省九州地方整備局作成資料、地元住民へのインタビュー調査により情報収集を行った。
		目標の設定とブレークダウン	昔あった球磨川の状態に復元することを目標とした。
		評価種の設定	アユを対象種として選定した。
3	HSI モデルの確保	HSI モデルの作成	一度作成したモデルをアユの専門家に見ていただいた後、利用できるデータとの関係から最終的なものを作成した。
			OU まで求め複数案の比較評価をおこなった。
4	HEP 計算	HEP 計算と比較評価	OU まで求め複数案の比較評価をおこなった。

表 2 荒瀬ダム竣工から撤去までの流れ

年月	詳細
1951 年 11 月	球磨川総合開発計画の策定
1954 年 12 月	熊本県営熊本水力発電所の竣工
1955 年 3 月	熊本県営熊本水力発電所の取水施設として荒瀬ダム竣工
2002 年 2 月	川漁師組合の呼びかけでダム撤去運動の開始
2002 年 12 月	潮谷義子知事から水利権を 7 年更新したのち、2010 年に荒瀬ダムの撤去の決定（定例県議会）
2003 年 3 月	水利権の更新
2008 年 11 月	蒲島郁夫知事が荒瀬ダム撤去方針の凍結を表明
2010 年 4 月	蒲島郁夫知事が 2 年間の水利権許可申請を国土交通省に提出するも取り下げ、ダムのゲートが全開となる
2011 年 12 月	荒瀬ダム撤去が国により正式に許可
2012 年 4 月	撤去開始予定

は国土交通省八代河川国道事務所提供の平成 16 年度河川横断測量成果を用いて、メッシュの分割を行ったものである。最小評価区分は 200m ごとの横断測量成果を河川横断方向に 6 分割、縦断方向に 5 分割し 7077 の格子を作成した後、国土交通省八代河川国道事務所提供の航空写真から読み取り作成した河川の基盤レイヤを重ね合わせ GIS ソフト上でオーバーレイし最終的に評価に必要な 4835 のカバータイプ区分を行った。SI2、SI3 の流速、水深についてはこの最小評価区分ごとに数値を算出し、SI1 の河床形態は図 3 の小評価区分を、SI4 の水質と SI5 の遡上・流下可能性は図 3 の大評価区分を用いた。

2-3 HSI モデルの構築

アユの環境要因を定量化するため、HSI モデルを構築した。手順はまず評価種の既存文献を収集し生存必須条件を選定した後、評価種専門家の判断（Best Professional Judgment, BPI）と実際の評価で使用できるかどうかを判断した上で妥当なモデルを選定した。アユの餌となる付着藻類と浮遊物質量（SS）を選定すべきとの助言を受けたが、ダム撤去による変数の挙動が曖昧であるため付着藻類については今回のモデルからは省き、SS については SI4 の水質という形で反映させた。球磨川に生息するアユの生活史は図 2 に示した通りであるが、産卵期、稚魚期、遡上期・孵化期、に分け、それぞれのハビタット変数を設定した（図 4）。

SI1の河床形態は地元住民の作成した地図等を参考に瀬の数を求め、区間ごとの最大数をSI=1.0とした。各案の全過程が終了した時点での瀬の数を表4に示した。SI2、SI3の流速、水深は文献調査により図5、図6のように設定した。流速と水深はiRICNays2Dを用い解析を行った値を用いた。計算には粗度係数として0.03を、上流端の流量として国土交通省水門水質データベースにある2011年の流量から平均流量を求め、167 (m3/s) を設定し等流計算を行った。SI4の水質は気象庁のデータから2012年に10mm以上の雨が降った日を求め、湛水区間の数を乗じ下流の濁り度合いとした。SI5の遡上・流下可能性は球磨川堰をアユが完全に遡上できたとした場合その後の遙拝堰、荒瀬ダム、瀬戸石ダムを遡上・流下できる可能性を示した(表5)。インタビュー調査の結果、現時点では遙拝堰の魚道改変は現在あるものを利用し、水の流れを変え稚魚が魚道を登りやすくする対策を取る予定であることが分かった。現在の遡上・流下可能性を10%とした場合、おおよそ50%程度遡上・流下できるようになると過程し計算を行った。また荒瀬ダムにも魚道が設置されているが、アユの遡上に適していないことが指摘されていることや、ゲートが開放された現在では水が流れていない状態であるため、今回の評価では荒瀬ダムの魚道によるアユの遡上可能性を0%と設定した。最小の評価区分は図3にある通りで、一つのセルごとにHSI値をHSI結合式(式1)から求めた。式1は河川の連続性の確保という視点からSI5の遡上・流下可能性を重視した式であ

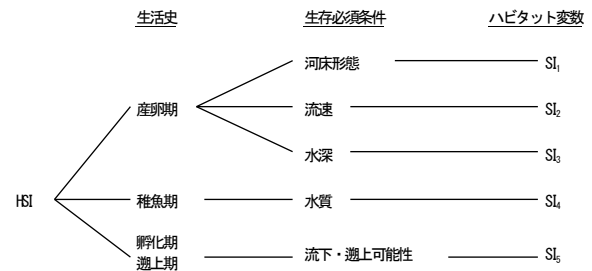


図4 アユのハビタット変数の設定

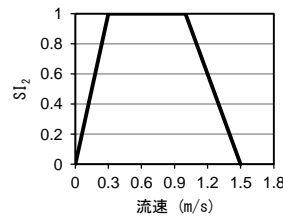


図5 SI₂ グラフ

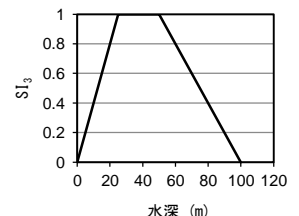


図6 SI₃ グラフ

表4 各案における瀬の数

区間	瀬の数 (個)					最大数
	案1	案2	案3	案4	案5	
A 河口から遙拝堰まで	0	0	0	0	0	0
B 遙拝堰から荒瀬ダムまで	11	16	16	20	20	20
C 荒瀬ダムから瀬戸石ダムまで	2	5	16	16	16	16
D 瀬戸石ダム湛水区間	0	0	0	0	8	8

※各案の詳細は表3の通りであり、それぞれの全過程が全て終了した時点での瀬の数を表している。

表5 各案における流下・遡上可能性

区間	流下・遡上可能性 (%)					最大値
	案1	案2	案3	案4	案5	
A 河口から遙拝堰まで	100	100	100	100	100	100
B 遙拝堰から荒瀬ダムまで	10	10	10	50	50	100
C 荒瀬ダムから瀬戸石ダムまで	0	0	10	50	50	100
D 瀬戸石ダム湛水区間	0	0	0	0	50	100

※各案の詳細は表3の通りであり、それぞれの全過程が全て終了した時点での瀬の数を表している。

$$HSI = \left[\left(\frac{SI_1 + SI_2 + SI_3 + SI_4}{4} \right) \times SI_5 \right]^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (式1)$$

る。HEPの評価ではさらにHSI値に面積(m²)を掛けあわせてものをHU(Habitat Unit)、HUをターゲットイヤーごとに足し合わせたものをTHU(Total Habitat Unit)、案ごとのTHU積分値がCHUとされる(田中, 2010)。

III 結果と考察

3-1 HEP 計算結果

HEPの計算はおおまかに質(HSI)、質×空間(HU)、質×空間×時間(CHU)のレベルに分けられ、後者になるほど良いとされるが、表1の通りCHU算出までを行った。表6、図7にターゲットイヤーごとのTHU算出結果を示した。CHUは図7のようにTHU算出結果をターゲットイヤーごとに直線補間しTHUの折れ線と時間軸で囲まれた部分の面積を求めたものとした。案5のCHUを100%とした場合の各案のCHU算出結果を図8に示した。案1(過去)の何もなかった場合に比べ、現実に行われている荒瀬ダム撤去の案3(将来C)は案1に比べ66%CHUが高くなることが予想された。

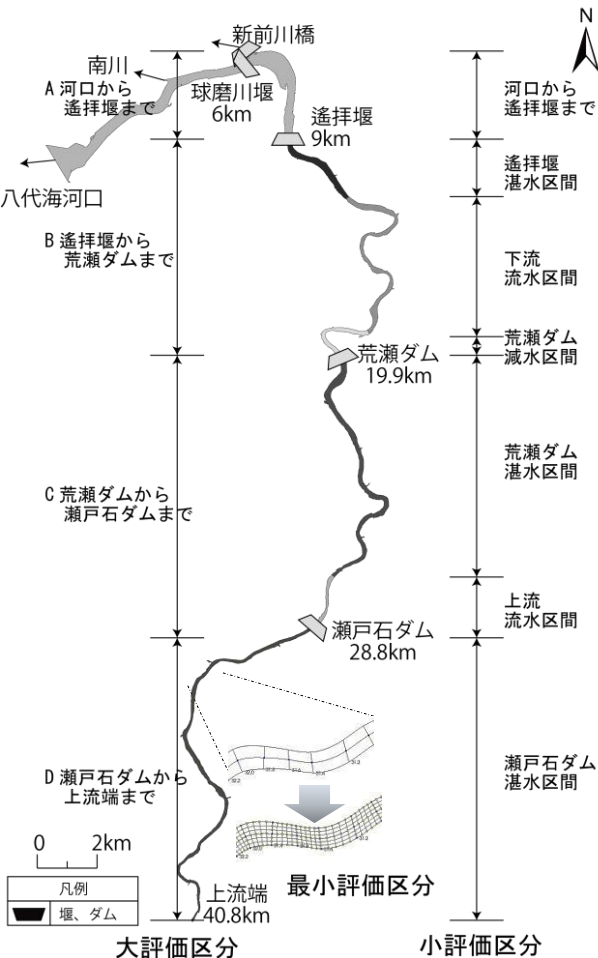


図3 HEPの評価区域と評価区分

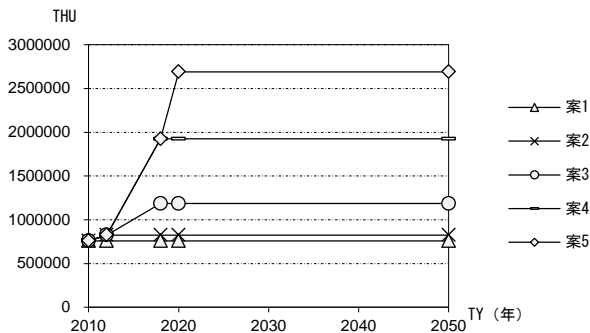


図7 THU算出結果とターゲットイヤーの関係

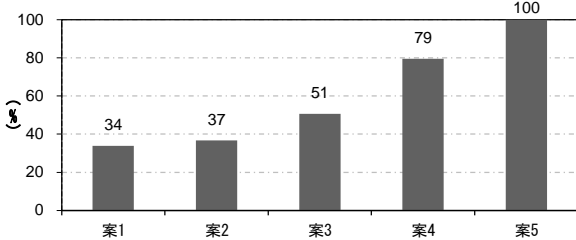


図8 各案のGHU算出結果 (案5を100%とした場合)

3-2 考察

以上の結果からダム撤去によるHEPを適用の可能性と課題について考察した。まず体制面については本研究の対象地は住民運動から荒瀬ダムの撤去がもたらされた経緯があり、住民の協力が得やすい状況にあった。また熊本県は荒瀬ダムフォローアップ委員会にて使用された資料をWeb上で公開しとても協力的であった。フォローアップ委員会では学識者から意見を聞きその後のモニタリング調査に反映させるような体制をとっており、もしHEPという議論が重要になってくる手法でも十分にその概念を取り入れて議論を行うことのできる可能性があるだろう。

次に今回のような評価の現実性についてであるが、難しいのは評価範囲と複数案設定であった。アユを評価種とし、その生活史のうち遡上と流下が重要であると考えた場合、評価結果のように荒瀬ダム撤去を単体で考えることは効果が薄いとと言えるだろう。しかし荒瀬ダムは熊本県の管轄であるが、遙拝堰は九州農政局、瀬戸石ダムは電源開発株式会社が管轄している。このことから横のつながりが無ければ、放流事業を前提とし遙拝堰から瀬戸石ダムまでの区間で評価範囲を設定し、複数案も撤去の工法やそれに付随する環境保全措置で留まってしまう。アユ自体は球磨川を代表する種であることはインタビュー調査から明らかであるが、毎年3~5月に行っている球磨川堰での稚鮎すくい上げと、流域30カ所近くでの放流事業が常とするならば今回掲げたような「河川の連続性」という指標はなくなってしまうかもしれない。ただ、現実問題としてアユの専門家のお話では人工的に遡上させたとしても卵から孵化した直後の仔魚は3日以内に流下しなければならないため遙拝堰やダム湖は障害になるとのことであった。そのため人工遡上させている現在の状況をとっていても遡上のみならず「流下」という指標を掲げれば評価の妥当性は高くなるだろう。

課題としてはダム撤去における影響の再現性が挙げられる。河川構造物として動物種の移動を妨げていること以外にも溜まっている土砂の撤去の仕方の違いによる複数案の評価事例は米国のマティリハダム撤去HEP評価にも伺える(田中, 2012)。

また、ダム運用時のダム湖の水が下流に流れることによる影響とそれがない場合の違いが困難であった。平地の評価と異なり河川の評価はHEPのHSIモデルによる評価に類似した手法としてIFIM (Instream Flow Incremental Methodology) のPHABSHIM (Physical HABitat SIMulation) が挙げられるが(中村、テリー、1999)、今回の評価はそれを参考に行った。しかしカバータイプを細分化して評価を行うには評価対象範囲が広すぎ、水質などおおよっぱな評価を行ったものと一緒くたにするとその計算の効果が薄かったように思える。

実務で使用されるには評価の再現性や妥当性を上げることが重要であると考えられるが一方で細かすぎる評価を行ってもどれだけの正当性があるかは常に問題であり、バランスのとれた評価を行うことが求められるだろう。そういったことから本事例は日本で初めてのダム撤去事例であり、そのフォローアップをHEPのような手法で定量的に行うことは今後のダム撤去事業に活かせる部分が多いと考えられる。今までは造る際の環境アセスメントに定量評価が必要であるとされてきたが、今後は老朽化が進む構造物の改修や撤去にもこのような定量評価が必要とされるのではないだろうか。

謝辞

遙拝堰の改修について、またアユのHSIモデル作成を行う際にたかはし河川生物調査事務所の高橋勇夫氏に大変貴重な御意見を頂きました。球磨川漁協、熊本県企業局、国土交通省八代河川国道事務所には対象地域には関する情報、荒瀬ダム撤去問題に関する情報など様々な貴重な情報を頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。

引用文献

- (1) 荒瀬ダム対策検討委員会 (2004) 第5回ダム撤去工法専門部会
- (2) 上村雅文、永田幸也、岸良武志 (2010) 球磨川下流地区のアユについて。九州国土交通研究会。
- (3) 大島正満 (1956) 球磨川荒瀬堰堤が鮎の生態に及ぼした影響。魚類学雑誌, 1 (2), 1-11.
- (4) 科学・経済・環境のためのハインツセンター (2004) ダム撤去。青山己織 (訳), 株式会社岩波書店, 東京都, 298pp.
- (5) 田中章 (2004) HEPの特徴と今後の展開-どうして今、HEPなのか?-。第17回バイオリージョンGIS研究会HEPとGIS, p2.
- (6) 田中章 (2012) HEP入門 (新装版) - (ハビタット評価手続き) マニュアル-Theory and practices for Habitat Evaluation Procedure (HEP) in Japan. 朝倉書店, 東京都, 280pp.
- (7) つる祥子 (2003) 日本初のダム撤去宣言-荒瀬ダム撤去の経緯と今後の課題-。環境と公害, 33 (1) .
- (8) つる祥子 (2009) 球磨川流域の再生を考える 水の循環が人・経済をつなぐ。BIO-City, 42, 105-107.
- (9) つる祥子 (2012) 日本初のダム撤去の現場からの報告 荒瀬ダム撤去の現場からの報告 荒瀬ダムのこの1年 (2) -2011年 撤去開始前の1年間の動き-。不知火海・球磨川流域圏学会誌, 6 (1), 47-50.
- (10) 中村俊六・テリーワドゥル (1999) : IFIM入門、アメリカ合衆国内務省/国立生物研究所発行、(財) リバーフロント整備