

丹沢溪流環境の年次推移

遠藤 健斗*・本多 聡**・蓑宮 敦***・井塚 隆***・勝呂 尚之**

Annual Changes of Environment in Mountain Stream Area in Tanzawa

Kento ENDO・Sou HONDA・Atsushi MINOMIYA・Takashi IZUKA・Naoyuki SUGURO

緒 言

丹沢山地は神奈川県北西部に位置し、県土面積の約 6 分の 1 を占める 40,000ha 余りの一大山塊である。¹⁾この地域は、県民の水源地帯で、首都圏有数の自然の宝庫でもある。

しかし、1980 年代からシカの食害による林床植生の衰退²⁾、ブナの立ち枯れ³⁾など丹沢山地の生態系に大きな異変が起こり始め、この対策として本県は 1999 年 3 月に「丹沢大山保全計画」を策定し、自然環境を守るための様々な取り組みを始めた。さらに、県民、NPO、学識者、企業などの多様な主体による丹沢大山総合調査実行委員会が組織され、2004 年から 2005 年の 2 カ年をかけて丹沢大山総合調査⁴⁾を実施し、この調査データを収集・解析して、今後の自然再生の基本方向と新たな取り組みを「丹沢大山自然再生基本構想」(以下「基本構想」とする)として取りまとめた。現在、本県では、基本構想に基づき「丹沢大山自然再生計画(神奈川県)」を 2007 年 3 月に策定し、丹沢大山の自然再生に取り組んでいる。

神奈川県水産技術センター内水面試験場では、この自然再生計画の中で、溪畔林整備が実施されている河川において、魚類の他、底生生物、落下生物、流下生物と周辺の溪畔林環境についてモニタリング調査を実施するとともに、整備事業の効果評価に資する指標となる調査項目の探索や、効率的な調査技術の開発を 2012 年から実施してきた。今回は、2012 年から 2018 年までに実施した各調査の結果についての年次推移と、整備事業効果の指標としての可能性について検討した。

材料と方法

(1) 調査水域

溪畔林整備の実施された 9 河川及び、溪畔林整備を実施していない理想的な溪畔林として選定した唐沢川(調査開始年に選定)を含めた 10 地点について年 1 回(9-10 月)の頻度でモニタリング調査を実施した。なお、調査地点における魚類の放流は行われていない(図 1)。また、各調査地点の整備状況は表 1 に示した。

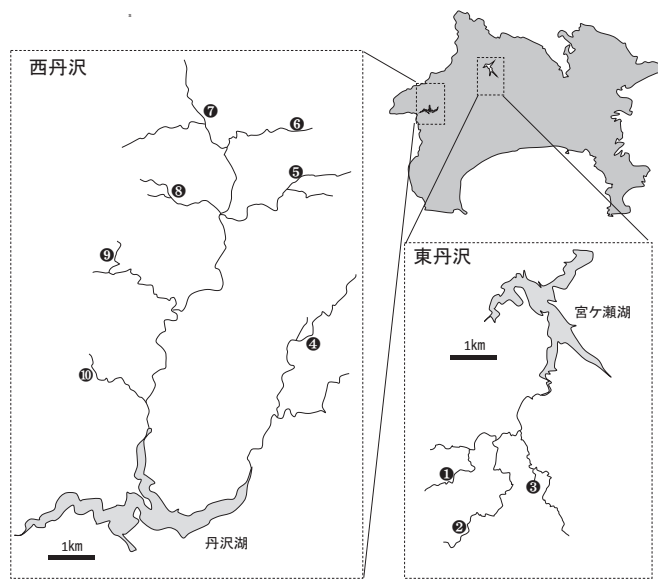


図 1 本調査を実施した河川の位置図

左破線枠内は西丹沢、右破線枠内は東丹沢

- ①本谷川
- ②境沢
- ③唐沢川
- ④仲ノ沢
- ⑤東沢
- ⑥用木沢
- ⑦白石沢
- ⑧西沢
- ⑨大滝沢
- ⑩笹子屋沢

表1 調査地点の整備状況

調査地点	調査年	植生保護柵等設置(m)	丸太柵等土壌流出防止対策(m)	択伐等森林整備(人工林本数調整伐)(ha)
本谷川	2009	1238.0	390.0	1.5
	2012	555.0	348.0	5.5
	2014	141.0	200.0	1.1
境沢	2008	482.5	188.0	0.6
	2012	72.5	10.0	0.8
	2014	0.0	20.0	0.1
東沢	2009	410.0	0.0	0.0
	2013	0.0	4.0	0.0
仲ノ沢	2010	2300.0	820.0	5.0
	2013	0.0	30.0	0.0
	2014	151.4	152.5	1.4
	2016	320.0	60.0	0.0
白石沢	2009	1451.0	66.0	3.5
	2013	989.0	104.0	3.1
用木沢	2008	1560.0	620.0	1.2
西沢	2011	0.0	0.0	4.4
笹小屋沢	2011	0.0	0.0	2.1
	2015	84.0	472.0	5.4
大滝沢	2011	1178.0	542.0	4.1
	2015	160.0	420.0	0.5
	2016	0.0	26.0	0.0

2012年から2016年は全地点を、2017年からは前年までの調査において魚類の採捕数が多い河川を調査地点とし、2017年は東丹沢3河川(本谷川、境沢、唐沢川)と西丹沢2河川(白石沢、用木沢)、2018年は東丹沢3河川(本谷川、境沢、唐沢川)と西丹沢2河川(東沢、大滝沢)について、年1回のモニタリング調査を9月から10月に実施した。

(2) 調査項目・方法

(a) 魚類の採捕調査

魚類の生息密度や個体数、成長、栄養状態などを調べるために、調査区間内においてエレクトロフィッシャー(スミスルート社)および手網、叉手網を用いた魚類採捕を行った。区間は本谷川、境沢では200m、それ以外の地点では100mとし、

採捕は下流から上流へ遡行しながら一日のうちに2回繰り返して行った。採捕魚は、現場においてFA100(田辺製薬株式会社)で麻酔をかけたのち、体長と体重を測定し、後述の胃内容物を採取してから、調査終了後に採捕した地点へ再放流した。

(b) 魚類食性調査

魚類の食性を明らかにするために、魚類採捕調査で得られた個体からストマックポンプを用いて胃内容物を採取した。採取した胃内容物サンプルは10%ホルマリンで固定後、民間業者へ送付し、種の同定、分類単位ごとの個体数の計数および湿重量(mg)を測定した。これら測定データからPinkas *et al.*⁵⁾の餌料重要度指数(IRI_i)と、さらに餌料重要度百分率(%IRI)を次のように算出

した。

$$IRI_i = (\%Ni + \%Wi) \times \%Fi$$

$$\%IRI = IRI \div \sum IRI_i \times 100$$

ただしここで、

%Fi : 餌生物 i の出現頻度

%Ni : 餌生物 i の個体数比

%Wi : 餌生物 i の重量比

胃内容物を「水生生物」と「陸生生物」に大別する際に、水生昆虫の成虫は陸生生物とした。なお、消化物や生物破片等、同定不可能なものは上記算出に供するデータから除外した。

(c) 餌料生物調査

流下生物調査

河川を流下してくる生物を明らかにするために、調査区間内の平瀬の流心において、流下ネット（開口部の幅 60 cm×高さ 25 cm、目合い 0.5 mm）を設置し、流下生物を採集した。設置時間は 40 分間とした（落葉等でネットの目が詰まる場合は、一旦流下ネットを引き上げてから、流下生物等の採集物を回収し、再び設置するまでの時間を設置時間から除いた）。設置する場所の水深はネットの高さである 25 cm と同等もしくは浅いところを選定し、目合いより大きい全ての流下する生物を採集できるようにした。また、流下ネットの開口部を横に 3 等分する位置で流速を計測して平均流速を求め、40 分間の濾水量 (t) を算出した。採集したサンプルは 10%ホルマリンで固定したのち民間業者へ送付し、種の同定、分類単位ごとの個体数の計数および湿重量 (mg) を測定した。

底生生物調査

河床に生息する生物を明らかにするために、調査

区間内の最下流地点から概ね 0 m、25 m、50 m、75 m 地点にある計 4 箇所の瀬において、サーバーネット (25 cm×25 cm、目合い 0.493 mm(NGG38)) を用いた定量採集法により底生生物を採集した。採集したサンプルは 10%ホルマリンで固定したのち民間業者へ送付し、種の同定、分類単位ごとの個体数の計数および湿重量 (mg) を測定した。

落下生物調査

溪畔林の樹冠等から落下してくる生物をにすするために、プラスチック製の水盤トラップ (図2) を用いて、落下生物を採集した。なお、水盤トラップの大きさは 2012 年から 2013 年までは開口 69 cm×35 cm、深さ 20 cm (0.2415 m²)、2014 年以降は、開口 56 cm×34 cm、深さ 20 cm (0.1904 m²) の大きさの物を使用している。これは 2013 年の調査において、データの信頼が得られる最小の水盤トラップ面積について検討を行った結果、最小面積が 0.1728 m² 以上であれば良いことが確認されたためである (未発表)。水盤トラップの底面を 10 L の水で満たし、約 0.1% 濃度となるように界面活性剤を添加し、調査区間内の最下流地点から 0 m、25 m、50 m、75 m、100 m 地点の川岸両側に合計 10 個設置した。設置したトラップは、3 時間静置したのちにトラップ内に落下した生物を回収した。サンプルは 10%ホルマリンで固定したのち民間業者へ送付し、種の同定、分類単位ごとに個体数の計数および湿重量 (mg) を測定した。

(d) 環境調査

開空度調査

溪畔林の樹冠の状況を把握するために、開空度測定を行った。魚眼レンズ (SIGMA、4.5 mm、CIRCULAR FISHEYE) を装着したデジタルカメラ (Nikon、D3200) を用いて、河川流芯部の水面から

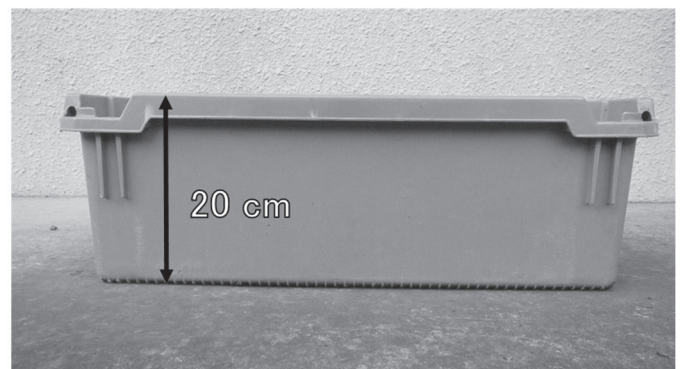
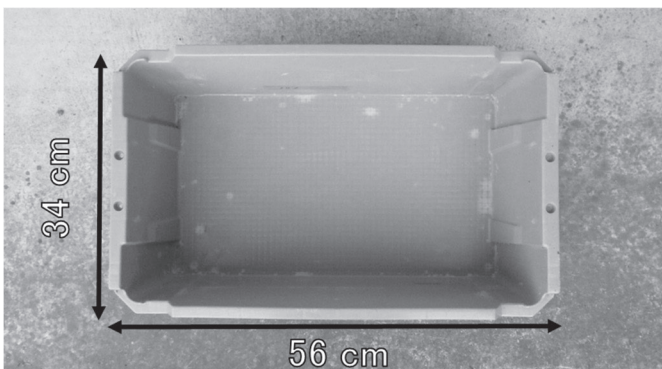


図2 落下生物水盤トラップ

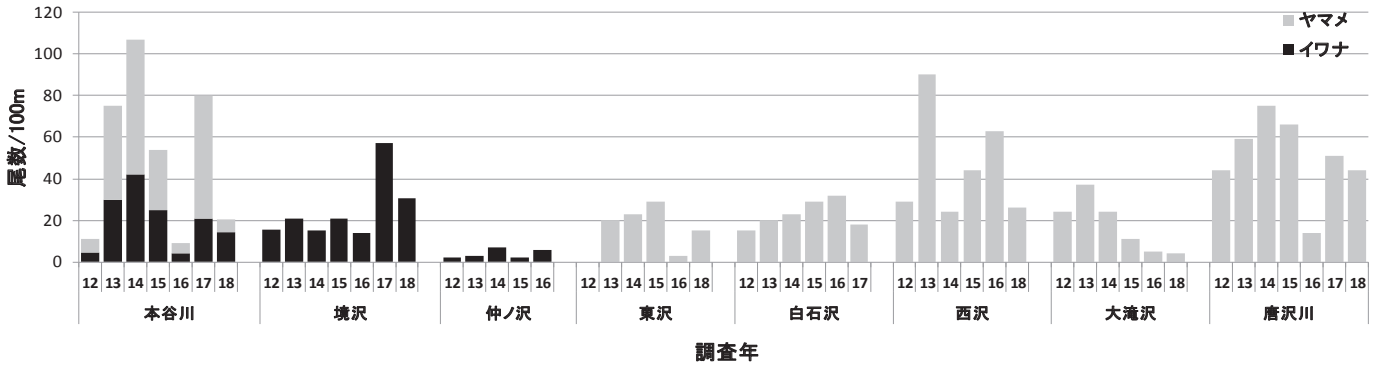


図3 魚類採捕密度の経年変化

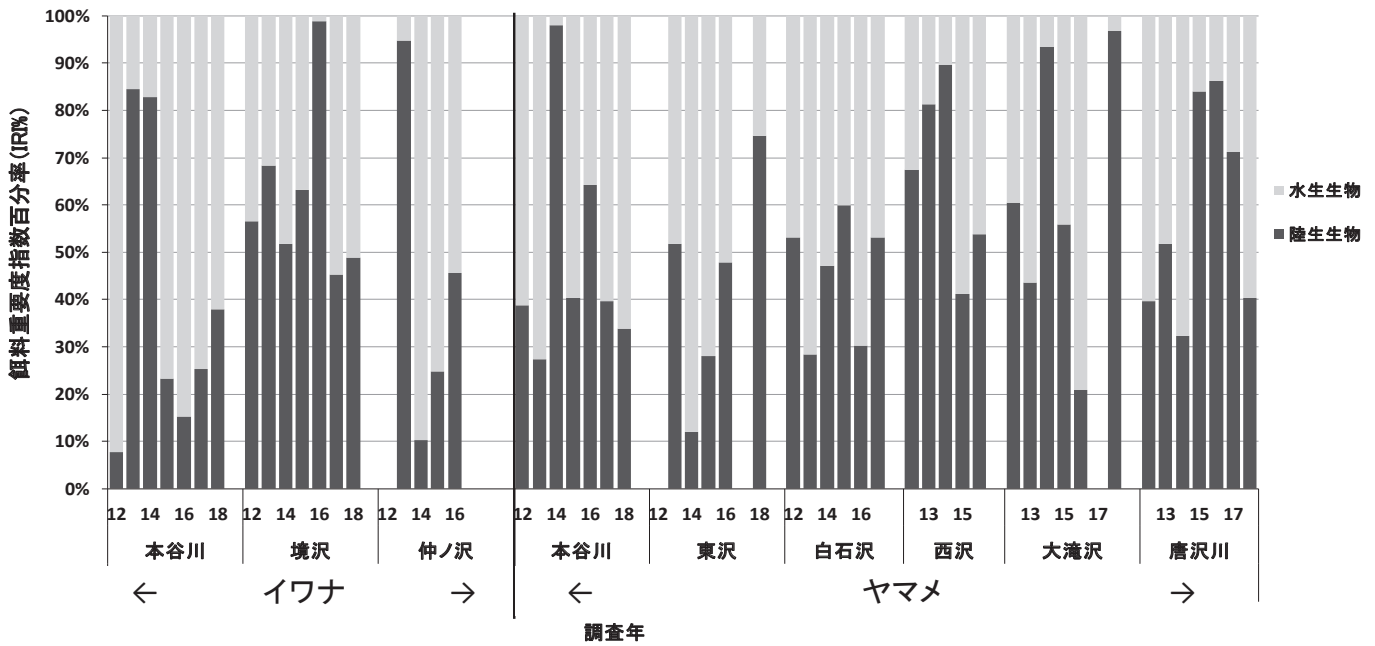
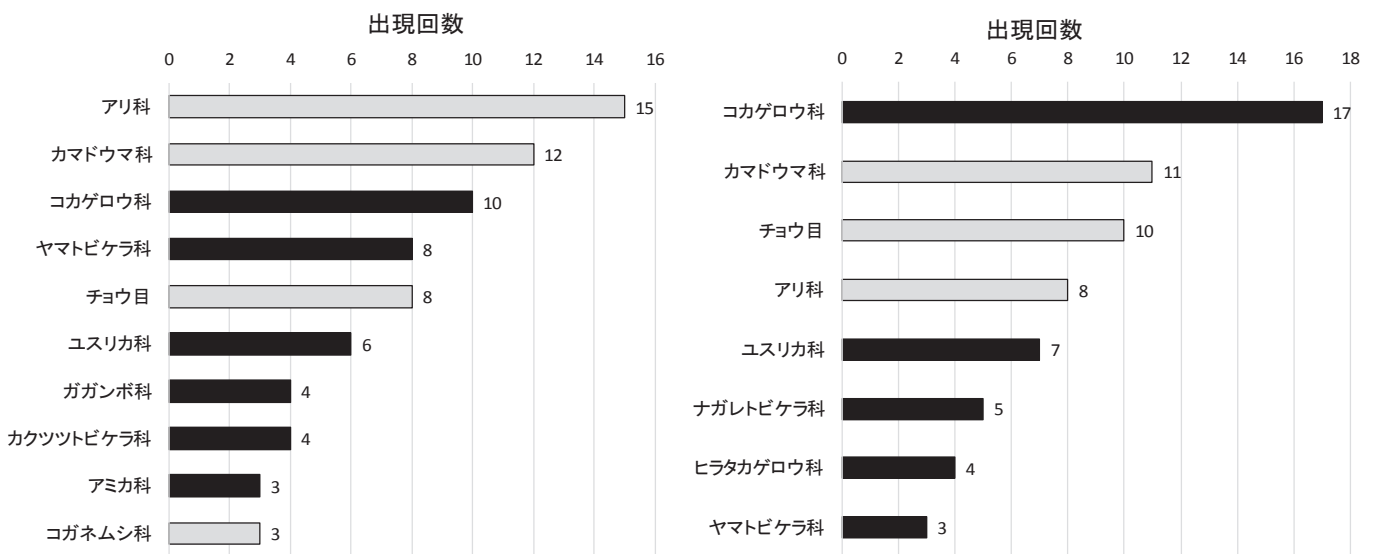


図4 胃内容物重要度指数経年変化



*2013年から2018年のデータを使用、出現回数3回以上を表示

図5 胃内容物重要度指数上位5科に含まれた回数 (左図: 東丹沢、右図: 西丹沢)

約 1 m 上方の位置で 180° の全天空写真を撮影した。撮影データはパソコンの全天空写真解析システム (CanopOn2) により空隙率を計算し、この値を開空度 (%) とした。撮影地点は、モニタリング対象河川の 0~100 m 区間を 10 m おきに 11 地点撮影した。

付着藻類調査

多くの水生生物の餌料となる付着藻類の状況を把握するために、付着藻類量の測定を行った。多波長蛍光光度計 (bbe 社、BenthoTorch) を用いて、河床の岩、巨石および石に付着しているラン藻類、ケイ藻類および緑藻類のクロロフィル量 (以下、「付着藻類量」と称する) を測定した。測定地点は、モニタリング対象河川の 0~100 m 区間を 10 m おきに 11 地点とした。なお、各地点の付着藻類量は、5~10 ヶ所の測定値の平均値を用いた。なお、付着藻類調査は 2015 年度から開始した。

結果と考察

(a) 魚類調査

各調査地点の 100 m あたりの魚類採捕密度の推移は図 3 のとおりとなった。なお、用木沢、笹小屋沢の調査範囲内において魚類は採捕されなかった。以下に各地点の傾向と考察を示す。

・ 東丹沢

本谷川はヤマメ、イワナ共に年毎によってばらつきが大きく、魚類密度が安定しない傾向にあった。特に 2016 年の調査では前年と比較し急激に密度が低下し、翌年に回復したがその後再び減少した。一方、境沢では 2016 年度まではほぼ横ばいであり、2017 年以降は生息密度が 30 尾/100 m 以上を維持している。この理由としては近年増加傾向にある集中豪雨に伴う河川の増水による魚類の流下が考えられる。2016 年の神奈川県相模湖の月別降水量⁶⁾は前年の約 5 倍であり、調査を行う 9 月以前に魚類が流下してしまった可能性が示唆される。健全な溪畔林は河川へのリターや倒木の供給により、淵の形成や流路の変化、ダム化による流れのせき止めなどにより複雑な地形を作り出し⁷⁾、河川増水時に魚類は流速の遅い淵などに退避することが知られている⁸⁾。境沢では調査区間内にある淵や、落ち込み等の数が本谷川に比べ多く、境沢では 200 m 間に 9 カ所、本谷川では 5 カ

所であった。このように退避できる構造が多かったことが魚類の流下を防ぐ要因の 1 つになったと考えられる。唐沢川においては 2016 年には魚類密度が減少したが、それ以外の年では密度は安定しており、40 尾/100 m 以上となっている。唐沢川では増水による流下が生じたとしても再遡上や再生産により密度が高水準に保たれていることが伺える。

・ 西丹沢

仲ノ沢、白石沢、西沢においては年ごとのばらつきはあるものの、調査を開始した 2012 年と比べ密度の大きな変化は見られなかった。東沢は 2016 年に大きく密度が低下したが 2018 年の調査では開始当初の密度まで回復した。大滝沢では 2013 年をピークに現在まで密度が低下していた。

魚類密度については年度でのばらつきが大きい河川が存在した。上記のとおり溪畔林が正常であれば、出水による魚類の流出は起き難いと考えられるため、大規模な出水後の魚類密度の変化をモニタリングすることで整備による溪畔林の回復等を把握できる可能性が有る。今後は採捕密度に加え、稚魚の確認や、産卵床、ペアリングの計数等を行い、再生産の状況からも整備の指標として検討する必要があると考えられる。

(b) 魚類食性調査

魚類の食性調査から陸生生物、水生生物の胃内容物重要度指数を求め、経年変化を図 4 に示した。イワナについては、境沢では水生、陸生生物の餌料重要度指数の比率は 2016 年を除き調査開始時から大きく変動しなかった。2016 年に大きく陸生生物の比率が変動した理由としては、胃内容物中の出現種から、アリ科昆虫を大量に捕食していたことが原因であると推測され、翌年 2017 年には 2016 年以前と同等の比率に戻った。仲ノ沢については、2012 年には大幅に陸生生物に傾いた結果であったが、2013 年以降は水生生物の比率が高くなった。本谷川においても 2014 年まで陸生生物に大きく偏っていたが、その後水生生物の比率が高くなった。

ヤマメについては、本谷川は 2014、2016 年に大きく陸生生物の割合が増加したが、それ以外の年に大きな変化は見られず、開始当初と同等の比率を維持していた。白石沢については年毎の増減は

あるものの、大きな変化は見られなかった。一方、東沢、大滝沢では調査開始当初に比べ、近年陸生生物の比率が高くなり、対して西沢では水生生物の比率が高くなった。基準となる唐沢川は2014年までは陸生、水生がほぼ均等であったが、2015年、2016年にかけて陸生生物が増加し、その後再び均等に戻った。

以上の結果から、調査開始当初から胃内容物重要度指数について陸生生物の比率が上昇したのは、東沢のヤマメ、大滝沢のヤマメであった。水生生物の比率が上昇したのは、本谷川のイワナ、仲ノ沢のイワナ、西沢のヤマメであった。大きな変化が起こらなかったのは、境沢のイワナ、本谷川のヤマメ、唐沢川のヤマメ、白石沢のヤマメであった。河畔林が存在する河川において陸生生物の河川への落下量、流下量が多くなるため⁹⁾、魚類がこれらを捕食する量も多くなると考えられる。胃内容物重要度指数については河川ごとに、陸生、水生生物の比率の増減は傾向が異なり、河川環境を反映していると推測され、整備事業の評価指標として利用できると考えられる。また、2013年から2018年で、胃内容物に含まれる餌生物を科レベルで分けた際に、胃内容物重要度指数が上位5位内に含まれた科の回数を東丹沢、西丹沢について比較した(図5)。東丹沢では陸生のアリ科昆虫の回数が最も高いことに対し、西丹沢では水生のコカゲロウ科幼虫の回数が最も高いなど、地域による重要な餌料生物に傾向の違いが示唆された。今後、これらの組成に着目することにより、詳細な河川特性の把握と、今後の保全の方向性について判断する材料にできると考えられる。

(c) 餌料生物調査

流下生物調査

流量1tあたりの陸生生物の個体数および湿重量を求め、経年変化を図6、7に示した。両項目については年度ごとでのばらつきが大きく、調査期間内において一定の傾向を見ることは困難であった。一方、各地点での出現種数を求めたところ、本谷川、境沢、仲ノ沢、東沢、西沢、大滝沢、笹小屋沢では出現種数が増加傾向であり、唐沢川と用木沢では減少傾向、白石沢では大きな変化は見られなかった(図8)。なお、出現種数について

2012年は採集生物の分類を目までとしていたため、2013年以降のデータとした。

上記の事から、流下生物の個体数、湿重量を整備事業の評価指標とするためには、現段階では調査密度が不足していると考えられる。また、流下生物調査は偶然性に大きく左右される場合が大きく、例えば大型の昆虫類が調査中に流下してきた場合や、偶然アリ科昆虫の巣が崩落した場合などには湿重量や個体数に非常に大きな影響を与える場合が考えられる。今後は流下ネットの設置時間や調査の回数等を検討するとともに、流下生物のデータから大型の昆虫類や流入数が一定以上の生物等、イレギュラーな要素を省いた検討も必要と考えられる。

一方、出現種数については地点により傾向が異なるデータが得られた。今後は整備状況との比較を行う事により、整備効果の指標としての利用の可能性が見えると考えられる。

底生生物調査

河床1m²あたりの個体数、湿重量を求め、経年変化を図9、10に示した。個体数、湿重量共に全調査地点にて2013年から2015年をピークとしており、用木沢、笹小屋沢を除き、その後減少傾向であった。次に出現種数についての経年変化を図11に示した。用木沢、仲ノ沢を除く全地点において出現種数は緩やかな減少傾向を示した。なお、出現種数について2012年は採集生物の分類を目までとしていたため、2013年以降のデータとした。

上記の事から、底生生物については仲ノ沢、用木沢、笹小屋沢を除いた地点において個体数、湿重量、種数が減少傾向であり、指標である唐沢川についても各項目の減少傾向が続いていることから、現在の調査は地域全体の傾向を反映している可能性があると考えられた。今後は採集された生物全体の個体数、湿重量等の動向ではなく、食性や生活様式等を解析することにより、調査地点ごとでの傾向を読み取れる詳細な経年変化の解析を行う必要があると考えられる。

落下生物調査

落下面積1m²および採集時間1時間あたりの個体数、湿重量を求め、経年変化を図12、13に示した。両項目とも調査期間内で大きな増減は見られなかった。また、出現種数については経年変化を

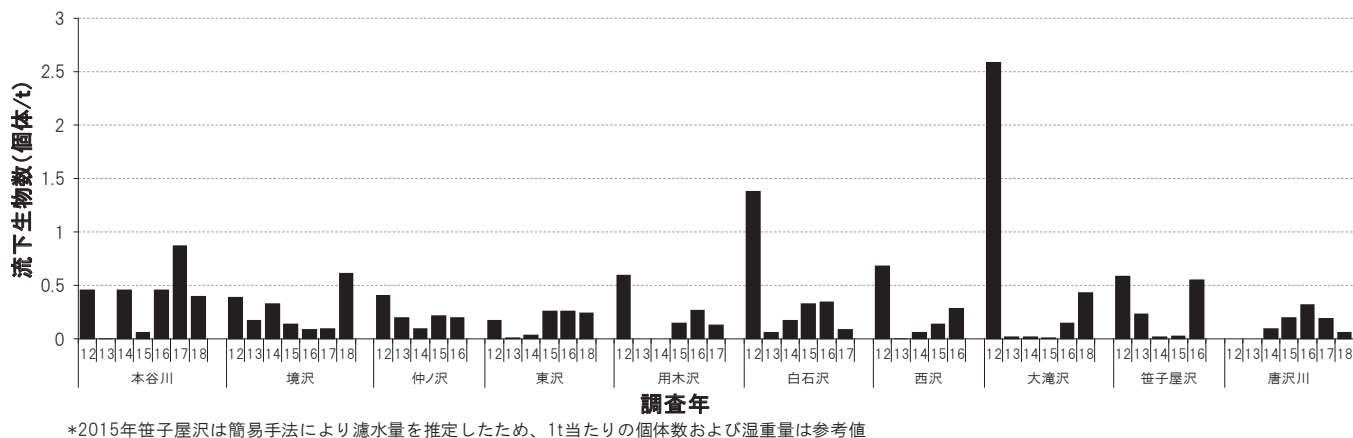


図6 流下生物個体数経年変化

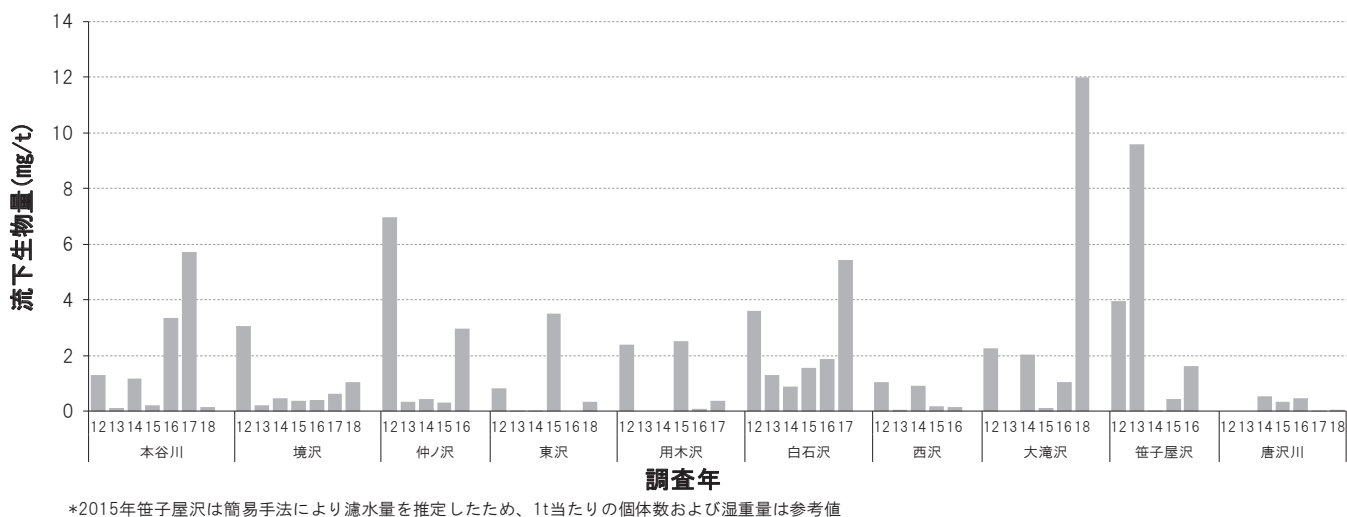


図7 流下生物湿重量経年変化

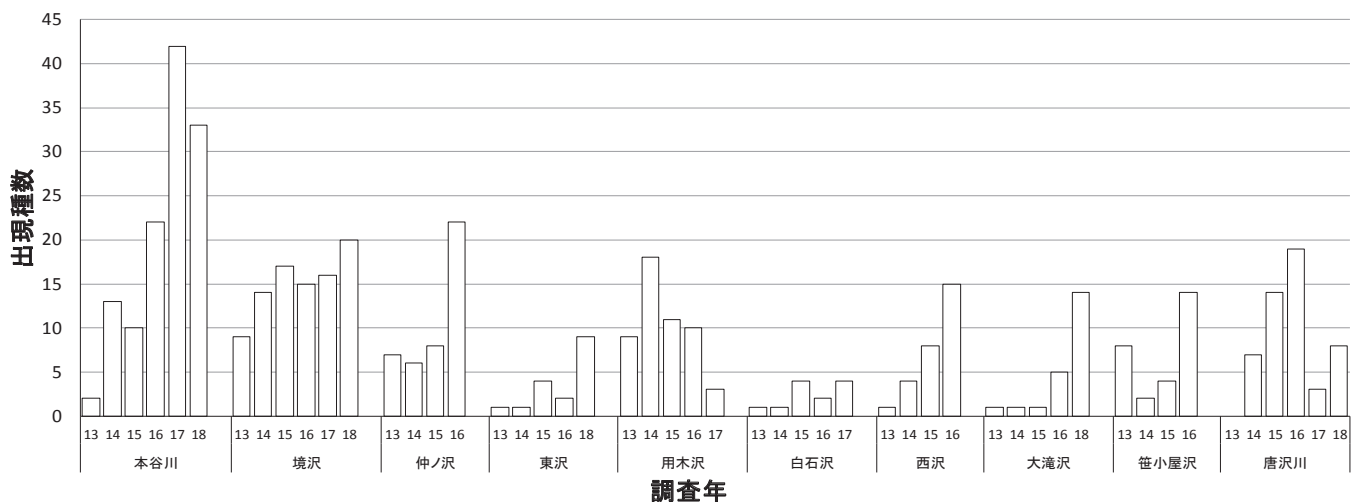


図8 流下生物出現種数経年変化

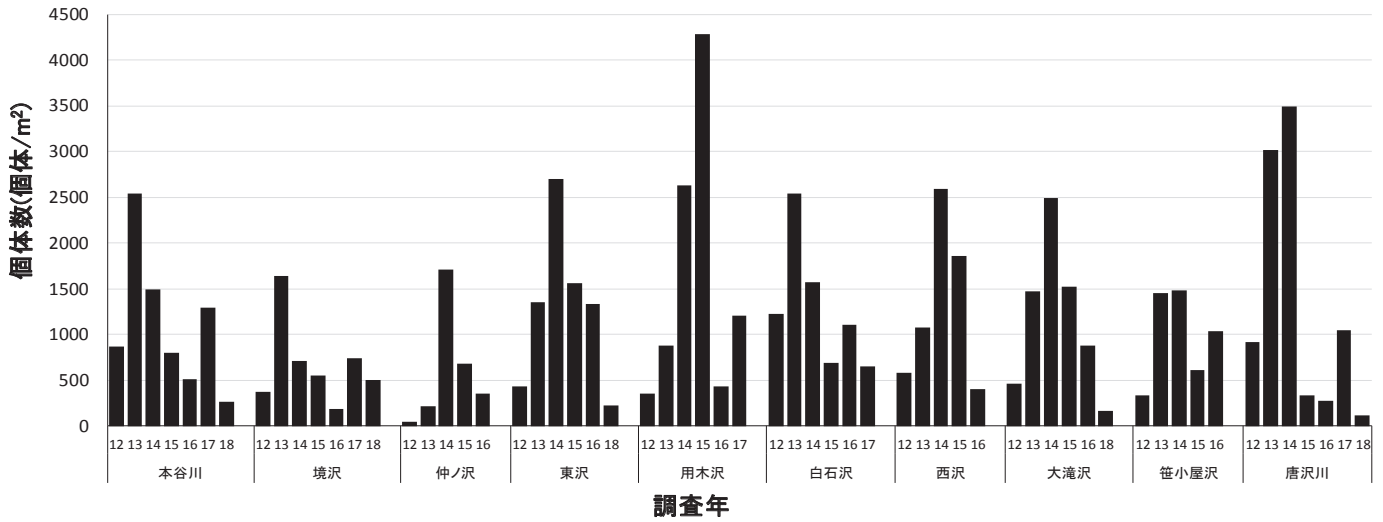


図9 底生生物個体数経年変化

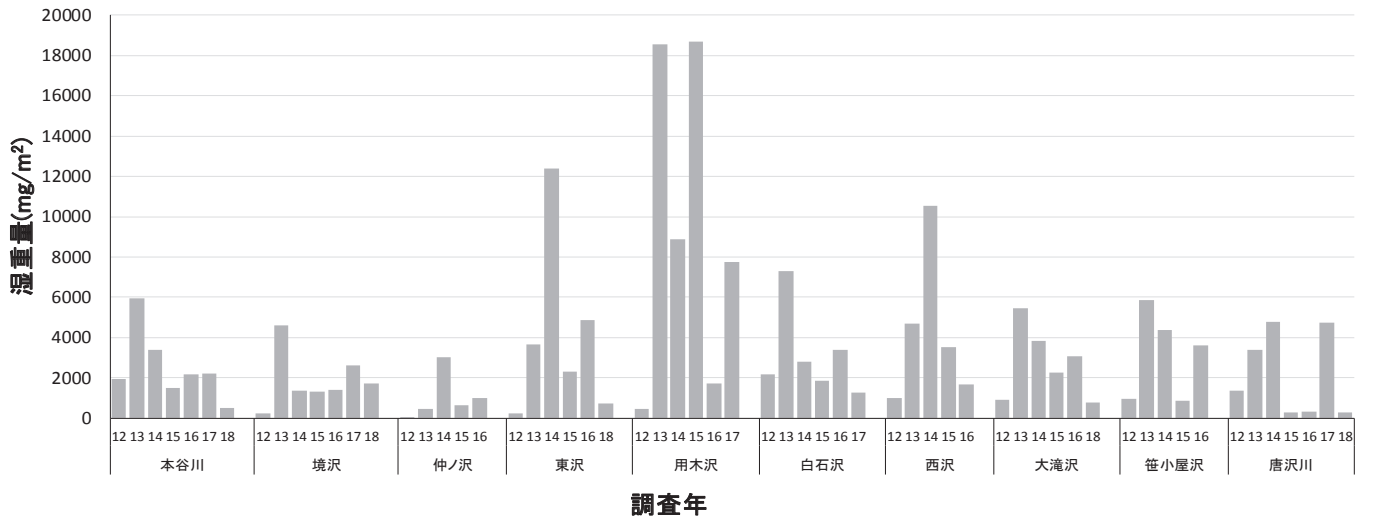


図10 底生生物湿重量経年変化

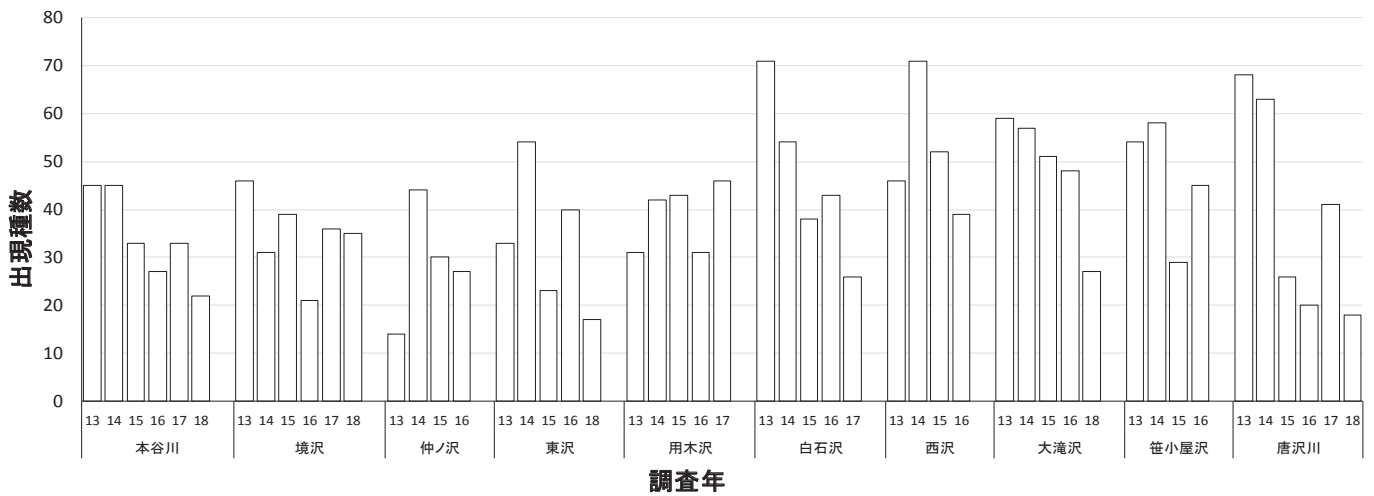


図11 底生生物出現種数経年変化

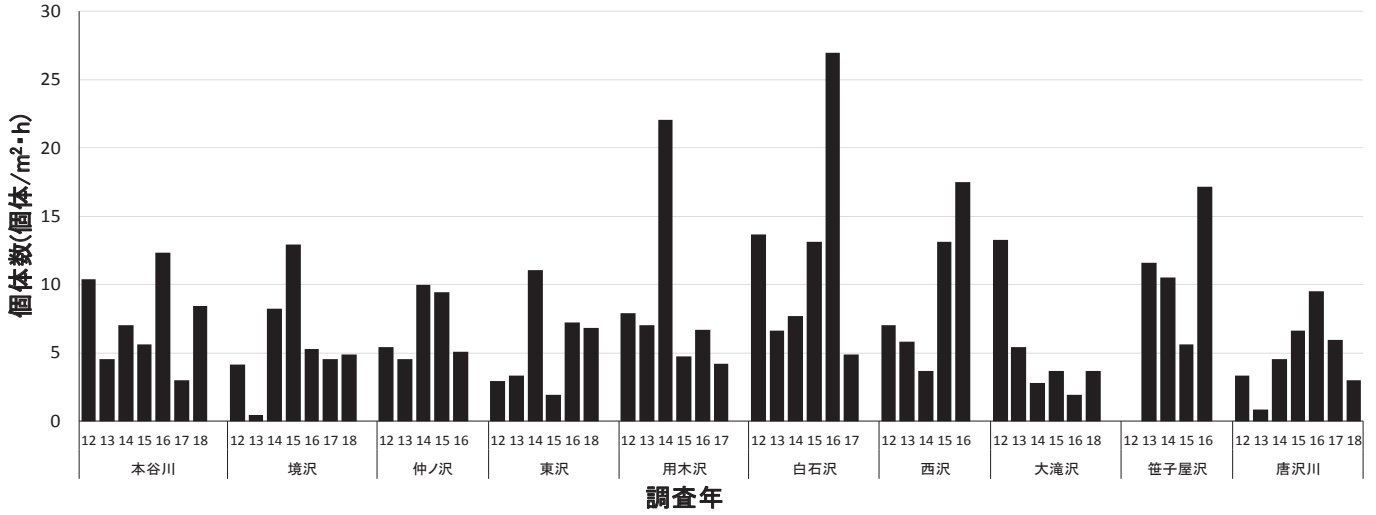


図12 落下生物個体数経年変化

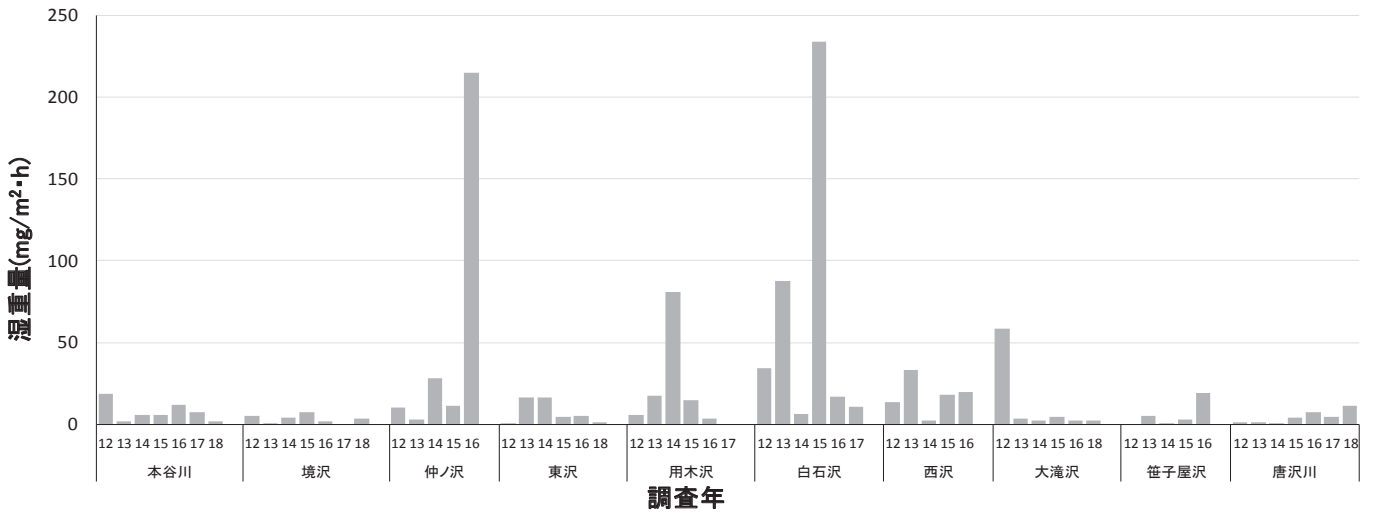


図13 落下生物湿重量経年変化

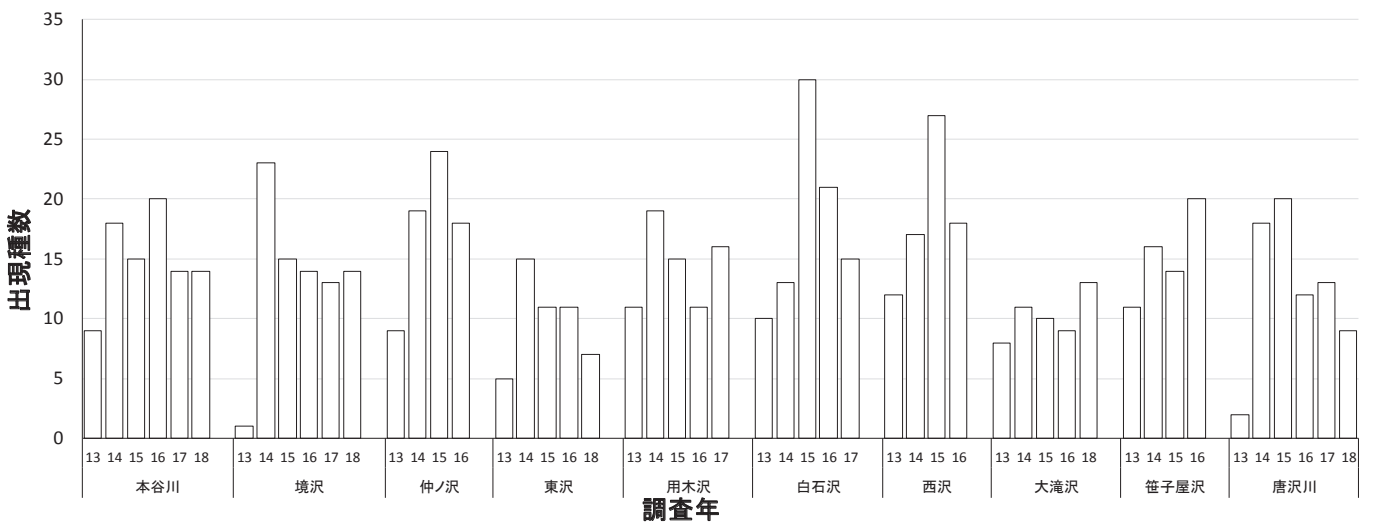


図14 落下生物出現種数経年変化

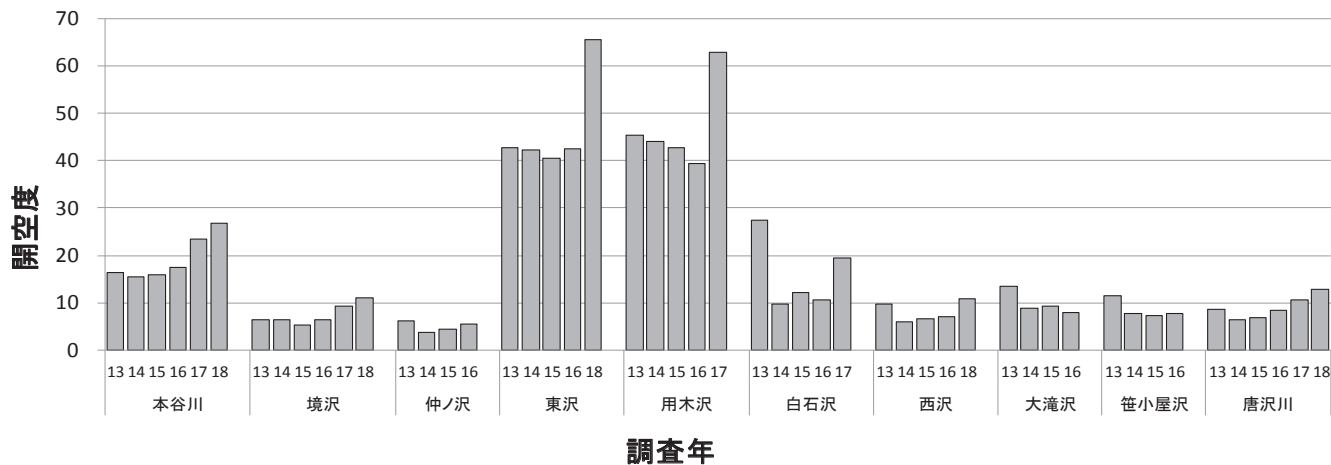


図15 開空度経年変化

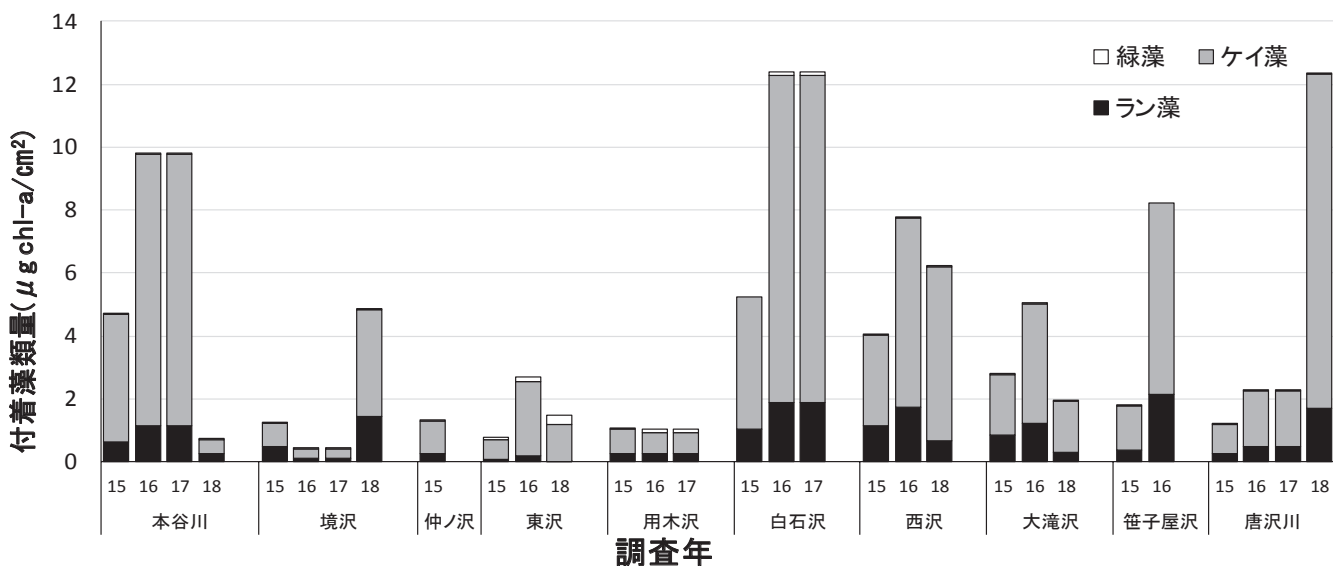


図16 付着藻類量経年変化

図14に示した。出現種数については全地点において調査開始当初に比べ増加傾向を示した。なお、出現種数について2012年は採集生物の分類を目までとしていたため、2013年以降のデータとした。

以上の事から落下生物の個体数、湿重量を整備事業の評価指標とするためには現段階では調査密度が不足している事が考えられる。今後は調査頻度、または水盤トラップの設置時間の検討を行い、適正な調査方法の検討が必要であると考えられる。また、流下生物調査と同様に落下生物調査も偶然性に大きく影響されるため、イレギュラーな要素を省いた検討も必要と考えられる。出現種

数については、全地点において同様の増加傾向が見られ、指標である唐沢川についても増加傾向であることから、調査地域全体の傾向を反映している可能性が示唆された。今後は底生生物調査と同様に、地点ごとの重要種の選定等を行い、詳細な経年変化に着目する必要があると考えられる。

**(d) 環境調査
開空度調査**

各調査地点における10mごとの開空度から、調査区間100mの平均値を算出し、経年変化を図15に示した。東沢、用木沢など、地形特性上他の調

査地点と元々の開空度が大きく異なる調査地点が存在した。調査地点による明らかな数値の差が見られることから環境指標の一つとしての利用は可能であると考えられる。しかし、東沢、用木沢以外の地点では調査開始年度から見て、大きな変動は見られなかった。植林等を行ったとしても河川を被覆するほどに樹木が成長するには数十年を要すると考えられるため、開空度について短期間での変動は起こらないと考えられる。また、開空度が高い河川では日照時間が大きくなると考えられるため、水中の付着藻類量との相関が見られるのではないかと予想したが、今回の解析では相関は見られなかった。

付着藻類調査

各調査地点 10 m ごとのデータから河川の平均付着藻類量を算出し、経年変化は図 16 のとおりとなった。緑藻はほとんどの河川でごく微量しか見られず、開空度の大きい東沢、用木沢のみ平均量が $0.1 \mu\text{g chl-a/cm}^2$ を超過した。河川ごとでの藻類量の増減には法則性が見られず、河川へ供給される光量の指標と考えられる開空度や藻類を摂食する水生生物の指標と考えられる底生生物とも相関は見られなかった。このことから現状では付着藻類を整備事業評価指標とするのは困難であると考えられ、さらなるデータの蓄積が必要であると考えられる。

総 括

2012 年から 2018 年にかけて東丹沢 3 地点、西丹沢 7 地点において魚類等と周辺の環境についてモニタリング溪畔林調査を行い、魚類採捕数、魚類胃内容物、流下生物、落下生物、底生生物、河川の開空度、付着藻類について経年変化を把握した。調査項目の内、魚類胃内容物及び流下生物の出現種数については河川ごとでの傾向の違いが見られ、整備事業の評価指標としての利用が期待できると考えられる。一方、流下生物の個体数および湿重量、落下生物の個体数および湿重量、底生生物の個体数および湿重量、そして落下生物、底生生物の出現種数、開空度、付着藻類に関するこれまでの経年変化では、類似した傾向を示す調査地点が多く、地域全体の傾向を反映していることが考えられた。また、流下生物、落下生物調査

については偶然性に左右される場合が多く、各年 1 度の調査ではデータのばらつきが生じる可能性が示唆された。今後は調査結果集計の際に大型の陸生昆虫や、個体数の多い種を除くことによりばらつきを抑えられると考えられる。また、現段階では実際の森林整備状況との比較を行っていないため、整備の内容や整備面積との各項目の比較を行い、調査項目への効果波及について精査していく予定である。

溪畔林を整備することは、溪畔林の生態的機能である日射の遮断、倒木供給、リター供給、栄養元素の交換など¹⁰⁾、河川生態系にとって非常に重要なことである。河畔林から供給されるリターは、水生昆虫の餌となり、水生昆虫は魚類の餌となる。また、溪畔林から供給される陸生昆虫も魚類の重要な栄養源となっている¹¹⁾。現在行われている整備内容は陸上環境の整備であり、その効果は陸上の林床植生の増加や、陸生昆虫の生息数、土壌の湿潤度等に波及した後に、河川生態系へ波及していくと考えられる。したがって、整備直後では溪畔林整備の効果が河川生態系まで波及していない、あるいは整備の密度や手法が河川生態系へ影響のある段階に達していない事が考えられる。今後は各項目のモニタリング調査を継続しながら、溪畔林整備効果が現段階でも波及していると考えられる陸上の環境調査の結果と照らし合わせ、河川生態系への段階的な効果波及を確認する事が重要であると考えられる。

加えて、近年の地球温暖化に伴う大型台風や集中豪雨は、神奈川県において 2010 年 9 月、2011 年 9 月の酒匂川流域での豪雨災害や 2019 年の台風 19 号による被害等を発生させており、各調査地点のみでなく、流域全体への影響が危惧されている。今後はこのような台風などによる影響について、広域の周辺環境への影響なども含めた検討が必要である。

謝 辞

本研究を行うにあたり、調査にご協力いただいた相模川漁業協同組合連合会の皆様、酒匂川漁業協同組合の皆様、神奈川ウォーターネットワークの皆様、Catch & Clean の皆様、Dream eggs ゆめたまの皆様、日本大学生物資源学部海洋生物資源

科学科の糸井史郎教授と増殖環境学研究室の皆様
様に深く感謝を申し上げます。

引用文献

- 1) 丹沢大山総合調査実行委員会(2006) : アトラス丹沢第二集 p. 4
- 2) 田村淳(2013) : 神奈川県丹沢山地におけるシカ問題の歴史と森林保全対策, 水利科学, 333, 52-66
- 3) 谷脇哲(2013) : 特集ブナ林の衰退-丹沢山地で起きていること-衰退の現状, 森林科学, 67, 2-5
- 4) 勝呂尚之・金子裕明・糸井史郎・石綿進一・齋藤和久(2007) : 丹沢の溪流魚の危機, 丹沢大山総合調査団編, 丹沢大山総合調査学術報告書, 275-320. 財団法人平岡環境科学研究所, 相模原.
- 5) Pinkas L, Oliphant M. S, and Iverson I. L. K (1971) : Food habits of Albacore, Bluefin tuna, and Bonito in California waters. Fish Bulletin 152, 1-105.
- 6) 国土交通省気象庁 : 過去の気象データ検索, <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2020.12.9 取得)
- 7) 中村太士(1995) : 河畔域における森林と河川の相互作用, 日本生体学会誌, 45, 295-300.
- 8) 中村俊六(1993) : 避難場所の確保, 「河川生態環境工学(玉井信之, 水野信彦, 中村俊六編著)」, 東京大学出版会, 東京, 167-171.
- 9) 飯野哲也(2003) : 河川中流域における魚類の餌料生物に対する河畔林の効果, 埼玉県農林総合研究センター研究報告, 3, 105-110.
- 10) 中村太士(1997) : 水辺林の生態的機能-水辺林の保全と再生に向けて-. 溪畔林研究会、日本林調査会、東京, 17-21
- 11) Furukawa-Tanaka(1985) : The ecology of salmonid fishes in Japanese mountain stream. Jap. J. Ecol., 35, pp. 481-504.