

研究助成実施報告書

助成実施年度	2021 年度
研究課題（タイトル）	高速道路凍結防止剤の流入がカワシンジュガイの生息に及ぼす影響
研究者名※	辻 盛生
所属組織※	岩手県立大学 総合政策学部 教授
研究種別	研究助成
研究分野	都市環境工学
助成金額	150 万円
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

() は、報告書提出時所属先。

大林財団 2021 年度研究助成実施報告書

所属機関名 岩手県立大学総合政策学部
申請者氏名 辻 盛生

研究課題	高速道路凍結防止剤の流入がカワシンジュガイの生息に及ぼす影響
(概要) 寒冷地の高速道路には、冬期の交通事故防止策として凍結防止剤（塩化ナトリウム）散布が行われる。高速道路排水には、時には海水濃度を超える塩化ナトリウムが含まれ、中小河川に濃度変化を与えることが明らかになった。岩手県滝沢市の小河川には、希少種であるカワシンジュガイが生息し、高速道路排水による影響が懸念される。特に、カワシンジュガイの繁殖期である気温が上昇し雪解けが進む時期に負荷量が増加し、カワシンジュガイの再生産阻害の要因である可能性が示唆された。高速道路排水には、他に生態毒性を有する亜鉛や銅、6PPD-Q（タイヤの劣化防止剤の酸化物質）が確認された。面源負荷とされる高速道路排水であるが、処理が困難な点源負荷としての性格を有する。流れ込む小河川に水質の側面から生態的な影響を与える可能性があることから、流出後に水環境への影響を減らす工夫が必要である。	

1. 研究の目的
<p>岩手県滝沢市内を流れる小河川は、盛岡市郊外の住宅地に近い身近な河川である（図-1）。その中には、都市近郊にありながら現在においてもカワシンジュガイ（以下「本種」）の生息が確認されている河川も多い。本種は、環境省のレッドデータカテゴリーの絶滅危惧IB類（EN）に属し、近い将来絶滅の恐れが指摘される希少生物であり、滝沢市において2023年2月に天然記念物に指定された。本種の幼生は、水温が10℃を上回るようになると母貝から放出されてヤマメに寄生する特異な性質を有し、40～50日ほどヤマメのエラに寄生する（近藤2008）。したがって、本種の生息にはヤマメの生息密度も影響する。また、長寿であることも知られており、60～80年の寿命であるとされる（竹内ら2016）。一方、ヨーロッパでは近縁種であるホンカワシンジュガイの生息が確認されているが、1990年代には90%以上が失われ、現在も減少が続いている（竹内ら2016）。その一因として、寒冷地においては道路の凍結防止剤の影響が指摘されている（Marsalek et al. 2003, Belamy et al. 2020）。</p> <p>木賊川は、上記滝沢市内を流れる小河川の一つであり、本種の生息が確認されている。しかしながら、生息する幼貝が極めて少なく、再生産の停滞が指摘されている（鈴木・辻2017）。辻ら（2022）は、木賊川の支流である巣子川において本種の移植実験を行った。その結果、洗車場排水によると考えられる凍結防止剤の流入が見られる最上流部において生育不良が確認された。また、巣子川下流部、木賊川の巣子川合流部付近においても、他地域の先行研究（岡田・石川1959, Akiyama 2007, 小林・近藤2008）に比べて本種の生長量は小さく、何らかの成長阻害要因の残存が懸念された。なお、巣子川には現在本種は確認されていないが、かつて多数生息したことが記録されている（佐竹ほか1984,</p>

竹内ほか 2007)。巢子川流域においては、中流に存在するニュータウンの公共下水道が未整備であった頃にそれより下流の本種が失われ、上流においては凍結防止剤の影響で失われたと考えられる。1996年以降、ニュータウンの下水道が完備され、水質の改善は確認されたことから、移植実験における巢子川下流域の成長阻害は、上流洗車場排水の凍結防止剤による可能性が考えられる。

他方で、木賊川は、東北自動車道とインターチェンジ付近で交差しており、その辺りから EC 値の上昇が確認された（辻ら 2023）。したがって、鈴木・辻（2017）で確認された木賊川における本種の再生産阻害要因や、辻ら（2022）が木賊川の巢子川合流部付近にて確認した移植実験における成長阻害要因として、高速道路からの排水の影響が懸念される。

ここでは、高速道路排水における凍結防止剤流出動態を把握すると同時に、高速道路排水の流出を確認した小河川として木賊川、市兵衛川を取りあげ、直接的な影響の把握を試みた。また、道路排水として水生生物への影響が懸念される亜鉛や銅（市木・丸岡

2018）についても、雨天時の高速道路排水において分析対象とした。さらに、タイヤの劣化防止剤として広く使用される 6PPD が酸化されて生成される 6PPD-Q について、北米においてギンザケへの致命的影響が報告された（Tian et al. 2020）

ことから、これも調査対象に含めた。

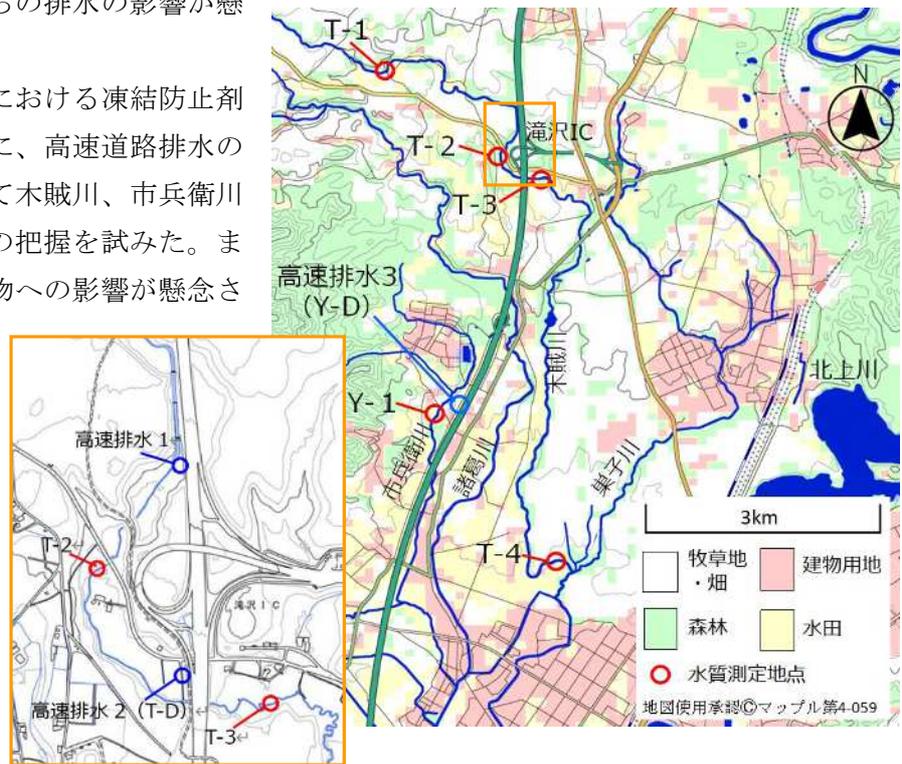


図-1 水質調査地点と周辺の土地利用の状況

2. 研究の経過

2.1 調査地概要

T-1～T-4 の 4 地点が木賊川本川の水質調査地点である（図-1）。T-1 が最上流であり、高速道路排水の影響を受けていない。T-2 は高速排水 1 の流入後、T-3 は高速排水 2（「T-D」とする）の流入後であり、T-4 は下流側の巢子川流入前である。高速排水 1 は、地理的に採水が困難であることから、T-D を調査対象とした。一方、T-D は、インターチェンジを含む高速道路排水であることから、直線部分の排水を代表する地点として、高速道と並行して流れる市兵衛川に至る湯舟沢地区の高速道路排水 3 を対象に加えた。市兵衛川の河川測定地点を Y-1、高速道路排水 3 を Y-D とした。

2.2 調査方法

T-1～T-4、Y-1 の各地点において、現地測定および採水・分析による定期水質調査を実施した。調査は 2021 年 12 月から 2022 年 10 月にかけて、12 月～2 月は月 2～3 回、それ以外の期間は月 1 回の頻度で行った。調査日は、2021 年 12 月 1 日、12 月 15 日、2022 年 1 月 13 日、2 月 4 日、2 月 18 日、2 月 28 日、3 月 28 日、4 月 26 日、5 月 25 日、6 月 24 日、7 月 25 日、8 月 22 日、9 月 28 日、10 月 25 日の

計 14 日分である。また、河川の各水質測定地点において EC 連続測定を 10 分間隔で実施した。さらに、T-2、Y-1 において河川の水位連続測定を同じく 10 分間隔で実施した。

T-D、Y-D においては、降雨の際に同様の水質調査を行った。調査日は、2021 年 12 月 25 日、12 月 30 日、2022 年 1 月 9 日、2 月 16 日、2 月 27 日、3 月 6 日、3 月 19 日、5 月 27 日、6 月 24 日、8 月 1 日、8 月 20 日、9 月 18 日、10 月 4 日、10 月 10 日、11 月 3 日、11 月 29 日、12 月 24 日、2023 年 1 月 12 日の計 18 日分である。なお、高速道路排水路はどちらもコンクリート製の U 字溝であり、管理者の許可を得て三角堰を設置し、両地点で EC および水位の連続測定を 10 分間隔で実施した。

水質調査の際には、河川を川幅に応じて横断方向に 2~5 分割し、流路幅、水深、流速から調査時の流量を算出した。流速計は小型プロペラ式 (KENEK 社 VR-201) を用いた。調査時の流量と推移連続測定の結果から H-Q 式を算出し、負荷量の算出に用いた。

気温、降水量については、盛岡アメダス観測所のデータを用いた。

T-D、Y-D については、銅 (Cu)、亜鉛 (Zn) を IPC-MS (委託分析) により測定した。なお、分析対象物質を抽出する目的で、サンプル採取前の無降雨期間が比較的長く含有濃度が高いと考えられる 6 サンプルを選定し、生物毒性があるとされる Cu、Zn、クロム (Cr)、カドミウム (Cd)、鉛 (Pb)、ニッケル (Ni) を先行して分析に供した。その結果、全サンプルにおいて Cr、Cd、Pb、Ni は検出限界以下であったことから調査対象から除き、Cu、Zn を分析対象とした。

6 PPD-Q については、岩手県工業技術センターの LC-MS-MS (Waters 社 3200Q-TRAP) を使用した。前処理は Goudong ら (2022) の方法を参考にした。

3. 研究の成果

3.1 高速道流出水の EC 連続測定

T-D、Y-D の EC 連続測定の結果、T-D では 4000mS/m を越える値が記録された。Y-D の EC 最大値は 1000~2000mS/m であった。どちらも 12 月~3 月の冬季間に記録された。EC 値の上昇は、Cl⁻、Na⁺ と高い相関が見られたことから、冬季間の EC 値の上昇は、塩化ナトリウムである凍結防止剤の流出を示すといえる。Y-D の現地測定時の最大値は、1 月 9 日の Cl⁻ 26000mg/L、Na⁺ 16000mg/L であり、海水の濃度を上回った。なお、T-D の春以降は EC 値の上昇は見られなかったが、Y-D では 300mS/m 程度の値が続く傾向が見られた。T-D の水路は雨天時のみの排水で、平常時に水はないが、Y-D は常に少量の湧出水があり、設置した三角堰が常に滞水した状態であった。

3.2 河川の EC 連続測定

河川の EC 値は、冬期以外の上昇傾向は見られなかった。冬期における T-3 と T-D、Y-1 と Y-D を比較した結果を図-2 に示す。12 月から 3 月末に至る凍結期において、T-D、Y-D 共に上昇するのは先述の通りであるが、1 月末から 2 月にかけて T-D、Y-D ともに EC 値の上昇が止まった。最も寒いこの時期には、凍結によって水の流出が止まった、あるいは凍結による欠測と考えられる。T-D、Y-D 共に、この時期 U 字溝内で水の凍結が見られた。なお、冬期の河川 EC 値の上昇を伴う T-D の最大流量は 2 月 27 日の 14.6L/s であり、気温が 3~5°C で 2~3mm/時の降雨が確認された時のものである。

EC 値の上昇が止まった厳冬期を境に、ここでは前半を「凍結期前期」、後半を「凍結期後期」とする。凍結期前期には、T-D、Y-D の EC 値 (図-2 の①) は凍結期後期の値 (図-2 の②) より高い傾向が見られた。積雪が始まると共に凍結防止剤の散布が始まり、12 月、1 月はその頻度が高かったことと一致する (表-1)。一方、河川の EC 値上昇の傾向を見ると、凍結期前期より後期の方が高い傾向が見

られた(図-2の③)。凍結期後期には、水温の上昇傾向が見られることから、凍結期前期から厳冬期にかけて路肩に凍結した雪に固定されていた凍結防止剤が、融解と共に流出したと考えられる。なお、インターチェンジ排水が含まれるT-DのEC値が直線部のY-D排水に比べて高いが、これは盛岡南ICと西根IC双方からの散布車が滝沢インターチェンジで凍結防止剤を撒きながら反転することで、散布量が重複したことが一因と考えられる。

3.2.1 凍結期におけるEC推移の特徴

高速道路排水のEC値と河川のEC値の上昇の比から河川に流出した際の希釈倍率を推定すると、木賊川においては、凍結期前期が約160倍、凍結期後期では約40倍が想定された。市兵衛川においては、凍結期前期が80~140倍、凍結期後期は約40倍が想定された。

3.2.2 凍結期における負荷量の推移

相関から、EC値をCIに換算可能であり、また、現地測定時の流量実測値と、各測定地点に設置した水位計の値からH-Q式を算出し、CI負荷量の推移をみた。T-1のCI負荷量は少なく、グラフの1g/s付近の一定量を保った。その後、図-1に示す高速排水1からの負荷を受けてT-2が上昇し、さらに高速排水2であるT-Dの負荷を受けてさらに上昇してT-3のピークが形成された。その負荷が減少することなくT-4に至った。

市兵衛川においては、Y-Dからの流出負荷量に対してY-1の負荷量がかなり大きい結果となった。これは、高速道路にY-1と同様の排水が概ね100m間隔で存在し、並行して流れる市兵衛川に対し、約1kmの区間で流入しているためと考えられる。

3.3 高速道路排水に含まれる有害物質

銅は、魚毒性が高い重金属として取りあげられることが多い。ブレーキパッドの熱伝導性を高めるために用いられる。雨水による流出で水生生物に与える影響が懸念され、米国環境保護省で2015年に使用削減を進めている(Eic ネット 2015)。日本では環境基準にその定めはないが、水質汚濁防止法では3mg/Lが当てられている。道路排水は、面源負荷に該当するとされていることから、この基準を当てはめることはできないが、今回の高速道路排水では、Y-Dの32μg/L(0.032mg/L)が最大値であった。さらに河川に至り河川水で希釈されることから、問題視する濃度であるとは考えにくい。曾根ら(2010)によると、路面排水の銅水溶性塩の濃度は0.026~0.046mg/Lとされ、本調査結果に合致する。

亜鉛は、自動車タイヤの加硫促進助剤として用いられ、タイヤの亜鉛含有量に換算すると0.8~3%

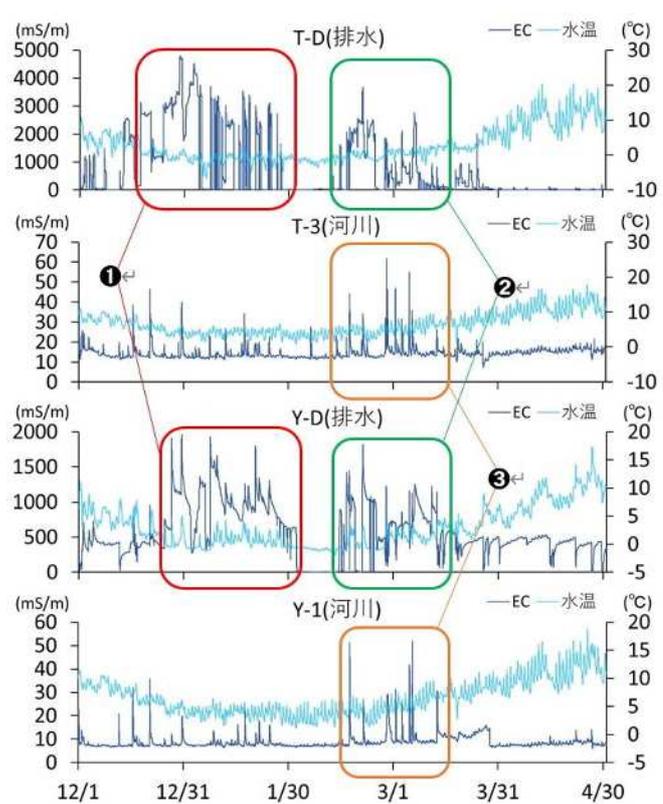


図-2 冬期における高速道路排水と河川のEC連続測定値の比較

表-1 2021年度凍結防止剤散布回数

	単位:回					
【散布】	11月	12月	1月	2月	3月	4月
盛岡南ICから	7	66	86	41	28	
西根ICから	15	106	111	61	32	1
【小型散布】	11月	12月	1月	2月	3月	4月
盛岡南ICから	1	37	58	23	14	
西根ICから		36	56	25	17	

注) 小型散布は料金所外や駐車場等
※NEXCO東日本より情報提供

程度と比較的含有量は多い（曾根ら 2010）。タイヤの消耗によって路面に残され、降雨によって流出する（内藤ら 2007）。水生生物への毒性が懸念されることから、水生生物保全関係として 2003 年に環境基準に全亜鉛として追加された。基準値は 0.03mg/L である。参考として、水質汚濁防止法の排水基準では 2mg/L が当てられている。測定したサンプルの亜鉛濃度は比較的高く、T-D の 517 μ g/L (0.52mg/L) が最大であり、T-D の平均値は 157 μ g/L (0.16mg/L)、Y-D の平均値は 96 μ g/L (0.10mg/L) であった。曾根ら (2010) の調査では、道路排水の亜鉛の水溶性化合物濃度は 0.069~0.15mg/L であり、本調査結果の方が高い傾向が見られた。

亜鉛の生物に対する慢性毒性に関するデータとして Farris et al. (1989) は、シジミ属に対して亜鉛濃度 0.034mg/L、1.1mg/L の 2 系統の生物試験を行い、対照群に比べた体重の増加が 0.034mg/L の系統では 5 割に抑えられ、1.1mg/L の系統では 5 日目以降の成長が見られなかった。Willis (1988) は、人工河川において、濃度 0.1mg/L、0.18mg/L、0.32mg/L において淡水貝であるカワコザラガイの一種で 6 ヶ月間の暴露試験を行った結果、濃度による死亡率の差は無いが、卵数が濃度の上昇と共に有意に減少する結果を示した。Kraak et al. (1994) はゼブラ貝を用いて 10 週間の毒性試験を行い、半数が影響を受けたことを示す指標である EC50 は 0.131mg/L としている。

本調査結果では、河川に至って 40~140 倍の希釈が想定される。T-D で記録された最大値である 0.52mg/L であれば、河川に至り希釈されて 0.013mg/L~0.004mg/L となり、かつ降雨時、湧出時のみの流出であることから、直接的な生態毒性が発現する値ではないと考えられる。しかしながら、点源負荷に含まれないとされる道路排水ではあるが、Zn においては希釈されて環境基準を満たす濃度である。

6PPD-Q については、ギンザケの 24 時間 LC50 値が 95ng/L (Tian et al. 2022) とされる。Brinkmann ら (2022) によると、カワマス、ニジマスにおける致死影響濃度は 0.1~0.2 μ g/L とされるが、ホッキョクイワナでは 20 μ g/L で影響が出ないなど、種間における感受性の違いが示された。本調査結果からは、T-D において 20~140ng/L、平均 72.5ng/L、Y-D では 15~50ng/L、平均 35.0ng/L であった。T-D において、ギンザケの 24 時間 LC50 値を上まわる濃度が記録されたが、河川に至り希釈されることから本結果からは影響は少ないと結論づけられる。しかし、銅や亜鉛と同様に、高速道路排水から 6PPD-Q の流出が本調査地においても発生していることが明らかになった。

3.4 カワシシユガイへの影響の推定

本種の生態と凍結防止剤の流出時期の関係を見てみよう。図-3 は、冬季間における木賊川 (T-3)、市兵衛川 (Y-1) の EC 値の推移を示したものである。

凍結期後期に EC 値の最大値が上昇する傾向が見られ、これがそれぞれ T-D、Y-D からの排水に含まれる凍結防止剤の影響を示すものであることは先述のとおりである。一方、本種は、水温が 10 $^{\circ}$ C 以上になると幼生を放出する（近藤 2008）とされる。図-3 の 3 月末から 4 月にかけて幼生放出期に該当するが、受精などの生殖行動はそれ以前の生殖期に行われていたことになる。生殖期は、気温が上昇して雪解けが盛んになる凍結期後期にあ

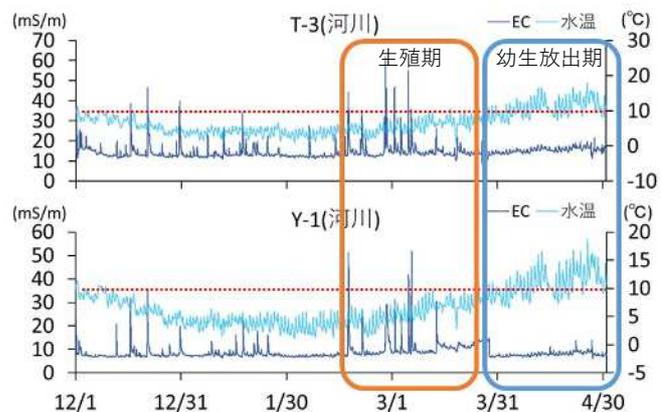


図-3 河川の EC 値上昇と水温の関係

り、河川において EC 値が上昇する時期と合致する。EC 値の変動幅は、水中の Cl⁻、Na⁺濃度の変化を示し、水生生物にとっては直接的な影響だけではなく、浸透圧の変化などのストレスを与えると考えられる。先行研究においても、凍結防止剤の影響と考えられる本種の成長抑制が明らかになっており（辻ら 2022）、さらに生殖期においては影響を受けやすいと考えられることから、本種の再生産の低迷の一因になっていることを否定できない。さらに、水生生物への毒性が指摘される Cu、Zn、6PPD-Q の流出が年間を通して確認された。Zn は、排水そのものでは環境基準を上まわる濃度であった。高速道路排水が点源負荷としての性質が強いことを意味する。河川に至って希釈されることにより、その影響は生物検定で検証可能な濃度よりも低くなっているものの、影響は完全に否定できるものではない。カワシンジュガイは滝沢市において天然記念物に指定されるなど、生物多様性の象徴的な位置づけであり、本種を保全することは、広く流域の水環境と共に生息する生物を保全し、地域の付加価値を上げることにつながると考える。宿主であるヤマメの減少なども要因として残るが、希少種保全の観点からの対応が必要といえる。

3.5. 対策案

ところで、滝沢 IC が開通したのは 1979～1980 年とされており、今から 43 年ほど前である。木賊川には本種は生息するものの、現在中流付近まで再生産が確認できない状況である。本種の寿命は 60～80 年（竹内ら 2016）とされることから、高速道路排水の流入時期と再生産が阻害され始めた時期が符合すると考えることもできる。他方で、宿主であるヤマメの木賊川流域の生息密度が低いことも確認しており、高速道路排水が本種再生産の阻害原因であると断言はできない。しかしながら、本報告で示したように一因であることは否定できず、もし、原因が高速道路排水であったならば、近い将来木賊川の本種は失われる。その回避に向けて、生物多様性保全においても予防原則に則った取組が必要（環境省 2017）である。NEXCO 東日本への聞き取り調査の結果では、高速道路の排水系統の変更は困難であり、各自治体との協力がなければ難しいとのことであった。したがって、高速道路から流出後、河川に至る前の対応が必要となる。大雨による増水は木賊川に流して良く、凍結期後期の塩分濃度の高い排水（ここでは、約 15L/s 程度）および有害物質が多く含まれるとされる初期降雨の木賊川への流入が防げるだけの流下面積を持った水路をつくれないうだろうか。ただし、この案は木賊川に残存するカワシンジュガイの保全を主体としたものであり、諸葛川の生物への悪影響が懸念される。あらかじめ諸葛川の生物調査は必要であろう。地域で知恵を出し合い、天然記念物に指定された本種の永続に向けた模索が必要である。

4. 今後の課題

2019 年に実施した木賊川中流域におけるカワシンジュガイの分布状況と比較可能な現在の分布状況を調査し、増減の比較により生息状況を確認する。

本種の幼生の宿主であるヤマメの木賊川中流域における分布や移動阻害要因を確認し、宿主の分布状況による影響の波及状況を把握する。

木賊川下流部で最近確認された本種の再生産状況およびヤマメの生息密度を確認し、併せて EC 連続測定を行うことで、上記中流部との比較を行う。

絶滅危惧種であり滝沢市天然記念物指定種であるカワシンジュガイが生育する木賊川への高速道路排水を迂回させ、本種が既に失われた近隣の諸葛川への放流の可能性を模索する。