

学位論文全文に代わる要約 Extended Summary in Lieu of Dissertation

氏名： 内田 朝子
Name

学位論文題目： 河川の分断化が著しい矢作川における付着藻類の栄養状態及び一次生産に関する研究
Title of Dissertation

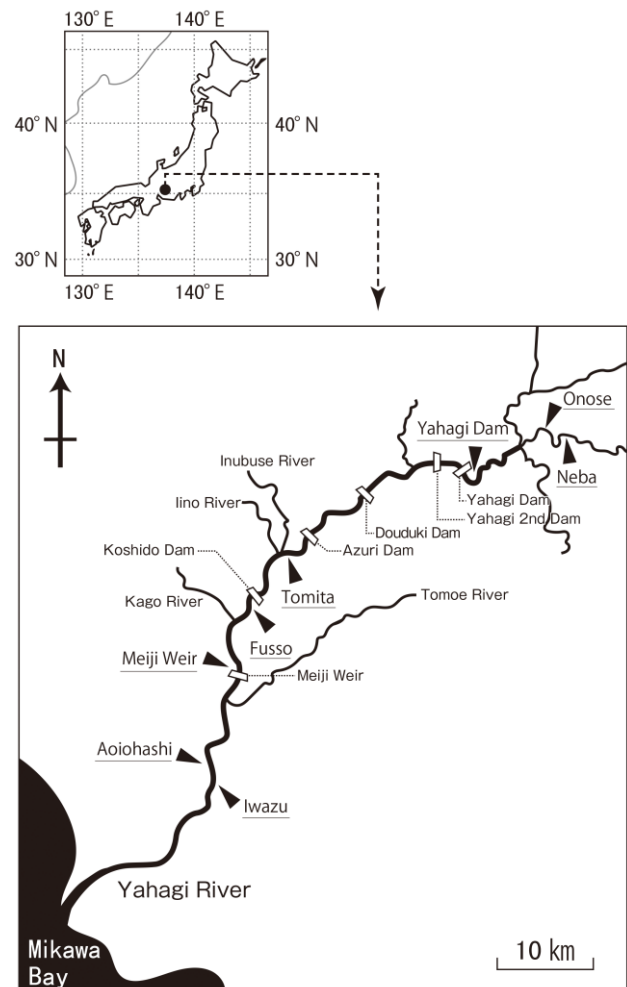
学位論文要約：
Dissertation Summary

1. はじめに

日本の河川では、河畔が開け、河床にまで十分な光の届く瀬が多い。河川上中流の河床では大小の礫で構成されており、礫上には付着藻類群落が発達している。河川生態系の物質循環に着目すると、付着藻類群落は、底生動物や魚類など水生動物の餌として利用されており、ここでは、付着藻類が主体となった食物連鎖が機能している。

日本では、急峻な河川が多く、土砂生産量の多いことが特徴である。日本を含む東アジアの降水量は世界有数であるため、出水毎に河床攪乱が働き、河床の水生生物群集は一掃される。日本の河川では、そのような環境変化に適応した生活史戦略を持った水生生物群集が残っていると考えられている。

19世紀後半に建造された多目的の大規模ダムは、それまでの人の利用による河川改変と異なり、河川環境を大きく変化した。ダムによる上流から下流への水と土砂の連続の遮断は河川地形を変化させ、水生生物群集の生息場である河床構造や物質循環に大きな影響を及ぼしている。ダム下流域の河床では、礫の粗粒化が進行し、礫



が動きにくくなったアーマーカーコート化現象が起きている。一次生産者である付着藻類をみると、このように過度に安定した河床では、糸状緑藻やコケ植物の密度が高まるといった優占種や豊富さが変化している。ダム下流域の一次生産者の質と量の変化は、食物網を通して河川生態系の機能と構造に影響を及ぼしていると考えられる。ダムの影響で変化した河川生態系の復元や再生を図るには、まず現況の評価が求められる。

本研究は、ダムによる分断化が著しい河川において河川生態系の基盤である一次生産者の構造と機能を明らかにすることを目的としている。研究フィールドは、本流に7つの横断構造物を持ち、日本では平均的な河川規模である矢作川とした(図1)。矢作川の上中流域の礫河床を対象に、主たる一次生産者である付着藻類に着目し、その構造、栄養状態、一次生産力の流程分布を明らかにした。また、矢作川では、付着藻類と同じ一次生産者であるコケ植物の生育が確認されており、その流程分布、構成種および一次生産についても研究を行った。

2. 矢作川の流域環境と付着藻類の変遷

矢作川上中流域における河川環境(濁り、水質、河床環境)と付着藻類の変遷をたどると、過去半世紀には次のように変化したことがわかった。1960年~1970年代前半までは支流からの濁水の流入によって矢作川本流の付着藻類の生育は阻まれていた。その後、濁りは1970年代半ば以降に減少する一方で、水中の栄養塩は緩やかに増加した。これらのことから1980年代は、付着藻類の生育に適した環境になったと推察された。1990年代の付着藻類群落は、出現種数と現存量が増加し、季節的に細胞サイズの大きな糸状緑藻*Cladophora glomerata*が大発生するまでになった。付着基盤である河床礫の粗流化と攪乱頻度の低下により河床が過度に安定したことが、付着藻類群落の発達を助長させ、現存量を高めるとともに、遷移の最後に出現する大型糸状藻カワシオグサの増殖も可能な環境へと変化したと考えられた。矢作川中流域における付着藻類群落の質と量の大きな変化は、一次消費者であるアユの餌環境や底生無脊椎動物群集の構造に影響を及ぼしていると考えられた。

河川生態系の仕組みを理解するには、水生動物の餌資源として河川生態系の基盤となっている河床一次生産者の構成や生産量の時空間分布を明らかにすることが必要である。一次生産者の機能を知るにあたり、まず、その栄養状態を評価しておくことが重要である。そこで、矢作川の上中流域において主たる一次生産者である付着藻類

の季節変化とその栄養状態の把握を行った。

3. 矢作川の付着藻類の栄養状態

現在の矢作川の上中流域の付着藻類群落は、初夏から秋にかけてシアノバクテリアの *Homoeothrix janthina* が、水温の低下する冬から春には、 *Cymbella* spp. や *Gomphonema* spp. などの珪藻綱が優占し、季節的に遷移することがわかった。矢作川の付着藻類の現存量は Chl. *a* 量で数 mg m^{-2} から

200 mg m^{-2} の範囲で大きく変動し、

高い現存量は、ダム下流地点の蘚類の混入によってもたらされていた。付着藻類の栄養状態を

Hillebrand and Sommer (1999) が提唱した付着藻類の理想的な成長

速度の生体元素比 119:17:1 を用いて

評価したところ、リンに関しては一時的に制限状態になる時期があ

ったが、年間という尺度で見ると、矢作川の付着藻類群落が窒素

とリンのいずれに関しても強い欠乏状態ではないと評価された (図

2)。

付着藻類群落の栄養状態はバランスしていることがわかったので、

次に一次生産者としての付着藻類

の機能を明らかにするため、一次生産についての研究を行った。

4. 矢作川の付着藻類類の一次生産量の特徴

付着藻類の一次生産者としての機能を把握するために、優占種が異なる夏と冬の光合成速度および一次生産量を流程に沿って明らかにした。一次生産は、溶存酸素濃度を指標として、実験室で行う室内培養法と、現場で行う袋法で測定した。矢作川の上

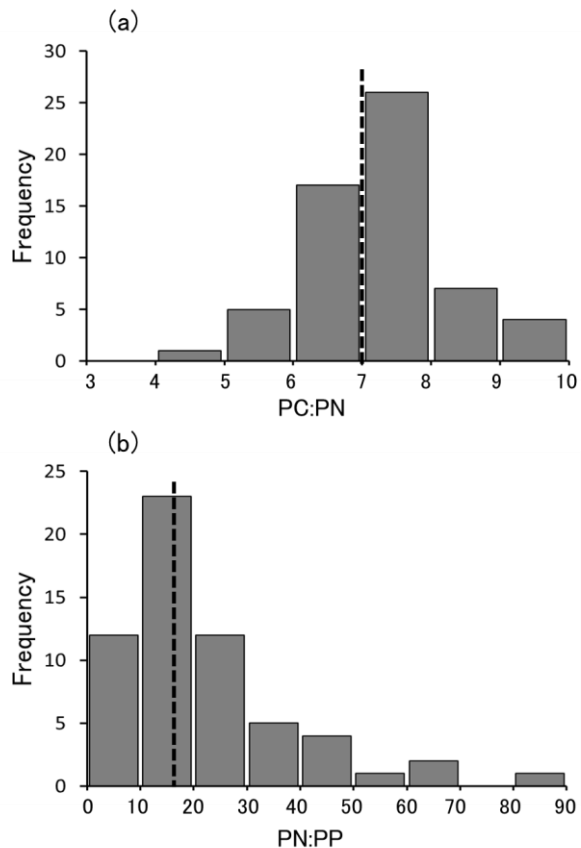


図 2. 付着藻類群落における PC:PN 比 (a) と PN:PP 比 (b) の頻度分布. 破線は Hillebrand and Sommer 比 (PC:PN = 7, PN:PP = 17). n = 60.

(様式5) (Style5)

中流域の礫河床10地点において、付着藻類群落の一次生産を2018年冬と夏に測定した。付着藻類の光合成速度および一次生産量は、シアノバクテリア *Homoeothrix janthina* が優占した8月に4.5~14.4 (平均値7.5) $\text{mg C mg Chl. a}^{-1} \text{h}^{-1}$, $0.4 \sim 1.3 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ (平均値 $0.8 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$) と高くなることがわかった (図3)。藻類現存量が8月に低いのは、夏には、アユに代表される藻類食者の捕食圧と出水による河床攪乱で付着物の蓄積が抑制され、自己遮光による光合成速度の低下が回避されていると推定された。

冬と夏の全地点の時間当たりの純生産量と呼吸量、光合成速度、Chl. a量、シアノバクテリア体積 / 全藻類体積を用いて、主成分分析を行った (図4)。冬も夏も支流の影響を受けるAおよびDと受けないBおよびCのグループに分類された。AおよびDでは、支流からの土砂供給で河床攪乱が生じやすい河床環境であり、それが付着膜の更新を促進させ、一次生産を特徴づけたと考えられた。

袋法による日総生産量 ($P_{g-d \text{ bag avg}}$) は、夏に $0.9 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$, 冬に $0.4 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ であり、国内外の河川より小さかった。袋法による日純生産量 ($P_{n-d \text{ bag avg}}$) から矢作川の瀬の礫表面における一次生産力を見積もったところ、2月に 180 kg C d^{-1} , 8月に $1,620 \text{ kg C d}^{-1}$ であった (表1)。

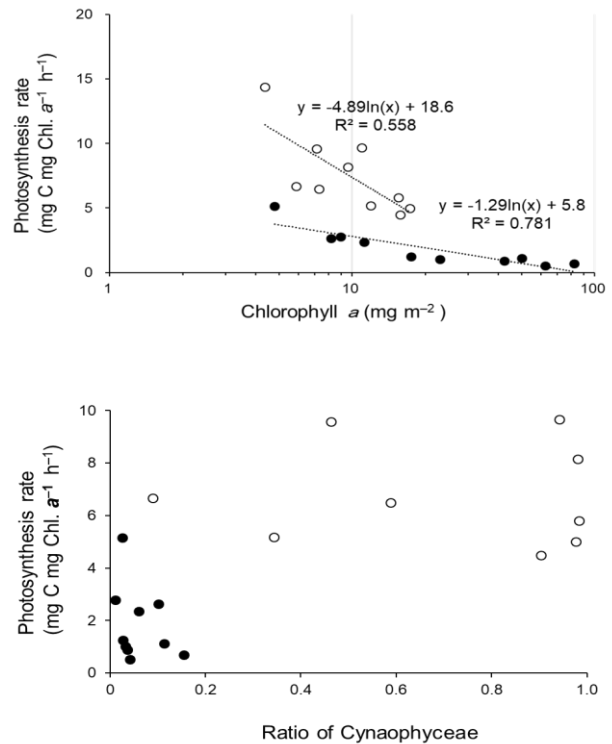


図3. 袋法によるChl. aと光合成速度との関係(上), シアノバクテリアの割合と光合成速度との関係(下)。○:夏, ●:冬。

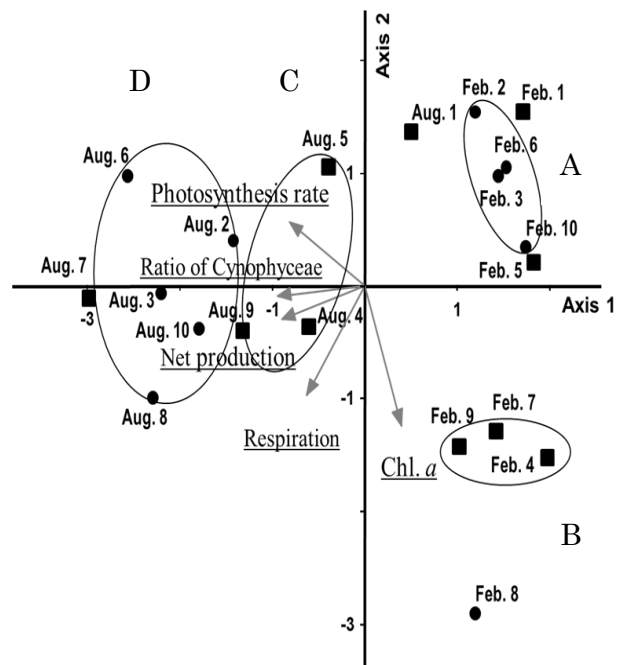


図4. 袋法による付着藻類群落の一次生産の要素に関する主成分分析の結果(●:支流の影響を受ける地点, ■:支流の影響のない地点)。

(様式5) (Style5)

矢作川では、付着藻類の一次生産力は、夏には藻類食者の推定摂食量と同等かやや不足となり、付着藻類がほぼ生態系の基盤を担っているが、冬には不足していることがわかった。本研究で見積もった河川一次生産力は、動物の餌量の把握に必要な情報であり、河川生態系の保全や環境影響評価を考える上で欠かせない指標にすることができる。

ここでは、矢作川の上中流域における主たる一次生産者である付着藻類の一次生産を明らかにし、水生動物の餌としての働きをみた。一方、ダム下流域では、生産性の高い瀬において、付着藻類と同所的にコケ植物の生育が確認されており、矢作川の河川生態系の機能を評価するには、コケ植物の機能も把握する必要がある。次に、コケ植物の生育実態に関して、構成種、分布の時空間変化、一次生産の調査を行った。

表 1. 矢作川の瀬全体の純生産量の計算。各調査地点を中心として調査対象区間を 10 の流程に区切り、各流程の水面積を計算した。流程毎に計測した流路延長距離と瀬の距離の比から瀬の水面積を計算した。各流程の純生産量は、各調査地点の日純生産量に各流程の瀬の河床面積を乗じた。瀬の河床面積は水面積を 3 倍した(川那部ほか 1959)。

Sampling station	Study zone		Riverbed area between stations (km ²)*		Net production at the riffles in Summer		Net production at the riffles in Winter	
	Upstream station	Downstream station	Whole area	Riffles area	Sampling station g C m ⁻² day ⁻¹	Between stations kg C m ⁻² day ⁻¹	Sampling station g C m ⁻² day ⁻¹	Between stations kg C m ⁻² day ⁻¹
Stn. 1	Downstream of 2nd Yahagi Dam	Juncture with Akechi River	0.062	0.031	0.30	9.1	0.27	8.2
Stn. 2	Juncture with Akechi River	Sasado Bridge	0.914	0.735	0.31	227.7	0.12	88.7
Stn. 3	Sasado Bridge	Douduki Dam	0.303	0.054	0.55	29.5	0.02	1.3
Stn. 4	Downstream of Douduki Dam	Azuri Dam	1.551	1.072	0.28	299.0	0.00	-0.5
Stn. 5	Downstream of Azuri Dam	Juncture with Inubuse River	0.407	0.355	0.41	147.0	-0.01	-2.1
Stn. 6	Juncture with Inubuse River	Koshido Dam	1.470	0.493	0.34	169.1	0.14	67.9
Stn. 7	Downstream of Koshido Dam	Juncture with Kago River	0.720	0.385	0.79	302.1	-0.10	-37.3
Stn. 8	Juncture with Kago River	Headwater of Meiji Weir	1.791	0.552	0.49	272.6	0.09	50.1
Stn. 9	Downstream of Meiji Weir	Juncture with Tomoe River	0.222	0.083	0.43	36.2	0.20	16.8
Stn. 10	Juncture with Tomoe River	Aoi Ohashi Bridge	0.311	0.193	0.66	128.3	-0.05	-10.0
Total			7.8	4.0		1,620.8		183.0

5. 矢作川の河川水中のコケ植物の同定

矢作川の上中流域の水中では、付着藻類と同じ一次生産者の役割を持つコケ植物、蘚綱9種、苔綱2種が確認された。コケ植物はダム下流域の環境に多く分布し、水位変動にかかわらず、通年、冠水した河床の優占種は、ニブハタケナガゴケ *Ectropothecium obtusulum* とアオハイゴケ *Rhynchostegium riparioides* であることがわかった (図5)。

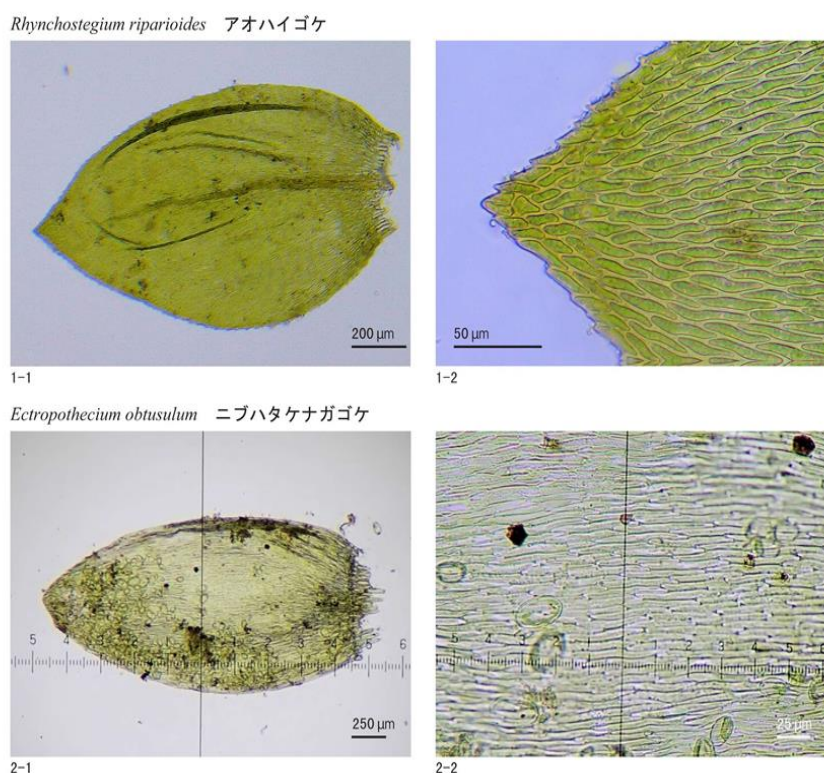


図 5. アオハイゴケ(1-1,1-2)とニブハタケナガゴケ(2-1,2-2)

コケ植物群落内は、ユスリカ類などの小型の水生昆虫の生息空間として機能しており、豊富なコケ植物の存在は、底生無脊椎動物の構成を変化させ、さらにそれが上位の動物群集の食物連鎖に影響していると考えられる。矢作川の瀬では、夏場、アユの重要な餌場となっており、コケ植物群落の発達した場所では、魚類の餌資源の量や質が変化していると考えられる。矢作川の瀬に生育するアオハイゴケとニブハタケナガゴケは、矢作川の河川生態系の機能を知る上で欠かせない存在であるため、次に定量的な評価と一次生産を明らかにするための研究を行った

6. 河川水中のコケ植物の分布と一次生産

矢作川の上中流域の11地点において、夏と冬にコケ植物の生育状況を調査し、流程分布を把握した。一年中を通して流水中の河床にコケ植物の生育が顕著にみられる地点は、直上のダムからの距離が短く、直上のダムから地点までの間に支流の流入のない地点であった(表2)。

次に、コケ植物群落の定量化をするために、河床の土砂(礫)動態が低下し安定した阿摺ダム下流において、河川断面全域、10,000 m²を対象にコケ植物の密度分布調査

表 2. 各地点の調査エリア内においてコケ植物が確認されたポイント数の割合, 全ポイントのコケ植物の平均被度及び最大被度.

Station	Date	Distance from upstream dam (km)	Rate of points where bryophyte was confirmed*1)	Bryophyte coverage (%)	
				Average	Maximum
Onose	2020/1/29	-	0	0	0
Below of 2nd Yahagi Dam	2020/1/27	0.2	61.1	19.1	90
Odo	2020/1/27	5.1	0	0	0
Hirahata	2020/1/27	9.2	0	0	0
Ikeshima	2020/2/25	0.5	63.2	3.0	20
Below of Azuri Dam	2020/2/12	2.5	41.0	8.0	90
Fusso	2020/2/12	1.8	48.1	7.0	40
Toyota Ohashi	2020/2/3	6.4	0	0	0
Below of Meiji Weir	2020/2/12	0.3	0	0	0
Aoihashi	2020/2/25	3	0	0	0
Onose	2020/8/4	-	1.8	<1	5
Below of 2nd Yahagi Dam	2020/8/4	0.2	59.1	6.8	40
Odo	2020/8/4	5.1	0	0	0
Below of Azuri Dam	2020/8/22	2.5	50.1	13.2	90
Hirose	2020/8/25	3.8	45.2	10.5	90
Fusso	2020/8/27	1.8	39.2	6.6	35
Aoihashi	2020/8/25	3	0	0	0

を行った。季節を通して、コケ植物の優占種はニブハタケナガゴケ *Ectropothecium obtusulum* とアオハイゴケ *Rhynchostegium riparioides* であった。ここでは、コケ植物群落は約50–60%の調査ポイントで確認され、平均植被率は約10–17%であった。流速との関係から、流速が速い地点で繁茂したコケ植物は、下流に供給され、栄養繁殖により、生息域を拡大していることが考えられた (図6, 図7)。

コケ植物が多く混入する群落と付着藻類群落の一次生産を比較すると、前者の光合成速度は、後者の40–70%と低く、コケ植物の有機物生産の速度が遅いことが示された。このことから、コケ植物は、水生動物への餌源の供給を減少させていると考えられた。河床の礫移動が弱くなる

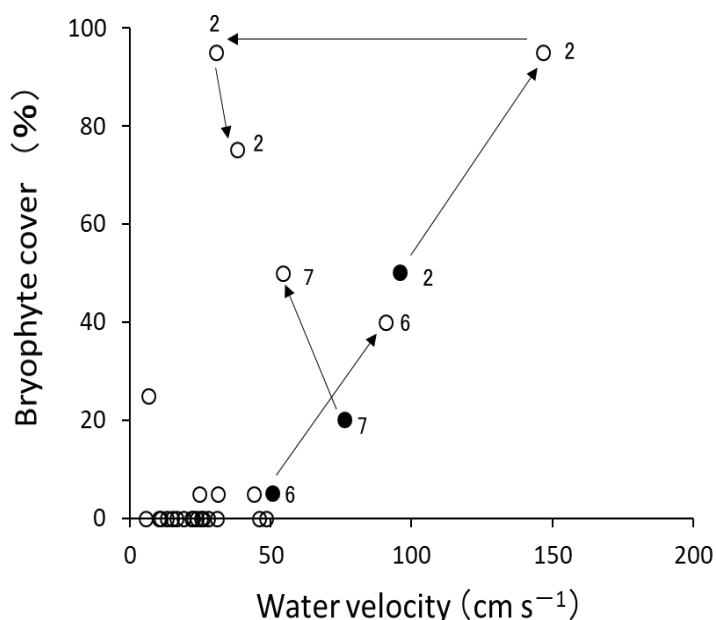


図 6. 富田の横断ライン a から e における流速とコケ植物の植被率との関係。●コケ植物群落が成長を始めた調査ポイントを示す。図中の数値は縦断ラインを示す。矢印はコケ植物群落の成長開始ポイントを基点とし同縦断ラインの下流ポイントを示す。

ことで、一次生産者が付着藻類からコケ植物に遷移しており、水生動物の餌となる付着藻類の生産が低下していることがわかった。

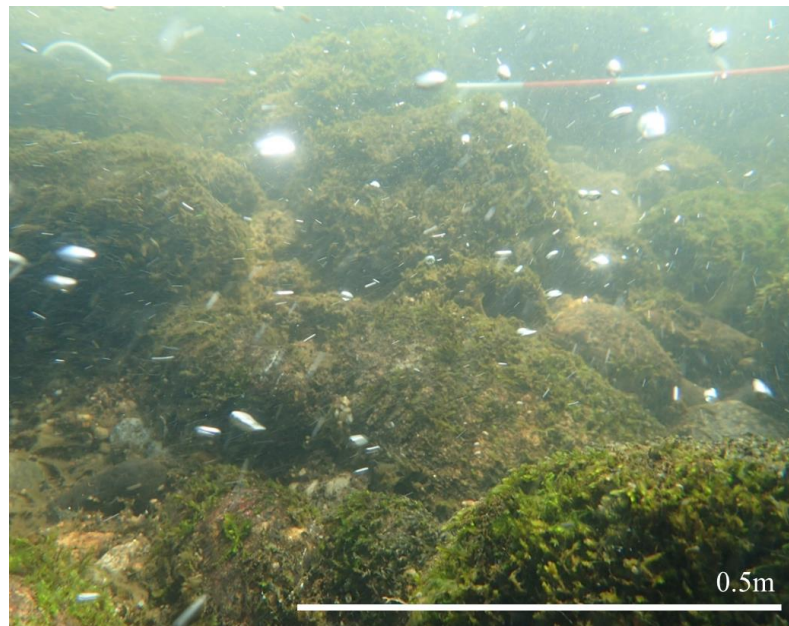


図 7. 富田の水中に繁茂するコケ植

7. まとめ

ダムで分断化が著しい矢作川において、上中流域の河床の一次生産者である付着藻類の栄養状態は、季節的に種組成が異なっても変わらなかった。付着藻類の一次生産量は、光合成速度が高まる夏に高くなる一方で、土砂供給による河床攪乱がなく、付着膜が更新されない場所で低くなることがわかった。また、ダム下流域では、コケ植物が生育し、多い場所では、河床の 1-2 割に分布しており、水生動物の餌である付着藻類の生産が低下していることがわかった。これらより、ダムは付着藻類の本来持っているポテンシャルを抑制していることが明らかになった。本研究で得られた矢作川の一次生産者の構造と機能に関する知見は、ダムを有している日本の多くの河川生態系の保全に貢献すると考えられる。