

花貫川上流部における発電減水区間の 河川物理環境の特徴に関する研究

佐藤 三郎¹・宇都宮 結樹²・武下 明弘・白川 直樹⁴

¹学生会員 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

E-mail: sab@surface.kz.tsukuba.ac.jp

²学生会員 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 (同上)

E-mail: utunomiya@surface.kz.tsukuba.ac.jp

³学生会員 筑波大学 第三学群工学システム学類 (同上)

E-mail: takesita @surface.kz.tsukuba.ac.jp

⁴正会員 筑波大学講師 システム情報工学研究科 (同上)

E-mail: naoki-s@ kz.tsukuba.ac.jp

発電取水により、取水地点や排水地点の周辺で、河川の流量は人為的な影響を受ける。現地観測により、発電取水が河川の物理環境に与える影響を調査した。川幅と水面幅の比は自然区間に比べ、減水区間では小さく、増水区間では大きかった。河床材料の大きさや流速は、減水区間では堆積物が少ないので岩や岩盤が多く見られた一方、増水区間では礫や巨礫などが見られたが、自然区間に比べて多様性は低かった。また、流れ形態、河床材料から自然・減水区間の120mの物理環境の分布を細かく測定した。自然区間ではその分布に規則性が見られ、出現周期 λ を決定できたが、減水区間ではみられなかった。

Key Words : diversion weir, continuity, physical environment ,instream flow, hydroelectric power station

1. はじめに

河川の重要な自然特性の一つに横断方向、縦断方向の連続性が挙げられる¹⁾。しかしダムや堰などによる取水の影響により土砂輸送量や流量の急変をもたらす。特に農業用水や都市用水のための取水堰では、流量そのものを減少させるため、直接影響が大きい²⁾。

また重要な河床形態に瀬・淵がある。瀬は流速が速いため、石礫底の箇所が多く、特に早瀬では石と石の間に多様な空間が生み出され、多くの生物が生息・生育している。淵は流速が遅く水深が深いため休息・避難場所として生物に利用されており、瀬や淵は、多様な河川環境を形成するために欠くことのできない要素である³⁾。そのため取水等により流量が減少すると、瀬切れなどが起こり、健全な河川環境を保てない。また生物にとって「瀬と淵」の一組が重要な意味をもっており、瀬と淵が交互に存在する区域が、微視的な生息域の単位として取り扱われる⁴⁾。Dyer らはオーストラリアの流量制御がおこなわれている Cotter River で、水面の流れ形態から8つの flow type (表-1) を定義し、その割合から、水生ハビタットの多様性を最も大きく生み出すであろう流量範囲を特

表-1 Dyer らによる分類

flow type	本論文内の分類
・chute flow ・freefall ・broken standing wave	F1
・upwelling ・unbroken standing waves ・rippled	F2
・smooth boundary turbulent ・no perceptible flow	F3 F4

定した⁵⁾。表-1 に Dyer らによる分類と本論文内での対応を示す。

本研究では水力発電所の取水によって生じる流量の大小が河川の物理環境に与える影響について現地観測に基づき検討を行った。

2. 調査内容

(1) 調査地点概要

本研究で対象とした花貫川は、茨城県北部に位置する



図-1 花貫川周辺図(国土地理院 1/25000 地形図
「高萩」「堅破山」より)

流路延長 19.4km, 流域面積 63km²の二級河川である。花貫川の周辺図を図-1に示す。

調査区間は河口から約 12km, 標高は 210m～350m に位置している。可児による瀬と淵に着目した分類では⁹⁾、この区間の河川形態は瀬淵が連なる Aa 型である。この区間では図-1のように、本流の上流側で取水された水が発電に用いられ、支流に排水された後に本流と合流している。この発電所(花貫川第二発電所)の諸元を表-2にまとめる。この影響により本流の取水地点から支流合流点までの区間では減水され(以下減水区間と呼ぶ)、支流の排水地点から合流点までの区間では増水されている(以下増水区間と呼ぶ)。

(2) 減水・増水・自然区間全体の特徴

発電取水・排水が及ぼす影響を全体的に見るために、2005年10月から2006年1月にかけて河道物理特性の調査を行った。調査日はいずれも平常時の流量である。減水区間では50mごとの断面で、増水区間および合流後の区間では淵の最深部の断面で川幅、水面幅、勾配、断面内最大水深、断面内平均流速、河床材料の大きさを計測した。川幅は、通常の流量では浸水しないが平均年最大流量(2, 3年に一度の洪水)時では浸水するような範囲とした。流速は電磁流速計を用い、横断方向には水面幅を10等分して、鉛直方向には2割水深、6割水深、8割水深の位置で計測し、平均流速を算出した。河床材料は粒径の大きさにより5種類(砂、礫、巨礫、岩、岩盤)に分類した。分類の基準は、砂: 4mm以下、礫: 4mm～10cm、巨礫: 10～20cm、岩: 20cm以上、岩盤: 輪郭が見えないほど大きなもの、とした。

(3) 堰堤の影響範囲

対象とする減水区間には、滝、小取水堰、砂防堰堤が存在する。そこで減水区間に見られる取水堰(高低差2.5m)と砂防堰堤(高低差5m)の上・下流に及ぼす影響範

表-2 発電所の諸元

花貫川第二発電所	使用開始 : 大正9年1月
認可最大出力	750kw
常時出力	355kw
最大使用水量	0.83m ³ /s
水路延長	1563m
有効落差	112.6m

表-3 流れ形態・河床材料の定義

流れ形態	F1	波立ちがあり、波が崩れ白波が起こる
	F2	波立ちはあるが、白波は見られない
	F3	波立ちは無く、表面も滑らかだが棒などを立てると波ができる
	F4	止水域、砂などが巻き上がると濁る
河床材料	a1	50以上
	a2	10～50cm
	a3	1～10cm
	b1	0.1～1cm
	b2	0.1cm以下
	c	岩盤(堆積物無し)

囲を特定するために、勾配、河床材料調査をおこなった。

(4) 自然・減水区間内の局所的な物理環境の分布特性

よりミクロな視点から取水が及ぼすインパクトを把握するために、減水区間、自然区間における流れの縦断的な分布を図-1のA, Bでそれぞれの区間約120mにおいて水深、流れ形態、河床分布を計測・調査した。調査は夏場に行い、豊水時の流量であった。各要素とも線格子法を用い、各調査点間の距離は1mである。流れ形態、河床分布の定義は表-3に示す。また調査範囲の選定は堰堤の影響範囲を考慮に入れた。

また、瀬・淵が交互に現れているかどうかを調べるために、得られた流れ形態と河床材料の組み合わせを物理環境と定義し、さらに、その中で河床、流れの観点から両極端となる2つの物理環境を選び出し、自然・減水区間の分布について比較をおこなった。河床材料がa、流れ形態がF1のものをX、河床材料がb、流れ形態がF2のものをYとした。全体的な広がりを見るために、どちらにも属さない物理環境は、その周囲8マスのX, Yの大小関係によって決定した。Xの個数よりYの個数が多ければY、逆ならX、同数であればそれ以外として処理した。Xは比較的流れが速く、白波を伴うため礫床の早瀬と対応する。Yは流速が遅く穏やかであるため、平瀬や淵に相当するものである。

3. 調査結果

(1) 減水・増水・自然区間での比較

a) 流量

調査地点の各区間での流量を表-3 に示す。合流点より上流側の本流(減水区間を含む)の流域面積は、支流(増水区間を含む)の流域面積のおよそ2倍であるにもかかわらず、流量はおよそ1/11でしかないことが取水の影響を表している。

b) 川幅、水面幅

調査地点の各区間の川幅と水面幅の関係を表したものを図-2 (a), (b)に示す。

c) 河床材料

各区間における河床材料の大きさの分布を表したものを図-3 (a), (b)に示す。

(2) 堰堤の影響

砂防堰堤上・下流について図-4に、小取水堰上流についてを図-5に河床高さと堰堤からの距離を示す。減水区間全体の河床勾配は、表-3より1/28である。

(3) 自然・減水区間内の局所的な特徴

表-2にしたがい分類した結果を表-4に示す。水深については自然区間に対し減水区間には、80cm以上の場所は存在せず、30cm以下の割合が多く占めており、取水にともなう流量減少の影響を強く受けていた。

a) 流れ形態

F1 の割合が減水区間で 8.9%であったのに対し、自然区間では 22.5%と大きな違いが現れた。逆に F4 が自然区間で 5%、減水区間で 14.4%であった。

b) 河床材料

河床材料 a の被覆割合は、F1 を除いて考えると、自然区間で 48.4%、減水区間で 49.2%と、両区間での差はほとんど現れず、個々の組み合わせについても大きな差異は現れていない。また、河床材料 b1 の被覆割合も、自然区間では 20%、減水区間では 17.8%となり、ほぼ等しい。

c) 物理環境の分類

X と Y の物理環境の分布図を図-6に示す。自然区間では X, Y の範囲が交互に現れ周期性が見られた。図中の λ は X, Y の 1 波長の長さである。

表-3 調査地点の物理特性と形状

	流量 [m ³ /s]	流域面積 [km ²]	河床勾配	比流量 [m ³ /s/100km ²]
減水区間	0.063	24.0	1/28	0.26
増水区間	0.697	12.8	1/31	5.45
合流後 (自然区間)	0.759	36.8	1/44	2.06

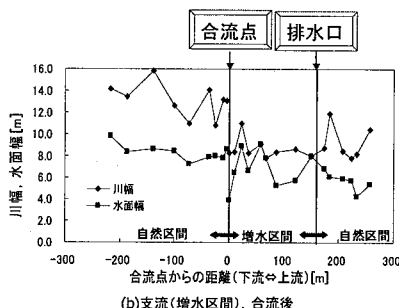
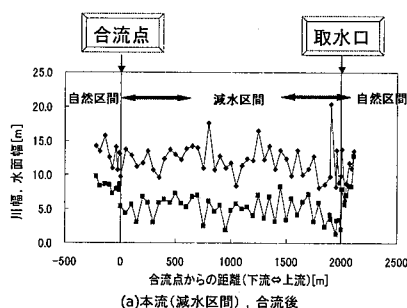


図-2 縦断方向に見た各区間の川幅と水面幅

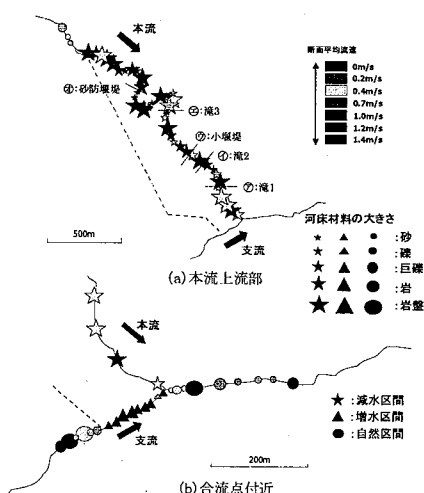


図-3 各区間における河床材料の分布と流速の比較

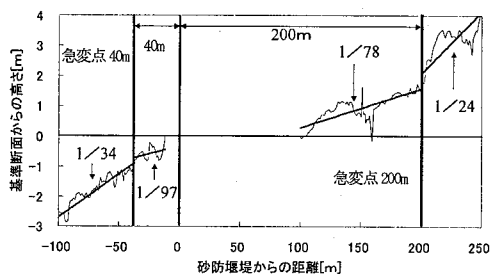


図-4 砂防堰下流での勾配変化

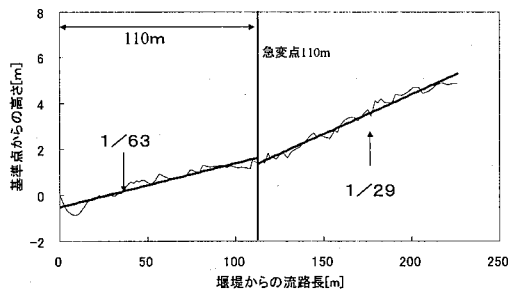


図-5 小取水堰上流の勾配変化

4. 考察

(1) 減水・増水・自然区間での比較

a) 流量

自然の比流量の値から減水区間では $0.494 \text{ m}^3/\text{s}$ (増水流量は $0.434 \text{ m}^3/\text{s}$), 増水区間では $0.263 \text{ m}^3/\text{s}$ (同 $-0.433 \text{ m}^3/\text{s}$) となった。ここで、表-3 中の比流量とは河川流量を流域面積 100 km^2 あたりに換算した値である。比流量は、世界の主要な河川では $0.1 \sim 1.0 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$ 程度だが、日本では $2.0 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$ 以上の値を示す河川が多い⁹⁾。合流後の地点の値(2.06)がこの地区での自然流量の値である。近隣的那珂川、阿武隈川、久慈川においても、この程度の比流量であった。

b) 川幅、水面幅

図-3より、減水区間では、上流の自然区間や合流後の区間と川幅は変わらないにもかかわらず水面幅は狭い。これに対し増水区間では、上流の自然区間に比べて水面幅が広く、合流後の区間に比べて川幅が狭い。川幅に対する水面幅の比をみると、減水区間では0.42, 増水区間では0.80, 自然区間では0.66であった(中央値)。

川幅に着目すると、下流へと向かうにしたがって川幅が広がる傾向がみられる。この傾向は調査区間の長い図-4でよくみられ、川幅の全体的な傾向と流域面積には一定の関係がありそうである。そこで各区間での流域面積と川幅の関係を表したものを図-7に示す。これより増水区間を含む支流の川幅は約10m, 減水区間を含む本流の川幅は約13m, そして合流後の自然区間の川幅は約14mであり、流域面積が大きくなるほど川幅は広がることを確認できる。これを式で表すと、各区間の最大値を結ぶ近似曲線は $y = 6.19x^{0.26}$, 最小値を結ぶ近似曲線は $y = 3.43x^{0.31}$, と表される。流域面積を2倍にすると川幅は1.2倍になることが式から推測される。

c) 河床材料

図-3より減水区間では全体的に流速が遅く、また、岩や岩盤が露出した河床が多く見られる。せき止めの影響で堰より下流側の土砂の供給が少なくなるので、この区

表-4 調査結果

		自然区間				減水区間			
		F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
河床材料	a1	5.7	7.7	6.3	0.2	2.3	7.1	7.0	1.1
	a2	10.8	12.5	9.2	0.2	2.2	9.3	8.3	0.9
	a3	4.5	6.2	6.0	0.1	0.8	7.3	7.1	1.1
	b1	0.6	2.5	16.9	4.4	0.6	10.6	4.6	3.4
	b2	0.1	0.6	0.6	0.5	1.5	2.1	2.0	7.9
	c	0.1	0.6	0.6	0.1	1.5	3.9	6.9	1.3

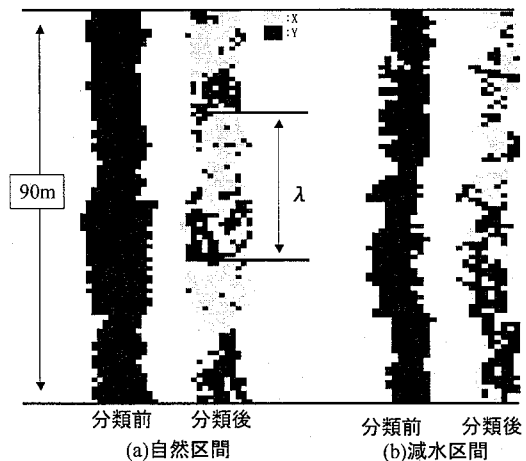


図-6 X, Yの平面分布

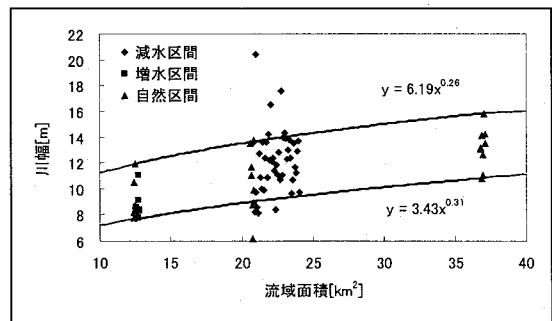


図-7 各区間の流域面積と川幅の関係

間では全体的に岩や岩盤が露出した河床が多く見られるのではないかと考えられる。

一方、増水区間では全体的に流速が速く、また、礫や巨礫などが堆積しているために減水区間と比べ粒径の小さい地点が多く見られる。しかし、砂などの粒径がより小さなものは淵の両岸に堆積しているぐらいであり、淵の両岸よりも流れが速い最深部ではほとんど堆積していなかった。これを自然区間と比べると流速、河床材料の多様性に欠けているといえる。

そして合流後や支流の排水口より上流部の区間(自然区間)では流速は中間的で、また河床材料の大きさもさ

まぎまであった。

(2) 堰堤の影響範囲

砂防堰堤上流では200m付近を境に勾配が1/24から1/78へと変化(図-4)しており、200mより上流側では岩盤によるステップ・プール型の河床が観測された。本来淵状になっているべき堰堤から180~200m付近で勾配が極めて緩くなっていることから、岩盤の上に砂が堆積していると考えられ影響範囲は200mまでであると推定される。堰堤下流では、堰堤から40m付近における平均勾配の大きな変化、河床材料の急変点もこの付近で見られることから、堰下流域での影響範囲としては40mまでと考えられる。

取水堰上流では、堰堤から110m付近において勾配が1/29から1/63に変化(図-5)していた。ただし、砂防堰堤上流とは異なり、急変点より上流側に岩盤河床が続くのではなく、急変点付近でわずかに岩盤が露出したのちに比較的粒径の大きな礫河床に遷移していく様子がみられ、影響範囲は110mと推察できる。取水堰下流は落差直後に小さな滝があり、河床、勾配変化等からは影響範囲を特定することができなかった。

(3) 自然・減水区間内の局所的な特徴の比較

a) 流れ形態

表4より白波を伴い早瀬に対応した流れであるF1と、止水域を表すF4の割合に大きな違いが現れる理由として、減水区間の河川環境が取水により悪化していることを示していると考えられる。また、減水・自然区間での河川環境を比較する際の重要な指標となる。

b) 河床材料

河床材料aの被覆割合に違いが見られる理由として、aのような径を持つ礫は主に出水時に移動する粒子だが、一般的に流量が増大するほど取水の影響は小さくなるため、この結果は妥当と考えられる。

河床材料bは、上に述べたように上流に砂防堰が存在するため、その被覆割合も減少していることが考えられる。逆に、更に径の小さいb2は自然区間では1.8%、減水区間では13.6%と大きな差が見られた。b2は主に止水域であるF4に堆積しており、流量減少に伴う止水域の増加が原因と考えられる。

次に、河床材料b1がどのような分布をしているかを見るために、各区間を上流から10m毎に分け、その変動係数を比較した。10m毎の被覆面積を図-7に示す。最小、最大値を除いた各区間の標準偏差、変動係数は、自然区間で1.96、0.26、減水区間で4.56、0.56となり、減水区間に対し自然区間では比較的均一に分布していることがわかる。これは局所的な勾配、流速などの変化に

よるもので、それらの多様性を表していると考えられるが、どのような場所に堆積しているかを細かく調査し、

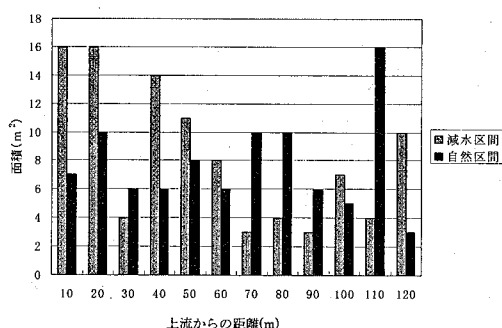


図-8 10m毎の砂の被覆面積

検討を深めていく必要がある。しかし、河床材料b1が均一に分布していることは、この程度の径の粒子群を生息場としている生物にとって重要だと考えられる。

c) 物理環境の分全体的な広がり

図-6より自然区間ではX、Yの集合が交互に現れ、その波長もほぼ30mであった。減水区間でも所々にX、Yの集合が見られたが、大きさ、その分布は様々であった。広く見ると50mの周期で現れているように見えたため、調査範囲を50mほど延長し、試してみても規則性は見られなかった。これは、流量減少による影響で流れ形態の多様性が減ってしまったため自然区間のような周期では現れないことや、今回の調査範囲ではX、Yの波長をとらえることができないなどが考えられる。今後は減水区間の調査範囲を広げることで更なる検討を深めていきたい。また、瀬淵構造に相当する、X、Yが交互に存在することは、自然区間に対し、減水区間の河川環境が悪い状態を示していると考えられる。また自然区間での波長λは、この区間の自然の特徴を表す1つの指標値になる。

6. まとめ

本研究では、花貫川上流部を観測地点とし、河川の物理特性、特に流れ形態、河床材料分布、川幅に注目し、発電取水に伴う流量の大小が河道物理環境に与える影響について検討した。また、減水区間内に存在する2つの堰堤の影響範囲も特定した。

また、流れ形態、河床材料の組み合わせから物理環境を規定し、ミクロな視点から自然・減水区間を比較した。

流れ形態、河床材料の要素にいくつかの違いが現れ、減水区間の環境悪化が見られた。そして、河床材料、ながれ形態の組み合わせから両区間を物理環境X、Yに分類したところ、自然区間ではX、Yの集合が交互に現れ、

その1波長の長さ λ がほぼ30mであったのに対し、減水区間ではX、Yのサイズや分布が様々で λ を決定するに至らなかった。X、Yの連続は瀬、淵の連続に対応しているため、自然区間に対し、減水区間では良好な河川環境が保たれていないと考えられる。

今後は河床材料b1がどのような箇所に堆積しているのかに留意し、減水区間の調査をさらに広げることで検討を深めていきたい。

- 3) Fiona J.Dyer, and Martin C.Thorns : Managing river flows for hydraulic diversity: An example of an upland regulated gravel bed river, River Research and Application, Volume 22, Issue 2, pp257-267, 2006.
- 4) 財団法人リバーフロント整備センター：河川と自然環境，理工図書，2000.
- 5) 水野信彦，御勢久右衛門：河川生態学，増補・新装版，築地書館，1993.
- 6) 阪口豊，高橋裕，大森博雄：日本の川，岩波書店，1995.

参考文献

- 1) 玉井信行：『河川計画論－潜在自然概念の展開』，東京大学出版会，2004.
- 2) 財団法人 河川環境管理財団：自然的攪乱・人為的インパクトと河川生態系の関係に関する研究，2002.

?

CHARACTERISTICS OF PHYSICAL ENVIRONMENT IN REGULATED SECTION IN THE UPPER HANANUKI RIVER

Saburou SATO, Yuki UTUNOMIYA, Akihiro TAKESHITA and Naoki SHIRAKAWA

Instream flow is affected artificially with water use in hydroelectric power station on points around intake and drainage. It is investigated that how hydroelectric power station influence physical environments of river basins, with field observations. Ratio between width of the river and width of the water surface is larger for regulated sections and smaller for flow-rise sections than that of natural section. For regulated sections, rock and bedrock are numerous observed because of smaller accumulations. On the other hand, for flow-rise sections, larger gravels and boulders are observed, but the multiplicity is smaller than that of natural sections. Distribution of physical environments defined with flow types and riverbed materials of the regulated section and the rise-flow section with respect 120m length are precisely measured. In the natural section, a periodicity is observed, and occurrence period λ can be determined. However, on the regulated section, the periodicity cannot be determined.