

[特別講演]
生態水理学の現状と課題

水理委員会委員長
東京工業大学工学部土木工学科教授

池 田 駿 介

土 木 学 会
水 理 委 員 会 ・ 海 岸 工 学 委 員 会
2000 年 8 月

The Present Status and Future Subjects of Eco-Hydraulics

池田 駿介
Syunsuke Ikeda

1. 生態水理学成立の背景

我が国では戦前から治水事業が続けられ、その結果、1970年代には水害による経済的損失は国民所得の約0.2%にまで減少した。この値は、約10%の人口が河川氾濫域に住む米国と同じ数字であり、人口の約半分が同様な地域に住む我が国で如何に治水が成功したかを物語っている。しかし、河川や圃場の整備は、生物の生息域に対して深刻な影響を及ぼし、かつては普通に見られた生物が絶滅危惧種に指定されるなどの事態を招いている。国民生活の安定と意識の変容に伴い、河川に対する国民の要求も変化し、洪水対策から環境の重視へと移りつつある。

このような変化を敏感に察して、生態水理学(Eco-Hydraulics)が1977年に最初に提案された(日野, 1977)。しかし、この提唱も我が国では評判が悪く、むしろヨーロッパなどの外国で評価された。このようなことは、筆者も経験したことがある。後で述べる河川での1次生産に関連した研究は、河川工学とどのような関係があるのかとわずか数年前に質問された。現在のこの分野の研究の活発さから考えると、隔世の感がある。

生態水理学と称するからには、生態と何らかの関係がある水理学の体系でなければならない。このとき、生態そのものを水理学的に取り扱う分野と、生態を育む生息環境を取り扱う分野に分けることが妥当であろう。前者は、魚道における流れと魚の動き、植生や藻類などに関する水理学的取り扱いが挙げられる。また、後者は、生態を意識して生態水理学を名乗る以前から水理学の分野では活発に研究がなされてきた。例えば、生態系が存在する基盤を構成している河床堆積物、その輸送、瀬と淵に関連する交互砂州、蛇行など、土砂輸送や河床、河道形態に関するものである。また、構造物に関しては、ワンドに関連する水制、沈床、魚道などが挙げられる。水理学では、生態系を意識していなかったために、かつてこれらの課題は純粋に力学的問題として取り扱われてきたが、今後これらの蓄積を生かして生態系を意識した水理学体系に発展させる必要がある。

以下では、この3つの分野に分けて取り扱う。

2. 生態に関する水理学的取り扱い

2.1 1次生産

例えば、河川の生態系は、図1に示すように栄養塩類を食物とし、光合成により藻類や植物性プランクトンなどの有機物を生産するいわゆる1次生産によって支えられている。河川工学では、これまで瀬と淵が形成されると一般に魚類が増えるというシナリオが描かれてきたが、その因果関係は学術的に詰められていない。生態水理学では、このような因果関係を明らかにすることが、その役割であると考えている。すなわち、図1の1次生産とその上位へと続く食物連鎖の枠組みを明らかにしなければならない。この種の

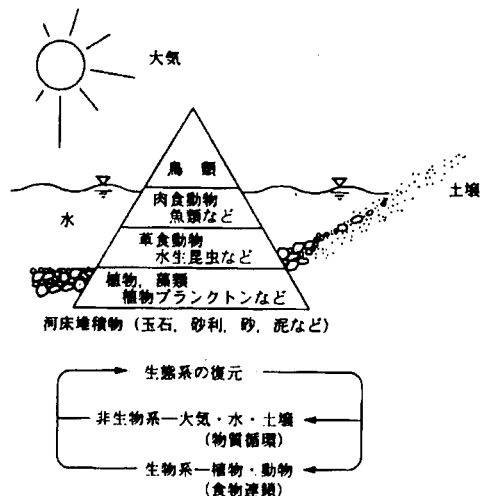


図1 河川水域の生態系(杉山・福留, 1999)

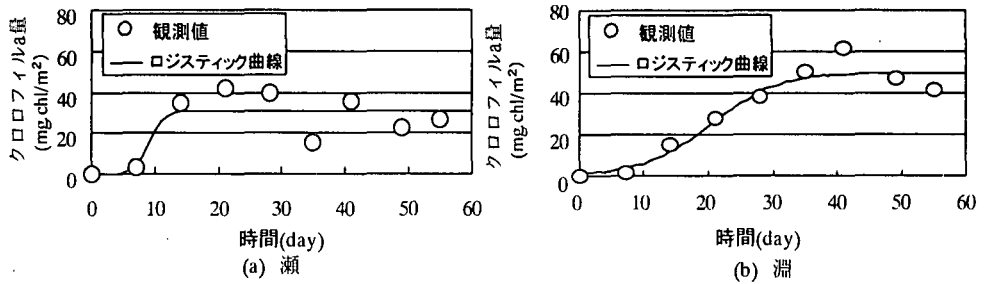


図2 河床付着藻類の増殖過程

表1 付着藻類生育実験における水理条件

	水路勾配	平均流速(cm/s)	平均水深(cm)	Fr	Re	摩擦速度(cm/s)
水路1	1/500	9	3.5	0.15	3.9×10^3	0.73
水路2	1/285	13	2.7	0.25	4.3×10^3	0.99
水路3	1/138	51	1.8	1.21	1.1×10^4	2.57
水路4	1/68	71	1.5	1.85	1.3×10^4	3.15

研究は、水理学の分野ではその端緒についたばかりである。

例えば、瀬と淵では藻類の増殖速度が異なっており（図2）、その違いは主に水深差に起因する光の到達度の差によると考えられてきた。しかし、実験室で光度を一定とし、流れの速度を変えて実験を行ってみると、増殖速度に明らかな差が生じることが分かった（表1、図3）。この理由は恐らく礫などの河床堆積物周辺の流れの構造の差、特に乱れ、に原因があるように思われる。すなわち、栄養塩類が藻類

などの植物体に取り込まれる割合が、乱れの拡散作用の差異により異なっているのではないかと推論される。しかし、この関係は複雑であって、流れの掃流力が增大すると藻類の剥離が増え、しかも輸送される土砂の衝突などによっても剥離が増大すると考えられる。従って、増殖速度が極大となる水理条件が存在すると考えられる。これらの現象は、特に、高次乱流モデルの応用の場として発展性が高い。

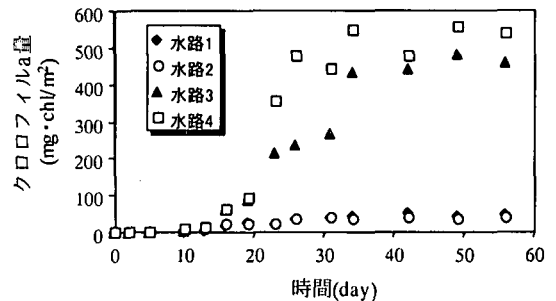


図3 実験水路における付着藻類の増殖過程

2.2 植生の水理

2.2.1 沈水性植生と流れ

水理学の分野では、古くから流水内の植生の揺動が日野(1977)、室田・福原(1983)、により取り扱われてきた。これらは、主に可撓性を持つ沈水性植生を対象としたものであり、揺動に伴う乱流構造の変化と付随する流れの抵抗変化の解明を念頭においたものである。日野によれば、秋田平野の米は山から吹く風が強い年は出来高が多いそうである。このことは、恐らく大気内の炭酸ガス取り込み、植生層からの水分蒸散が風と相関性が高いことと関連があるように思われる。

稲は穂波という揺動を起こすことがよく知られており、穂波を引き起こす主な原因は、植生と大気境界に形成される速度分布の変曲点不安定である（池田ら、1998）。穂波の存在と熱、物質の交換が密接な関係にあることは、図4から強く示唆される。図は、サーモグラフィーと呼ばれる装置を用いて植生層（この場

合の植生はアシ)の時空間変動を捉えたものである。植生層の温度が穂波の通過に伴って変動している様子が捉えられている。事実、物質交換が促進されることは、図5に示されている鉛直風速変動と炭酸ガス変動、水蒸気変動の相関図から明らかである。この風速変動は超音波風速温度計、炭酸ガス・水蒸気変動は赤外線式炭酸ガス・水蒸気計

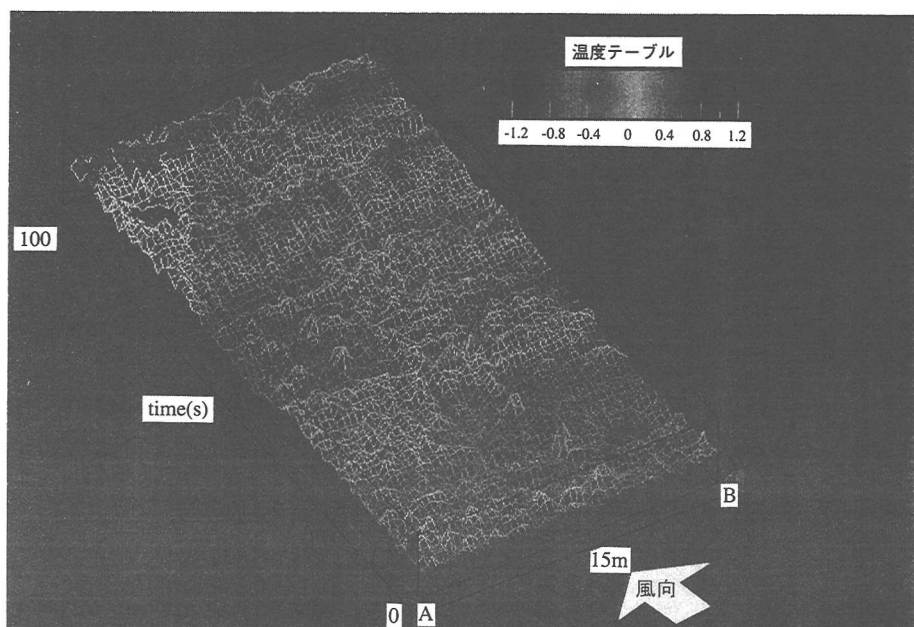


図4 植生頂部の温度の時空間変動 (A-Bが空間軸(15m))

(測定間隔: 8Hz) で測定されている。鉛直風速と炭酸ガスは弱い負の相関 (大気から植生層への取り込み)、鉛直風速と水蒸気は明瞭な正の相関 (植生層から大気への輸送) が見られる。

このような物質交換は、当然沈水性植物でも行われていると考えられる。LESを用いた乱流と植生の振動の相互干渉を考慮して揺動現象の物理的解明が行われているが (池田ら、1999)、沈水性植物に関連して微細土粒子、窒素、磷、炭酸ガスなどがどのように交換されているかは不明であり、今後の研究が待たれる。また、浮遊土砂の沈降、浮上に沈水性植生がどのような影響を与えているかも興味深いところである。

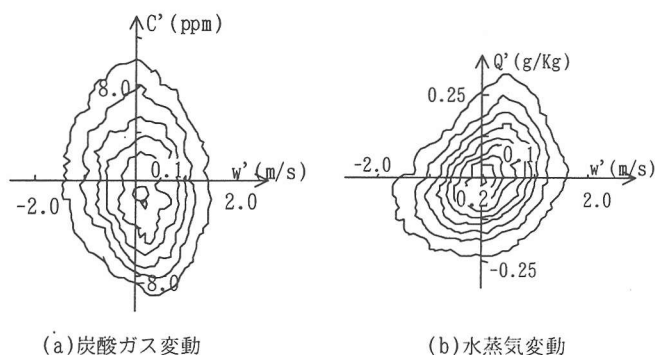


図5 鉛直方向風速変動と物質濃度変動の相関図

2.2.2 抽水性植生・河畔林と流れ

河岸、河畔に生えるアシなどの抽水性植物やヤナギなどの河畔林は流れの速度を減少させ、栄養塩の取り込みや土砂の堆積に大きな役目を担っている。

このような場合も、前述の変曲点不安定に起因する大規模な水平組織渦が運動量、物質輸送に大きな役割を果たしている。図6は1981年の利根川洪水で観測された大規模水平渦群である。ここは、複断面であると同時に低水路河岸に沿って河畔林が存在している。このことにより、低水路内主流部と高水敷部で流速差が生じ、不安定性により水平渦が形成されたと考えられている。図7は複断面水路低水路河岸に模擬植生を設置して行った実験をアルミ粉を用いて可視化したものである。水平渦の存在が確認できる。

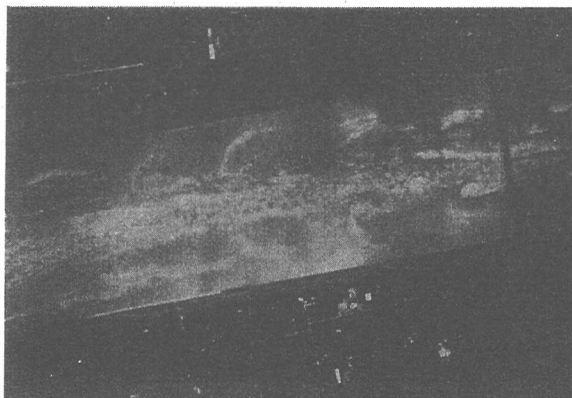


図6 実河川における水平大規模組織渦群 (1981年, 利根川)

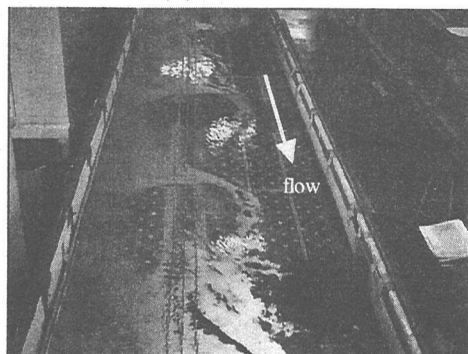


図7 低水路河岸に植生を有する複断面開水路に発生する水平組織渦 (アルミ粉により可視化)

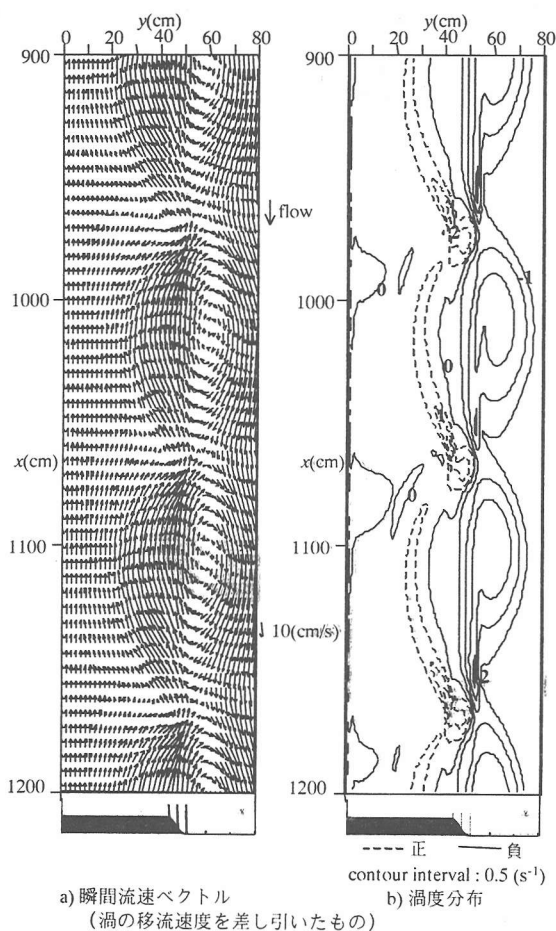


図8 低水路河岸に植生を有する複断面開水路流れの瞬間構造

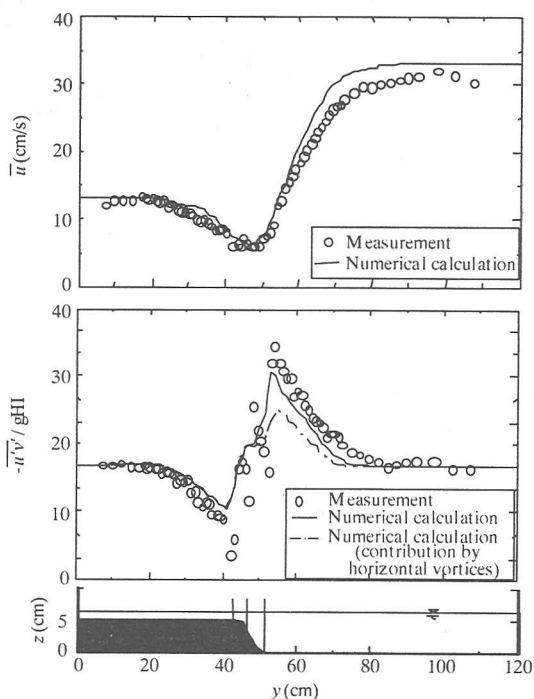


図9 時間・水深平均流速と水深平均Reynolds応力

水平渦は運動量や物質の横断方向輸送に大きな貢献をしていることが予想される。このことを確かめるために、SDS-2DH 乱流モデルを用いて再現計算を行った。このモデルは、水深スケール以下の Sub-Depth Scale 乱れについては、1 方程式モデルを用い、水平渦のような 2 次元的大規模乱れについては、水深平均された運動方程式と連続式を直接積分して非定常性を有する流れを直接解

くものである（灘岡・八木、1993）。

図8は、図7の条件に相当する流れのある瞬間像を表したものである。水平渦のスケールや発生周期がよく再現されている。この場合の水深平均流速分布と Reynolds 応力が図9に示されている。植生帯を挟んで流速が減少し、Reynolds 応力の大部分（約70%）は、大規模水平渦によって引き起こされていることが理解できる。

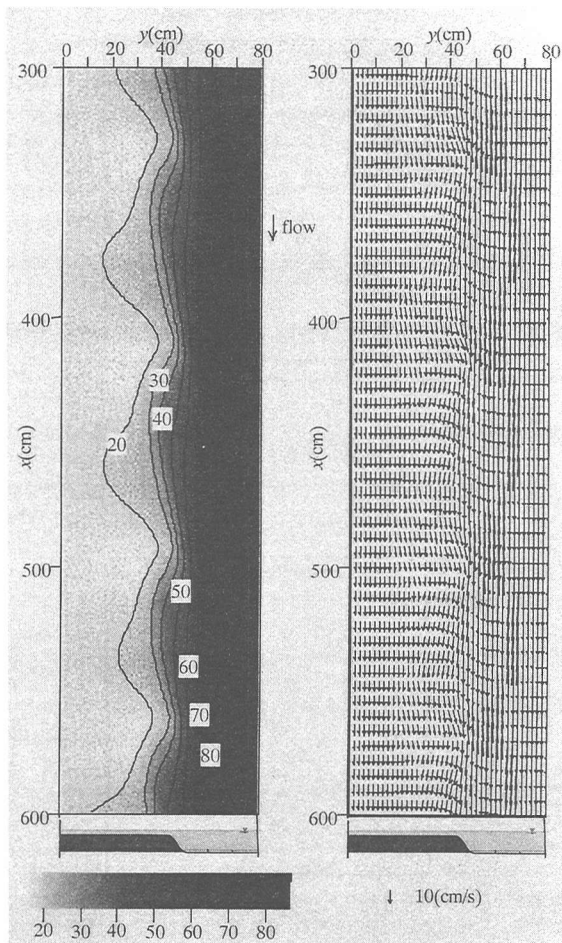
このことは、水平渦が低水路から高水敷に向かって浮遊土砂を盛んに輸送するであろうことを予想させる。河床底面での巻き上げ・沈降を定式化し、浮遊砂の輸送方程式と前述の乱流モデルを組み合わせ、得られた浮遊砂濃度の瞬間像が図10である。水平渦によって、低水路内の高濃度水が高水敷に向かって渦巻くように輸送され、また高水敷上の低濃度水が吹き出すように低水路に向かっていく。このとき、河床面での堆積・沈降量差を取ると、植生帯に近い低水路内で洗掘が生じ、植生帯内で盛んに堆積が生じることが分かった。

2.2.3 河畔林が河道に及ぼす影響

河畔林が低水路河岸に沿って存在すると、河道水面幅が減少し、水深が増大することが知られている（Andrews、1984）。このように植生は河道形態にも影響を及ぼす。このメカニズムは、いわゆる礫河川と砂河川では異なっている。

(a) 礫河川

砂礫が掃流による輸送されている河川を礫河川とよぶ。このような河川が動的に安定であるためには、図11(a)に示されるように境界点Jを境として砂礫が輸送される中央部と静的安定状態にある側岸部に分けられる。中央部で横断方向に傾きがあると重力の作用により、横断方向土砂輸送が生じ、河床は平衡とならないことから、中央部は横断方向に平坦でなければならない。ここで、横断方向に乱れによる運動量輸送（拡散）を考えれば、底面に作用する底面せん断力の再配分が生じ、丁度J点で限界掃流状態が生じる。このことから、安定水深を求めることができる。ところで、側岸部では静的安定状



(a) 浮遊砂濃度の瞬間分布(ppm) (b) 瞬間流速ベクトル

図10 水深平均浮遊砂濃度の瞬間分布と瞬間流速ベクトル

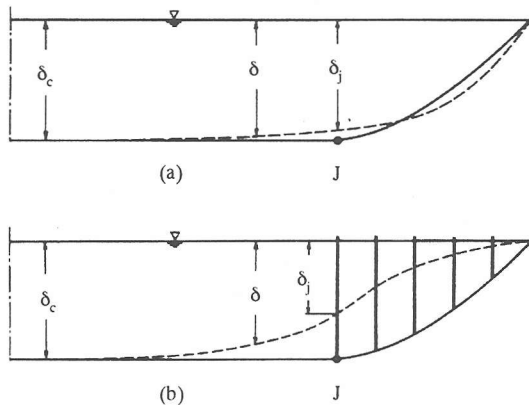
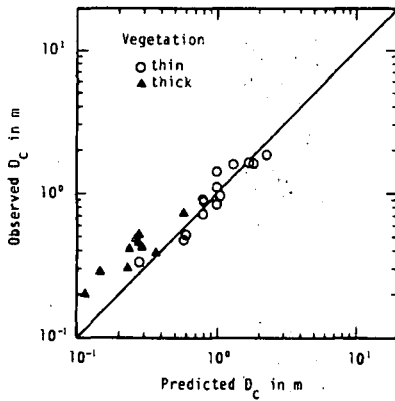
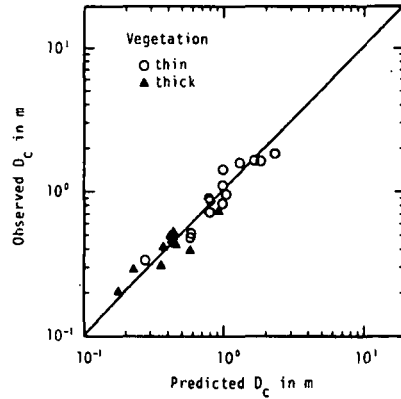


図11 礫床河川の横断面模式図 (a)植生無し、(b)側岸部に植生を有する場合

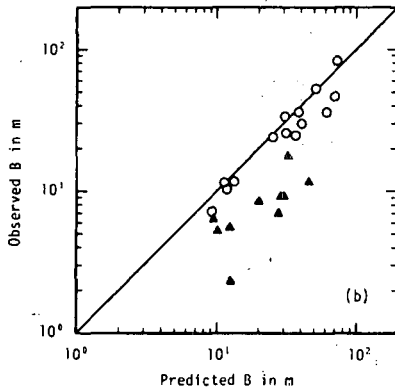


(a) 植生の効果を無視した場合

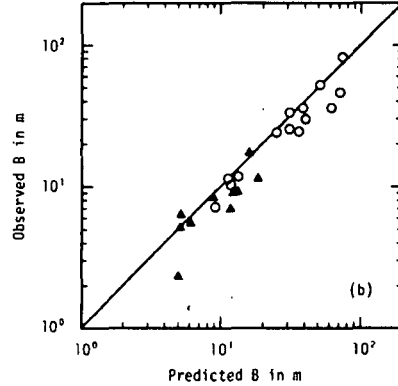


(b) 植生の効果を導入した場合

図12 理論値と測定値の水深の比較



(a) 植生の効果を無視した場合



(b) 植生の効果を導入した場合

図13 理論値と測定値の川幅の比較

態であるから、植生が生じ得る。ここに河畔林がある場合を考えると、河畔林が流水の抗力を受け持つので、側岸部河床面に作用するせん断力はその分減少する（図 11(b)の破線）。先ほどの、乱れによる運動量再配分と河畔林が受け持つ抗力を考慮して河床面せん断力分布を求め、J 点で限界掃流力が生じる条件を付与すると、中央部での安定水深を求めることができる（泉・池田、1989）。さらに、河道全体での運動量に釣り合い式を用いると、水面幅を求めることができる。

図 12(a)は、先述の Andrews のデータを用いて、植生の影響を無視した理論値と測定値を比較したものである。植生密度が高い場合（thick vegetation）では、測定値の方が水深が明らかに大きい。一方、植生の効果を入れた理論値（図 12(b)）は thick vegetation、thin vegetation にかかわらず、測定値との一致度がよい。図 13(a)、(b)は、同様に水面幅について比較したものである。植生があると水面幅が減少し（図 13(a)）、植生の効果を導入すると理論値は測定値をよく表すことが知られる（図 13(b)）。

(b) 砂河川

砂河川では土砂は浮遊状態で輸送されるので、河道断面形の形成メカニズムは礫河川とは異なる。図 14 に示すように、河道中央部で巻き上げられた浮遊砂は、乱れにより河岸に向かって拡散輸送され、河岸部で

沈降する。河岸部河床では、横断方向への傾きにより掃流砂形式による土砂輸送が河道中央部に向かって生じ、これらがバランスして河道断面形が定まる（泉・池田、1991）。

河岸部に河畔林が生えたりや杭などの水制が設置されると沈降が促進され、礫河川と同様に水深が増大し、水面幅が減少する。ミズーリ川では、この作用を利用して土砂を河岸部に堆積させ、人工浚渫を行わずに水深を維持させている。図 15 は以上の定性的議論を定式化し、ミズーリ川に適用したものである（泉ら、1997）。

2.2.4 植生が土砂、栄養塩などの物質循環に与える影響

(a) 礫河川

河川高水敷に生育する植生は、高水敷土壌中の水分や栄養塩類を摂取し、その生理活動を行っている。洪水時には流れは多量の物質を輸送し、植生はその流れに影響を与えることによって物質循環に影響を与えている。また、河畔林はこのように摂取した栄養塩類を基に光合成を行い、葉・枝などのリターにより有機物を河川に供給し、それを餌とする昆虫類（水棲含む）を育てている。

ここでは、多摩川上流の礫床区間で行った観測による結果を示す。図 16 は、観測地の等高線、表 2 は観測項目である。観測期間中の出水に伴い、出水時には高い全リン(T-P)濃度が見られたが、磷酸態リン(PO₄-P)は平時と同等の濃度であった。このことから、出水時には土砂に吸着したリンや有機物中に含

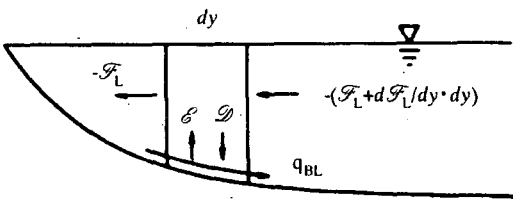


図14 砂河川における横断方向土砂輸送

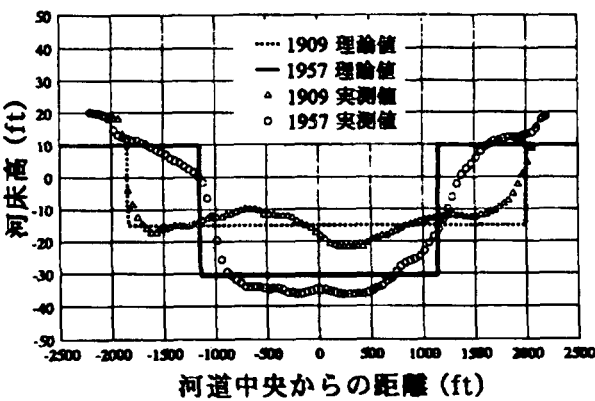


図15 ミズーリ川における水制設置前後の河道横断面形状の変化の実測値と理論値の比較

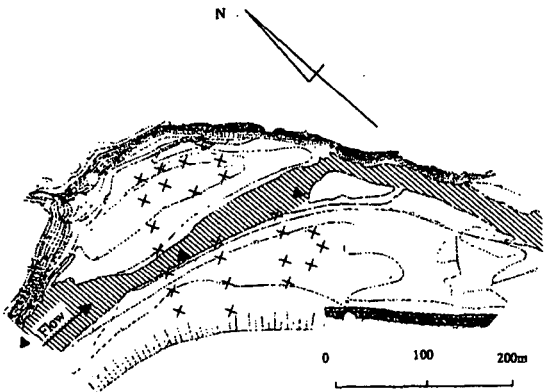


図16 観測地の平面図と観測点の配置（東京都多摩川）

表 2 観測項目

項目	場所	測定法, 測定機材	測定日
地形	観測域全域	レベル, 平板	7/22
水質 (栄養塩濃度, SS 濃度, 強熱減量)	図 16 中▲印	採水, 分光光度計	7/21～7/22 : 3 時間間隔 8/28～8/30 : 2 時間間隔 9/15～9/17 : 2 時間間隔 他の期間 : 1 週間間隔
植生分布	観測対象高水敷全域	現地踏査	7/22 (出水前), 10/14 (出水後)
土壌 (強熱減量, リン含 有率)	図 16 中×印	土壌採取後分析	7/22 (出水前), 10/14 (出水後)

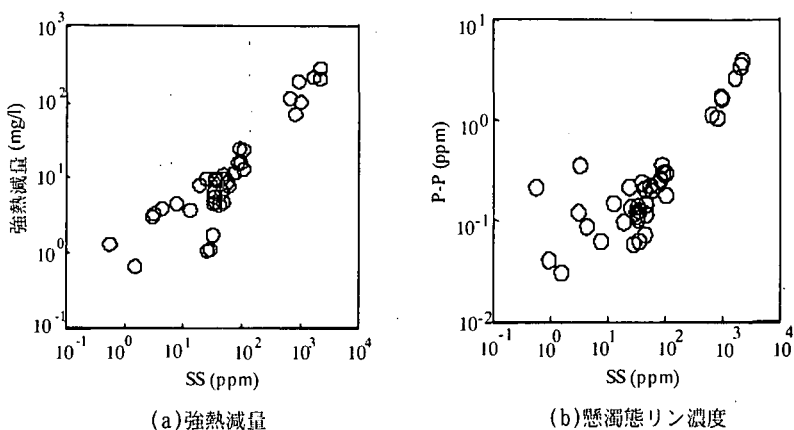


図17 洪水時の濁質中の物質濃度

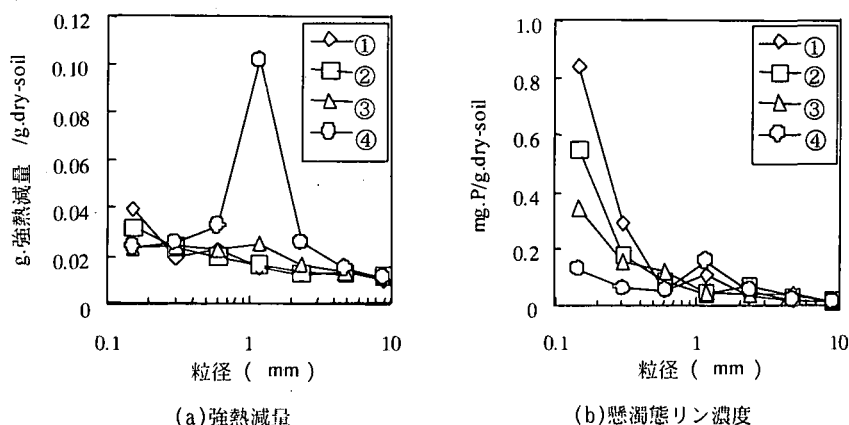


図18 粒径別物質含有量

有されたリンの輸送が顕著に生じることが分かる（戸田ら、1999）。全リンから燐酸態リンを差し引いたものを懸濁態リン(P-P)として、SS との関係を見たのが図 17(b)である。図には有機物量を示す強熱減量と SS の関係（図 17(a)）とともに示されている。懸濁態リンや有機物濃度は、SS と強い相関があり、従って土砂輸送により輸送されていることが分かる。また、これらが土砂の粒度分布とどのような関係にあるかを調べたところ、図 18(a)、(b)に示されるように、特に細粒分強く強く吸着されていることが分かった。つまり、植生の存在により微細な土砂の堆積が促進され、植生はそれに含まれる栄養塩類を利用して生育することが示唆される。これらの物質循環を総合的に取り扱えるシミュレーションモデルの開発が必要である（戸田・池田、2000）。

(b) マングローブ

最近、マングローブ河畔林は熱帯・亜熱帯沿岸域生物の生息場、黒潮などに対する栄養塩類供給の場として重要視されている。マングローブは、ヤエヤマヒルギ、オヒルギ、メヒルギ、ヒルギダマシ、マヤブシキ、サキシマスオウノキなどの塩分耐性を有するマングル（植物群衆）の総称であり、水温が 16℃以上の汽水域に育つ。

ここでは、沖縄県石垣島南西部に位置する名蔵川下流約 1km に生育するマングローブの水理と物質輸送について述べる（図 19）。ここでは、河口に近く塩分濃度が高い領域にはヤエヤマヒルギが優占種であり、そのやや上流には高さ約 5m に達するオヒルギの純林が育っている。図中、ハッチが施されている部分がス

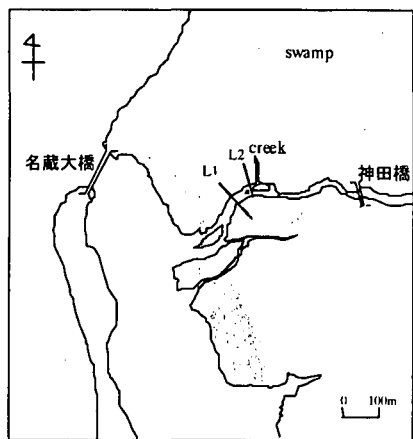


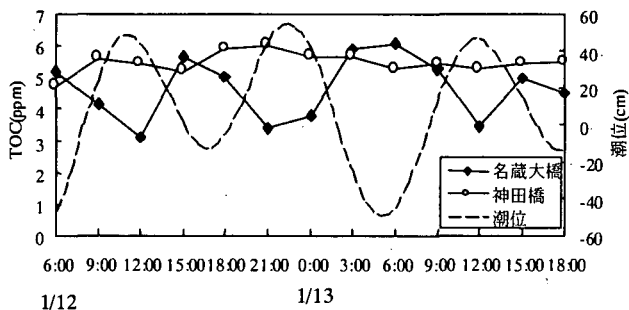
図19 観測地平面図（沖縄県石垣市名蔵川河口部）

ワンプ(swamp)とよばれる領域で、海水の影響を受けており、マングローブ林が広がっている。また、このワンプ内には、クリーク(creek)が多数存在し、この水路を通じて水の排水、海水の進入が生じている。また、このワンプ表面は、河川主流部河床面よりも全体的に50~100cm程度高い。従って複断面形を有し、その高水敷に河畔林が育つという構造になっている。

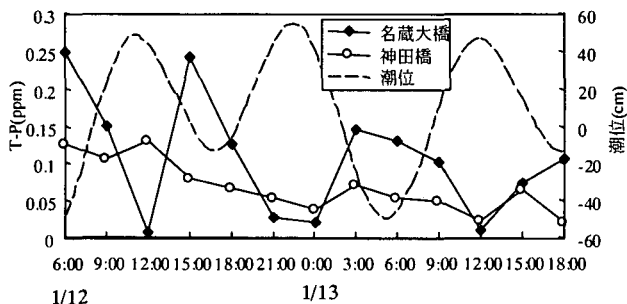
図20(a),(b)は、それぞれ流水中の全有機炭素濃度および全リンの濃度変化と潮位の関係を調べたものである。感潮域最上流部にある神田橋では、これらの濃度が殆ど変化しないのに対し、マングローブの影響を受ける名蔵大橋では、潮位が高い時間帯（流れが上流に向かう）では有機炭素や全リン濃度が低く、潮位が低い時間帯（流れは下流に向かう）では濃度が高い。すなわち、ネットの物質輸送が下流に向かって生じており、栄養塩類がマングローブから供給されていることを示している。また、河川主流部とワンプ内で土砂を採取し、粒度分布・強熱減量などを調べた。河川主流部では中央粒径が0.3~0.5mmであったが、ワンプ内では粘土・シルトであり、粒径の差異が目立った。強熱減量の分布を図21に示す。ワンプ内では強熱減量が10%にも達する場所があり、マングローブ林からの落葉、根などにより有機物が供給されていることが分かる。

(c) 土砂生産

土砂水理学の内、論理体系が不十分で最も予測が困難であるのが、土砂生産である。しかし、植生（森林）と近くの河川水の土砂濃度(SS)の関係を調べた例はあり、興味深い関係を示す。図22は森林被覆率と河川土砂濃度の関係を調べたものである。森林率が50%を切ると土砂濃度は急激に増大する。また、森林率が



(a) 全有機炭素濃度



(b) 全リン濃度

図20 マングローブ水域上・下流部における水質の時間変動

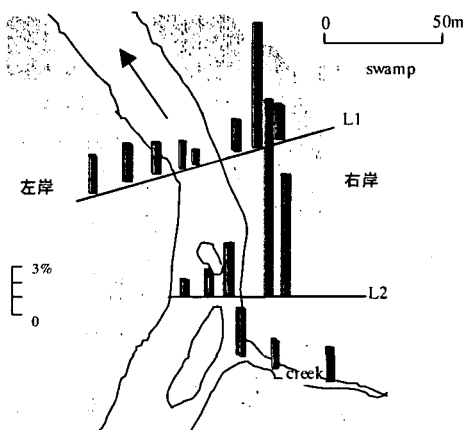


図21 マングローブ域底質の強熱減量

100%近くでは濃度の差異が小さいが、20%程度になると濃度の相違が大きい。これは、森林帯が流域でどのように配置されているかによって河川に流入する土砂量が影響を受けることを示唆している。つまり、森林帯が河川に沿い、配置されている場合にはフィルター効果によって土砂およびそれに吸着されている栄養塩類を効率よく除去できることを示している（池田ら、1993）。これらは、土砂水理学の今後の重要な課題であると考えられる。

2.2.5 植物の流体力学

蒸発散作用などの植物生理そのものを流体力学的に取り扱うことが行われるようになっていく。神田・日野(1990)は、日射によるエネルギーを駆動力として、葉からの蒸散、植物体内の水分輸送、土壌から根への水分移動、を定式化し、これらを連結して土壌・植生・大気間の水分・熱輸送を統合した流体力学モデル(NEO-SPAM)を構築している。これらは、ヒートアイランドなどの微気象に対して与える植物の効果などを研究する上で有用なツールになると考えられる。

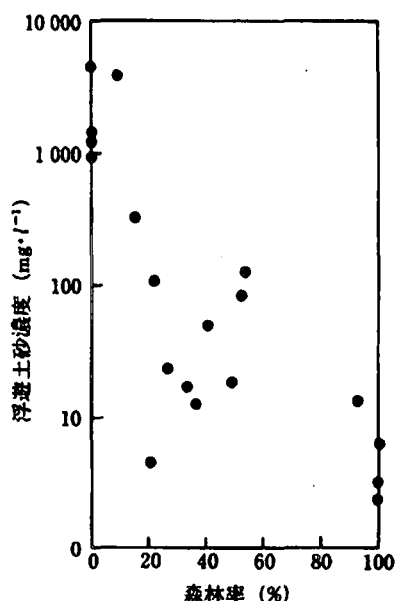


図22 森林率と河川の土砂濃度の関係の一例

3. 土砂輸送、河床形態に関する生態水理学

3.1 土砂輸送

従来、水理学の分野での土砂輸送の研究は、主に混合砂礫の場合を含めて流下方向への土砂輸送量の予測にあったと言ってもよい。このため、同じような土砂輸送量予測式が数多く提案されたが、どれも決め手に欠いている。

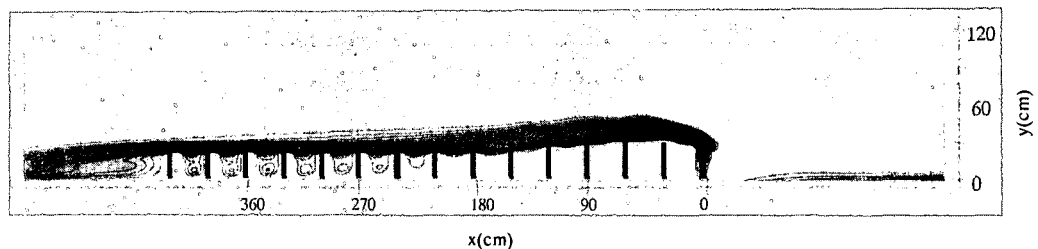
一方、生態系との関連で見ると、混合砂礫の局所的分級(sorting)、沈み石・浮き石の状態の予測、洪水時における河岸・氾濫源への堆積などより詳細な土砂輸送過程の解明と予測が求められる。

また、ダムや堰で遮断された土砂輸送の連続性を確保する方法の土砂水理学的研究と技術の確立が必要である。これらの構造物下流ではアーミングが生じ、細粒分が減少して生物の生息場所としての多様性が失われ、環境劣化が生じる。最近、ダムにおける新たな土砂管理システムとして、ダムバイパス放流設備に関する技術開発（奥吉野発電所）が行われ、その解決のための第1歩が踏み出された。下流側では、かつての粒度分布を持つ河床が形成され、生物類の増加が報告されているという。このような技術については、セルフブライミング、土砂による閉塞防止・摩耗防止など、管路内の土砂輸送に関する知見が求められる。これらについての研究を期待したい。

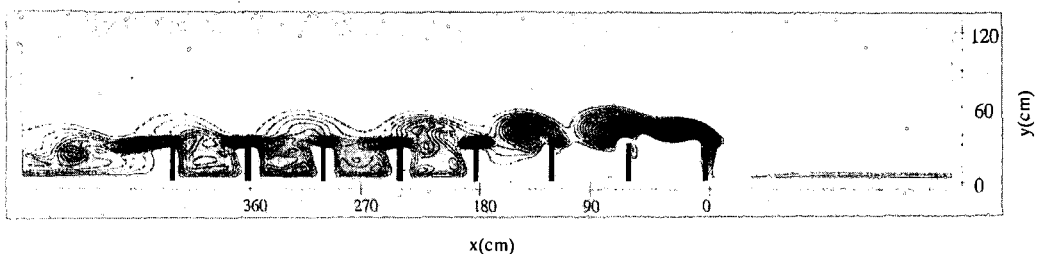
3.2 河床形態

このテーマは従来、水理学の分野では我が国では主流とされ、砂漣、砂堆・反砂堆、交互砂州、蛇行の理論などが華々しく展開され、その波長・波高などの形態、形成領域などに関して世界に誇るべき成果が挙げられた。しかし、その精緻な体系は力学のみに関しており、生物などは一切考慮されていなかった。このため、これらの河床形態が、瀬と淵に代表されるように、生物の多様な生息空間を構成しているという概念が1990年代に提唱されると、その力学体系に関する興味が失われてしまった。

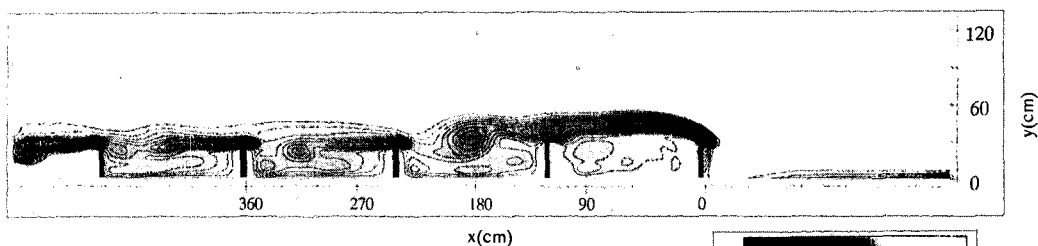
生物を対象とする場合、植物では砂州などでの立地条件（流出含む）、稚魚の生息場所となるような固定砂



(a) Run 1 ($d/l=1.0$)



(b) Run 2 ($d/l=2.0$)



(c) Run 4 ($d/l=4.0$)

図23 水制群を有する開水路流れにおける渦度の瞬間分布

州背後の小水面や河岸の小凸凹の存在、鮭類の産卵場となる砂州背後の湧水部、あるいは段落ち流れ部の地下水、瀬と淵における大小の礫の配置とその周辺の流れの微細構造（池田ら、1998）など、よりきめ細かな把握が必要である。例えば、アユ釣りは瀬も多様な呼び方で分類している。これらはアユの生息場所を経験的に分類しているものであり、水理学的にも解明され得るものであろう。河床形態生成に関する基本的理解は水理学の分野で進んでいるので、今後は乱流モデルの発達などを取り入れ、これらの微細構造の体系的把握が望まれる。

4. 河川構造物に関する生態水理学

4.1 ワンド、水制

戦後長い間、水制やそのような構造物が作り出すワンドは、流水に抵抗を与えるものとして極力排除されてきた。しかし、現在では構造物周辺に生じる速い流れと局所洗掘、構造物背後の土砂堆積などが造り上げる複雑な空間構造は、治水上安全性を損なわない限り、生物にとって生息空間を提供する場として重要であることが認識されるようになった。

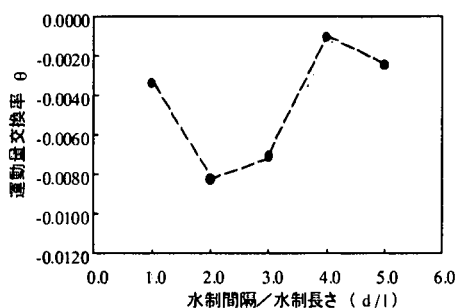


図24 平衡領域における運動量交換率

(a) 水制

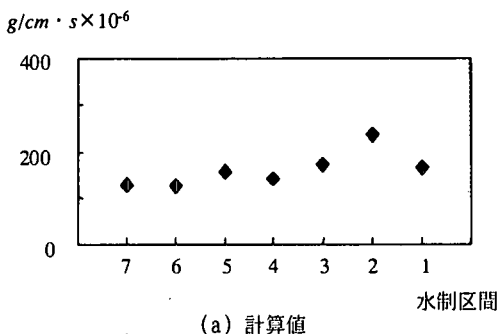
ワンド・水制として有名であるのは、オランダ人お雇い外国人であるデ・ライケ(de Rijke)が設計・施行した淀川および木曽川の水制群である。これらの水制群の間には、土砂が堆積し、植物が繁茂して良好な生物生息空間を産み出している。ワンド・水制の水理学は、近年急速に進展している。これは、乱流モデルおよびコンピュータの発達と密接な関連がある。水制周辺の流れは、水制先端からの剥離渦の発生、水制域への運動量・物質輸送などに特徴付けられる。従って、これらの剥離渦の発生・再付着、水平渦の挙動、それに伴う土砂の輸送が再現されなければならない。このためには、時間平均流れのみではなく、水平渦の時間的挙動を取り扱わなければならない。このような水平渦は、厳密には3次元性を有するが、実験によりその構造を調べるとその主要構造は2次元として取り扱ってもよいことが分かった(池田ら、2000)。このことから、前述の SDS-2DH モデルを用いて解析することが出来る。

図 23 は、水制間隔・長さ比 (d/l) を変えて計算を行った結果である。 d/l が 2 の場合、水平渦はその構造を変化させずに流下している。このとき、水制先端を結ぶ線上で単位長さ当たり運動量交換率を見たのが図 24 である。これから、 d/l が 2~3 の場合、負の運動量交換が大きいことが分かる。すなわち、流速の低減効果が最も大きい。この結果は、従来 d/l が 2~3 の水制が多いという経験則と一致している。また、時間的流速分布の計算結果は、測定値とよく一致していた。図 25 は、さらに浮遊土砂の輸送方程式を組み込み、水制内での土砂堆積を求めたものである。2次元計算であるにも関わらず、測定結果を概ね表現している。

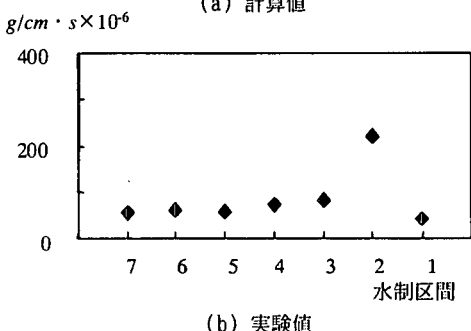
(b) 堰、魚道

我が国の河川には堰が非常に多い。これは、我が国では扇状地河川など急流河川が多いこと、また水をせき止めて灌漑用水として利用してきたことと深い関係がある。このため、本来生物にとってコリドーであるべき河川で生物の往来が遮断されている。また、水田圃場整備に伴って河川との連携が遮断され、生物に深刻な影響を与えている。しかし、農業の分野では水面は生産の場と捉えられており、生態系保全の認識が薄く、取り組みが遅れている。水理学の分野では 1990 年代から魚の遊泳特性や魚道の研究がなされ、一定の成果が得られている。しかし、その研究は未だに経験的であることが多く、いわゆる生態水理学の体系が形成されていない。魚の遊泳特性を把握するとともに、渦や乱れなどの流れの非定常解析を進めてより合理的な堰構造について研究を進める必要がある。

固定堰は土砂をせき止め、土砂移動を遮断するとともに、急変部流れを引き起こす。このことから、昭和



(a) 計算値



(b) 実験値

図25 各水制区間における正味の浮遊砂堆積速度 ($d/l=2.0$)

49年に起きた多摩川宿河原堰の迂回流発生に見られるように治水安全上問題となることが多いが、公共事業に対する批判や住民の反対運動などにより堰の改築が困難となっている場合がある。堰が生態系に及ぼす影響や局所流の研究を行う必要性が高い。

5. まとめ

日本の水理学は、最近欧米の水理学と方向が違ってきているのではないかとの懸念を耳にすることがある。しかし、私の意見は若干異なっており、むしろアメリカやイギリスの水理学は古典的な課題に留まっており、ドイツは新しい方向性について提言はするが実質的研究は殆どなされていないのではないかと感じている。この意味で、生態水理学は日本が世界に先駆けて提唱し、世界をリードしている学術分野であり、その体系化を目指す必要がある。水理学が日本でも研究されて以来、初めて日本がリードできるようになったといってもよい。しかし、その成果が殆ど日本語で出版されるために、世界の水理学のスタンダードとなるかどうかは予断を許さない。特に若い方々には、世界のリーディングジャーナルで自分の成果を世に問うて頂きたいと思っている。また、これらの研究成果の受け皿造りのため、我が国の英文論文集、例えば JHHE が International Journal となるよう努力を重ねなければならない。

この文章をまとめるに当たって、最近の筆者の勉強不足並びに時間不足故に他の方々の多くの成果を取り上げることが出来ず、不本意なことに自身の研究の位置付け・課題を述べるに留まってしまった。幸い、今回同様なテーマでの講義があるようであり、生態水理学の現状と課題は、それらも参考として頂きたい。

参考文献

- Hino, M.: Eco-hydraulics, An attempt, Proc. IAHR Congr., 17th., Vol. 6, pp. 178-208, 1977.
- 杉山恵一、福留脩文：ピオトープの構造、朝倉書店、1999.
- 赤松良久、戸田祐嗣、池田駿介：河床付着性藻類の増殖と剥離に関する実験的研究、河川技術に関する論文集、土木学会水理委員会、6巻、pp. 113-118, 2000.
- 室田明、福原輝幸：水制植物を有する開水路流れの乱流構造に関する研究、土木学会論文集、338号、pp. 97-103, 1983.
- 池田駿介、山田知裕、杉本高：現地観測によるアシ原の乱流場及び熱・物質交換の測定、土木学会論文集、593号、pp. 79-91, 1998.
- 池田駿介、山田知裕、戸田裕嗣：2次元 LES を用いた可撓性を有する植生層内外の乱流構造と穂波現象に関する研究、土木学会論文集、621号、pp. 53-63, 1999.
- 灘岡和夫、八木宏：SDS&2DH モデルを用いた開水路水平セリ断乱流の数値シミュレーション、土木学会論文集、473号、pp. 35-44, 1993.
- Andrews, E. D.: Bed-material entrainment and hydraulic geometry of gravel-bed rivers in Colorado, Geol. Soc. Am. Bull., 95, pp. 371-378, 1984.
- 泉典洋、池田駿介：側岸に樹木を有する直線礫床河川の安定横断形状、土木学会論文集、411号、pp. 151-160, 1989.
- 泉典洋、池田駿介：直線砂床河川の安定横断形状、土木学会論文集、429号、pp. 57-66, 1991.
- 泉典洋、池田駿介、Gary Parker：透過性を有する直線砂床河川の平衡横断面形状、土木学会論文集、565号、pp. 31-41, 1997.
- 戸田祐嗣、池田駿介、熊谷兼太郎：洪水流による礫床河川高水敷および植生の変化に関する現地観測、土木学会水工学論文集、43巻、1999.
- 戸田祐嗣、池田駿介、熊谷兼太郎：礫床河川における洪水前後の高水敷植生の変化と栄養塩・有機物の輸送

に関する現地観測、河川技術に関する論文集、土木学会水理委員会、5 巻、pp. 71-76, 1999.5.

戸田祐嗣、池田駿介、浅野健、熊谷兼太郎：礫床河川における洪水前後の高水敷土壌の変化に関する現地観測、河川技術に関する論文集、土木学会水理委員会、6 巻、pp. 71-76, 2000.

赤松良久、池田駿介、戸田祐嗣：マングローブ域における水質・底質特性に関する現地観測、土木学会年次学術講演会講演集、2000.

池田駿介、溝上健、黒田裕介、武若聡：森林土壌が持つ濁水補足機能のモデル化、土木学会論文集、467 号、pp. 1-7, 1993.

池田駿介、戸田祐嗣、佐野貴之：現地観測に基づく瀬の水理と生物 1 次生産に関する研究、土木学会論文集、593 号、pp. 93-103, 1998.

池田駿介、杉本高、吉池智明：不透過水制群を有する流れの水理特性に関する研究、土木学会論文集、656 号、2000.