

チスジノリがよみがえる川づくりに向けた 検証実験方策の検討（兵庫県安室川^{やすむろがわ}）

Study on verification test methods for river restoration for endangered *Thorea okadae*
(Yasumuro River, Hyogo Prefecture)

研究第一部 主任研究員 辻 光浩
研究第一部 部長 水野 雅光
研究第一部 主任研究員 齊藤 重人
研究第四部 研究員 池田 正
八千代エンジニアリング(株) 眞間 修一

安室川^{やすむろがわ}は、兵庫県南西部にある二級河川千種川^{ちくさがわ}の支川である。平成7年以降絶滅危惧種であるチスジノリの生育が確認されなくなったことから、チスジノリ等貴重藻類の生育環境および良質で多様な生態系の保全・再生が課題となっていた。

昨年度には、安室川流域の特徴および変遷を踏まえた自然再生計画の検討内容、とりわけチスジノリの生育に密接な関係にある湧水箇所とチスジノリ生育箇所との重ね合わせ分析によるチスジノリの生育環境の評価内容について報告をしたところである。

本稿は、自然再生計画の具体化を進めるためにチスジノリの生活サイクルの「仮説」を立て、その上で検討した安室川自然再生計画の重点施策のうち、フラッシュ放流の検証実験方策の検討内容を報告するものである。

キーワード：安室川、自然再生、チスジノリ、貴重藻類、湧水、フラッシュ放流、川を耕す

The Yasumuro River is a tributary of the Chikusa River, a Class B river in the southwestern part of Hyogo Prefecture. The endangered algal species *Thorea okadae* (*chisujinori*) has not been sighted since 1995. The conservation and restoration, therefore, of the habitats of rare algal species including *Thorea okadae* and an excellent, diverse ecosystem have become an urgent priority. In 2003, we reported on considerations in drawing up a nature restoration plan in view of the characteristics and history of the Yasumuro River basin, particularly on the evaluation of the habitat of *Thorea okadae* through overlay analyses of the locations of water springs, which are closely related to the growth of *Thorea okadae*, and of the habitat locations of *Thorea okadae*. In this study, a hypothesis about the life cycle of *Thorea okadae* was formed to develop a concrete nature restoration plan, and priority measures to be implemented under the nature restoration plan for the Yasumuro River were identified. This paper reports on the study of verification test methods for flushing release, which is one of the priority measures thus identified.

Keywords : *Yasumuro River, nature restoration, Thorea okadae, rare algal species, flushing release, river cultivation*

1. はじめに

安室川は、兵庫県南西部にある二級河川千種川の支川である。平成7年以降絶滅危惧種であるチスジノリの生育が確認されなくなったことから、チスジノリ等貴重藻類の生育環境および良質で多様な生態系の保全・再生が課題となっていた。

そこで、本調査研究では、チスジノリがよみがえる河川環境の再生を一目的とした「安室川自然再生計画」において、重点施策の詳細を検討したものである。

ここでは、チスジノリの生活サイクルをふまえた重点施策のうち、フラッシュ放流の検討内容について報告する。

2. 対象地の概要

安室川は、兵庫県南部の最西端にある赤穂郡上郡町に位置し、千種川に流入する流域面積65km²、流路延長17kmの二級河川である。

安室川の特徴は、河道内湧水の存在とチスジノリ等の貴重藻類の生育である。昭和30年頃から「珍しい藻」として地元で知られており、チスジノリとしての生育が学問的に確認されたのは、平成3年11月が最初である。

チスジノリが生育している下流エリア（山野里上井堰下流～千種川合流点堰）は、1/400～1/600の河床勾配を持ち、河川沿いに低平地が分布する中流域の様相を呈している。



図-1 安室川流域図



図-2 安室川のチスジノリ

3. 安室川の課題・目標

前述のとおり、安室川の特徴は、河道内湧水の存在とチスジノリの生育である。しかし、近年、その生育数が激減している。平成6年には1,000株以上の確認があったが、平成7年3月を最後に平成16年1月までの約9年間は、全く生育が確認されなかった。

これは、安室川の河川改修、ほ場整備などの流域内の社会・経済活動の進展など河川を取り巻く環境の変化が、湧水の減少、河床への微細粒分の堆積、瀬・淵の小規模化や消失、水質変化を招き、その結果チスジノリが生育しにくい河川環境へと変化したものと推測される。

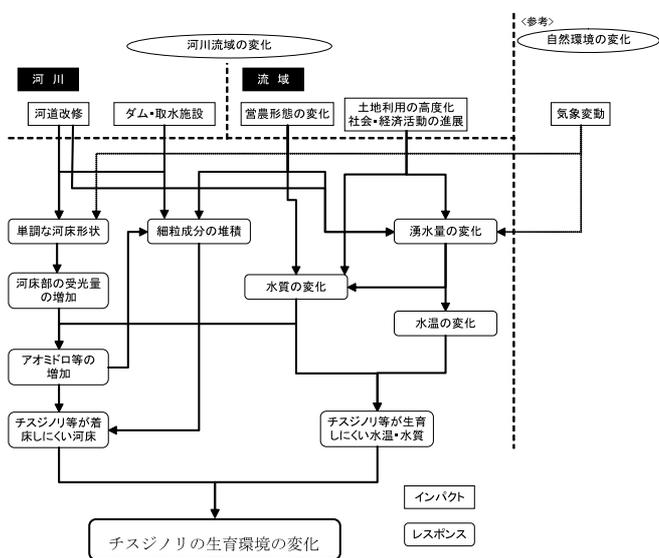


図-3 チスジノリ生育環境に関するインパクトレスポンス

そこで、治水・利水上の機能とバランスさせながら多様な生態系の保全・復元、とりわけチスジノリが生息しやすい環境を保全・復元することが必要と考え、「安室川自然再生計画」を検討した。

安室川の目指すべき姿として、2つの目標を設定するとともに、重点的に実施する施策を検討している。

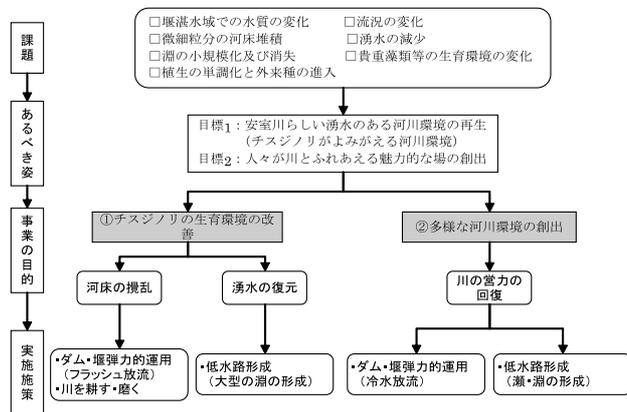


図-4 安室川の課題と自然再生計画重点実施施策

4. 作業仮説の検討

前項のとおり、重点施策実施目的の1つである「チスジノリの生育環境の改善」については、「河床のかく乱」の目的から「フラッシュ放流、川を耕す施策」を、「湧水の復元」の目的から「大型の淵形成」を位置付けている。

しかし、平成15年度検討では、重点施策の手法、効果をチスジノリの生活サイクルと対応させて位置付けることができなかった。

そこで、今回検討においては、安室川自然再生のシンボルとなるチスジノリの生活サイクルを想定した。さらに、重点施策がその生活サイクルのどの段階の外的要因に関与するのかを明確にした上で、自然再生に効果的となる施策の規模、実施時期について検討した。

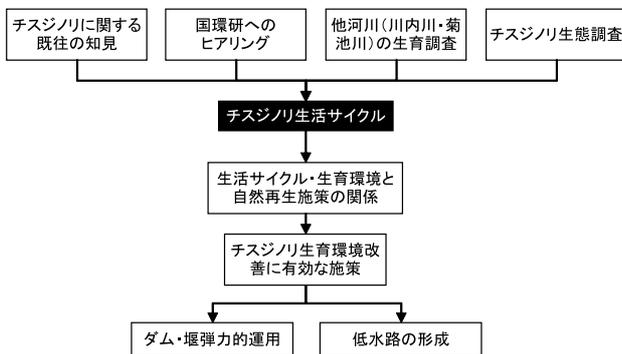


図-5 チスジノリ生活サイクルと自然再生施策

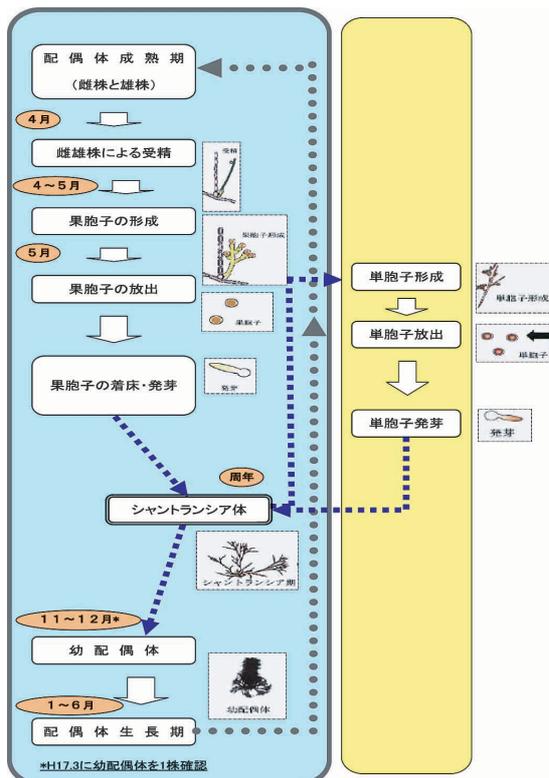


図-6 チスジノリの生活サイクル

4-1 チスジノリの生活サイクルの推定

図-5のとおり、安室川及びその他河川でのチスジノリに関する既往資料を収集・整理するとともに、安室川において調査したチスジノリ生態調査結果に基づき、安室川チスジノリの生活サイクルに関する仮説を検討した。

(1) 他河川の生育状況

安室川におけるチスジノリの生育環境の参考とするため、チスジノリが現在も生育し、生育地が国の天然記念物に指定されている川内川（鹿児島県菱刈町）、菊池川（熊本県山鹿市）の生育状況を把握した。

その結果、チスジノリの生育環境として、次の類似点が抽出できた。

- ① 常時、水深・流速が保たれていること
- ② 水深・流速が保たれる要素として、周辺の温泉が挙げられること。(安室川では湧水)
- ③ チスジノリの生育に不可欠な付着基質が、存在すること。付着基質は、レキ（こぶし大程度）のみでなく護岸や河床ブロックの場合もあること

(2) 安室川チスジノリ生態調査

安室川のチスジノリ生育状況および生育環境に関する調査を行った。確認できた写真および推定したチスジノリの生活サイクルを図-6、7に示す。

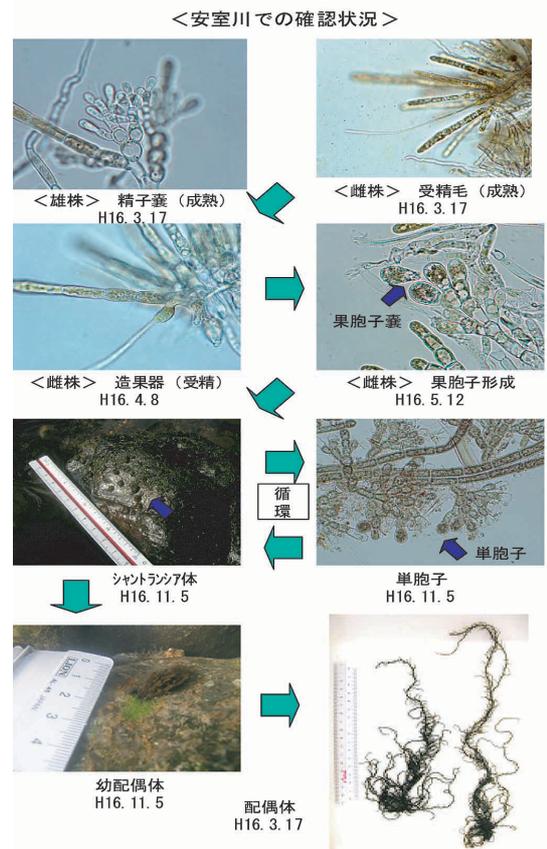


図-7 安室川での確認状況

チスジノリ生態調査の結果、確認できた事項は次のとおりである。

- ① 配偶体に関するデータ
出現時期、成熟過程、
- ② ショントランシア体に関するデータ
※ショントランシア体とは、配偶体に成長する前段階のものを指す。
- ③ 生育環境の場に関するデータ
水温、水質、水深、流速、河床材料

4-2 チスジノリの生活サイクルにおける外的インパクトの推定

推定したチスジノリの生活サイクルに基づいて、各成長段階毎に寄与する外的要因と自然再生重点施策との関係を整理した。図-8に「チスジノリ生活サイクルと生育環境」を示す。

推定したチスジノリの生活サイクルにおいて、各成長段階に寄与する外的要因を推定している。

1) チスジノリが生育するための必須条件

チスジノリが生育する必須条件として、恒常的な水の存在、安定した水温、適度な水深と流速が挙げられる。これは、生活サイクルのどの段階でも共通して必要となる条件と捉えることができ、生態調査でも確認されている基本条件であるからである。

2) 果胞子の着床・発芽条件

5月から7月期に生じる果胞子の着床・発芽条件として、湧水の環境下にあること、河床材料に細粒分の堆積・付着が少ないこと、一定の水深と流速が保たれていることが挙げられる。

湧水環境は、発芽に適した水温・水質環境の安定的な形成に寄与し（条件A）、細粒分の過度な堆積・付着は、果胞子の河床礫質への着床を妨げる要素（条件B）であること、また、一定の水深と流速は、果胞子の分散に不可欠の要素（条件C）と考えられるからである。これら条件A～Cについては、チスジノリ生育が確認されている今年度の夏季生態調査でも確認されている条件である。

3) ショントランシア体の生育条件

7月～10月期に果胞子または単胞子が発芽すると、ショントランシア体に成長する。ショントランシア体とは、配偶体に成長する前段階のものであり、安室川では今年度のチスジノリ生態調査において初めて確認された。つまり、チスジノリが生息しやすい環境を保全・復元することは、ショントランシア体が生育できる環境を保全することであることが判明したのである。

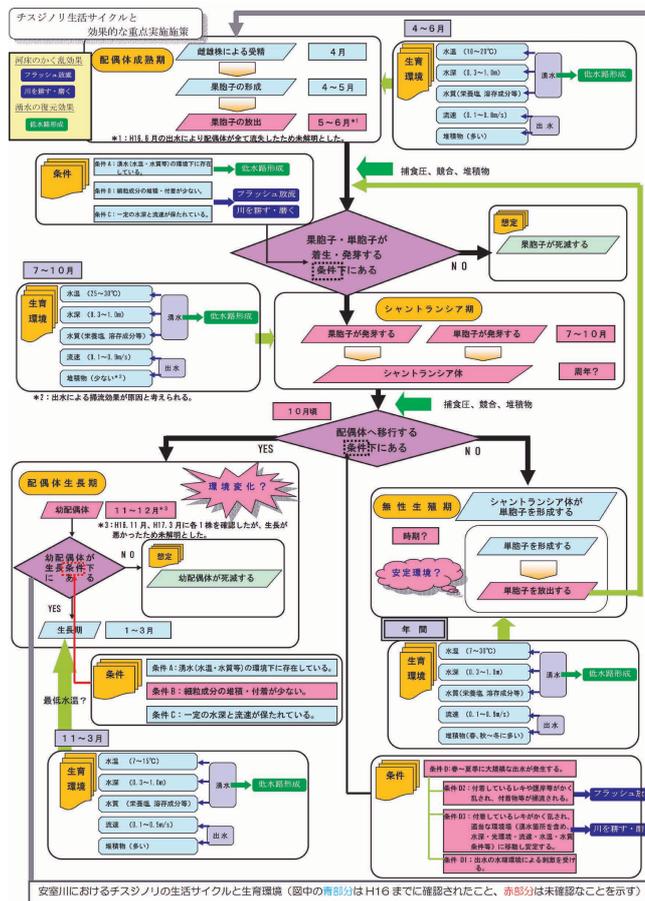


図-8 チスジノリの生活サイクルと生育環境

ショントランシア体の生育環境の条件としては、湧水環境（適度な水温、水深、水質）の存在、適度な水深と流速、堆積物が少ない環境であることが挙げられる。これらは、今年度の生態調査でも確認されている生育条件である。

なお、ショントランシア体は、配偶体へ移行する場合と移行しない場合があること、移行しない場合は、必要な生育環境が満たされていれば周年生育し単胞子の形成、放出、単胞子の発芽が繰り返されていることが推定される。

4) ショントランシア体から配偶体への移行条件

10月頃に生じるショントランシア体から配偶体への移行条件として、夏季の大規模出水の発生が挙げられる。この理由の一つとして、安室川において平成15年8月に出水があり、平成16年1月に約9年ぶりにチスジノリの生育が確認された事実があるからである。

大規模出水の発生による条件変化を、次のように整理した。第一に洪水の発生自体が、ショントランシア体への直接的な水理上の刺激となる可能性があること（条件D1）。第二に、洪水により河床の物理的条件変化が生じ、配偶体へ移行する条件が満足されること。

つまり、洪水で河床が大きく攪乱されることで、果

胞子の着床している礫質の表面に付着していた①藻類や細粒分がはく離し、配偶体への移行が促進される可能性（条件D2）、および②果胞子の着床している礫質が湧水環境などの適当な環境の場合（水深、流速、光環境、水温、水質）へ移動し、適正な水温条件により配偶体への移行が促進される可能性（条件D3）を想定した。

なお、これら条件D1～3は現時点では不確実性を伴うものであり、今後のチスジノリ生態調査の中で証明する必要のある仮説である。

4-3 外的インパクトと自然再生施策との関連

推定した生活サイクルにおける重要な外的インパクトと、これまでに検討してきた自然再生施策との関連性を整理した（図-9）。チスジノリ生活サイクルの仮説に基づき、チスジノリがよみがえる河川環境として、以下が必要と判断している。

- ① シェントランシア体が配偶体へ移行するための夏季の出水による河床のかく乱（堆積物の掃流・付着藻類の剥離・湧水環境への移動）
- ② シェントランシア体が周年生育するための適当な生育環境（堆積物付着物少・湧水・水深・流速・水温・水質）

これらは、夏期にある程度の出水が見込まれる場合、自然状態で確保されるものである。

したがって、自然状態でこれら要素が欠けた場合には、チスジノリの生育環境を確保するため、補助的に同等の効果を与える必要がある。

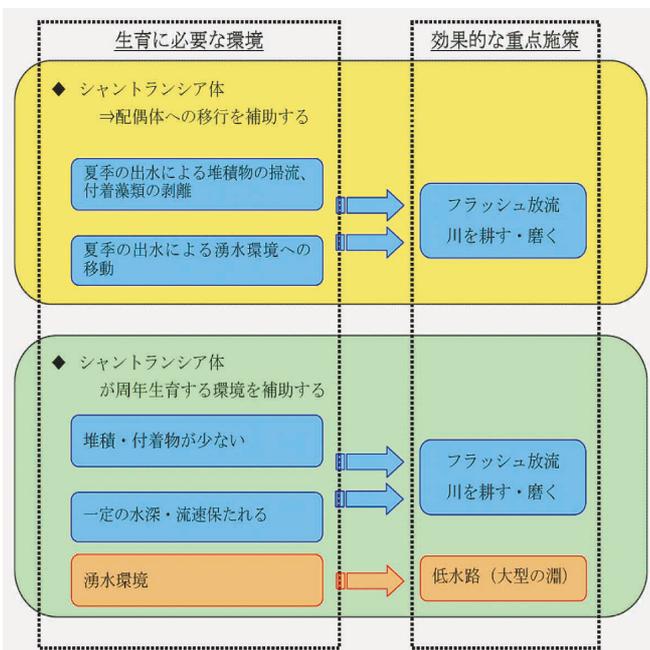


図-9 チスジノリの生育環境と重点施策

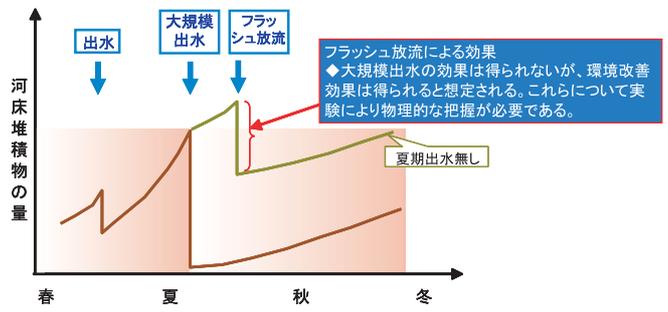


図-10 河床堆積物の年変化とフラッシュ放流の効果

そのためには、フラッシュ放流、川を耕す・磨く等の施策が有効と考えられる。フラッシュ放流は、安室川の取水堰を利用した小洪水（放流規模は10m³/s程度）を発生させるものであり、①に対して有効な施策である。川を耕す・磨くは、河床のレキをひっくり返したり、護岸を磨くことでチスジノリの生育環境の場をかく乱し、新たな生育の場を与えるものであり、①②に対して有効な施策である。

また、低水路形状を人工的に改変し湧水を再生することも有効であり、重点施策として挙げているが、紙面の都合により、本稿では「フラッシュ放流」についてのみ以下に詳しく述べる。

5. フラッシュ放流の具体的検討

フラッシュ放流の具体的内容は、事例調査および安室川の特徴から検討した。

① 目標とする水理諸量の設定

水理諸量は、チスジノリの着床を妨げている付着藻類の剥離、及び微細粒分の流下を促進するため、他事例による付着藻類の剥離に関する水理的な知見、及び安室川に堆積している微細粒分の粒径より設定した。

表-1 フラッシュ放流の目標とする諸量の設定

目的	目的の設定期由	目標とする水理諸量	水理諸量の設定期由	実現の可能性
付着藻類の剥離促進	◆河床に堆積している微細粒分は0.006mm以下の細かい粒子である(H15調査)。この粒径をフラッシュ放流の対象とした場合に必要流量は1m ³ /s不等流計算で十分あり、平水～低水流量程度で十分である。	◆他事例 ^{※1)} によると付着藻類は平均流速>0.8m/s(掃流力換算τ>1.6N/m ²)で剥離量が増加することから同値を目標値と設定する。	◆今年、チスジノリ配偶体(及びシェントランシア)が確認されている箇所での平水時流速は大きい時に1.5m/s程度(H15現地調査表面流速測定結果)であったことが確認されている。また、H16.9.28洪水後でもチスジノリの生育が確認されていることから、目標流速は平均的な流速 ^{※1)} >0.6m/s程度	◆複数の堰を利用したフラッシュ放流により目標の掃流力を確保することが可能であると考えられる。
微細粒分の流下促進	◆しかし、微細粒分は付着藻類に多く付着していることが調査から確認されていること、また洪水のない時期に多く堆積している現状からも平水流量程度では掃流力が不足している。	◆したがって、微細粒分を堆積している付着藻類の剥離と堆積している微細粒分の流下促進を目的としたフラッシュ放流(小規模洪水)を実施目的とする。	◆H16.9.29洪水ピーク時の平均流速は2~3m/s程度、移動距離約15cm程度(不等流計算結果と想定される)。	◆なお、目標水理諸量を概ね満足する流量での移動距離粒径を参考値として整理する。小石程度が掃流することによって、石表面のフラッシュ効果も期待できる。

※1 チスジノリの生育箇所(過去を含む)で縦断的に目標水理諸量を確保する。

※2 水理による藻類の剥離に関する実験的データ ダム技術 No.170(2001.2)

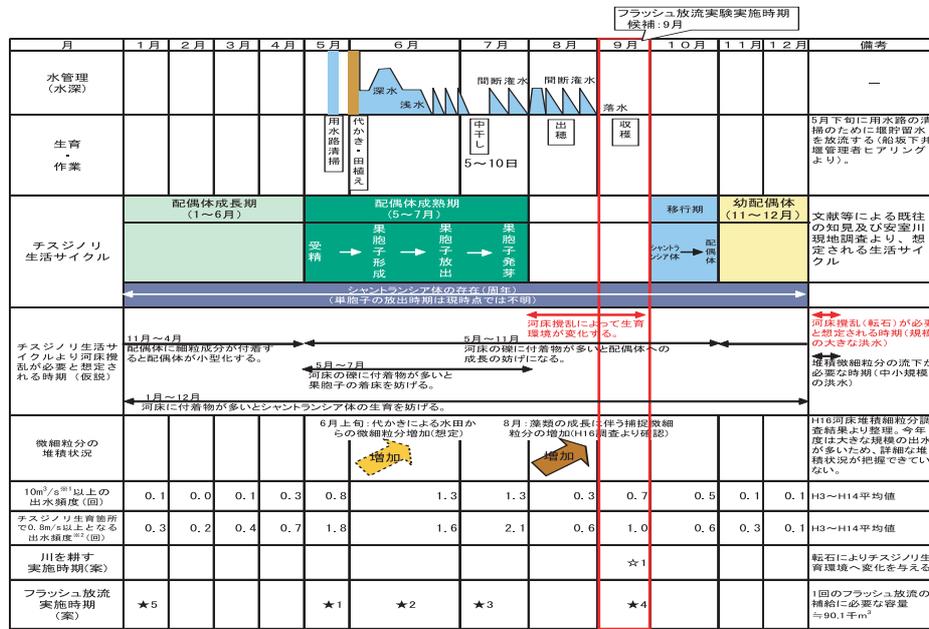
② 実施時期の検討

フラッシュ放流の実施時期は、農業用水利用状況、チスジノリの生活サイクル、月別の平均的な出水頻度及び微細粒分の堆積状況より設定を行った。

表-2および図-11にフラッシュ放流時期の設定、およびその根拠を示す。また、図-12にフラッシュ放流に期待する効果を示す。

表-2 フラッシュ放流実施時期根拠

マーク	実施時期	目的	備考	実施により大きな効果が期待される時期	実験実施時期(案)及び選定理由
★1	5月下旬	チスジノリ果胞子着床の促進	用水路清掃の為の堰放流を利用		
★2	6月中旬(代かき後)	チスジノリ果胞子着床の促進 代かき後微細粒分流出促進		●	◇代かき後の微細粒分の流出促進により、チスジノリ果胞子の着床が促進される。
★3	7月上旬	少降雨時の微細粒分流出促進	取水の必要ない中干し期間を利用		
★4	9月	少降雨時の微細粒分流出促進		●	◇夏期に大きな出水がない場合に堆積している微細粒分を掃流させる。 ◇川を耕す施策(転石)と併用することで良好なチスジノリ生育環境を作り出せる。
★5	1月	チスジノリ配偶体の成長促進			● ①非かんがい期であり農業への影響なし ②降雨が少ない時期で、実験実施が容易 ③対象流量は2年に1回程度発生しているため、放流によるチスジノリへの影響はない



※1 小規模出水頻度の目安として出水頻度を整理した。なお、目標流速0.8m/sは、5~10m³/s程度の流量でチスジノリの生育箇所(過去も含む)にて根柢確保できる水理量である。
※2 9m³/s以上の出水頻度を整理した。H16チスジノリの主生育箇所(No=11)において流速0.8m/sを超える流量規模は、約9m³/s程度以上である。

図-11 フラッシュ放流時期の設定

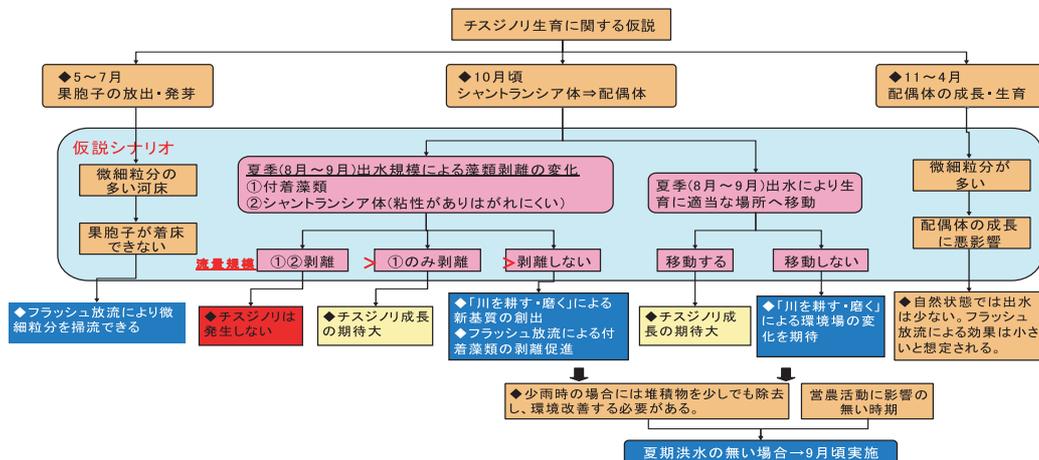


図-12 フラッシュ放流の効果

③ 放流パターンの検討

放流量・放流波形・放流時間等の放流パターンは、表-3の考えに基づき設定した。

表-3 放流パターン設定の考え方

項目	設定の考え方	設定方法	備考
放流量	千種川合流点でも目標水理諸量を確保できる流量とする。	一次元不定流計算により堰で対応可能な流量規模・放流波形であるか確認する。	
放流波形	複数の堰を利用し、放流波形を重ね合わせることでインパクトを調整する。		活用井堰 ①山野里上井堰（ゴム） ②鳥の元井堰（ゴム） ③麦尻井堰（鋼製） ④船坂下井堰（鋼製） ⑤船坂上井堰（鋼製）
放流時間	1回のフラッシュ放流で微細粒分が、千種川合流点まで流下可能な放流時間を区間距離と目標水理諸量より1時間と設定。		区間距離=約3.0km 目標流速>0.8m/s ∴放流時間=1時間

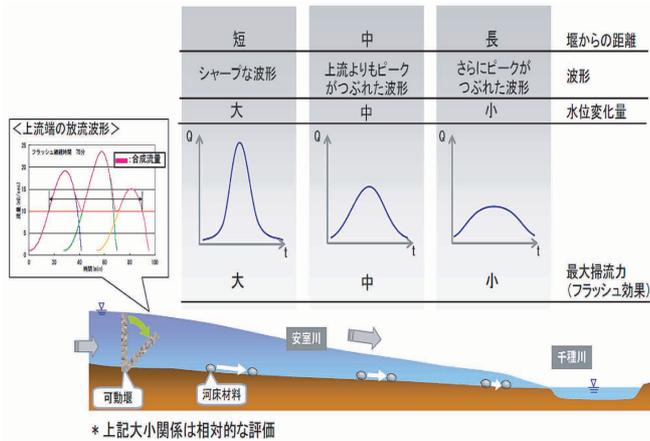


図-13 フラッシュ放流の縦断的な波形イメージ

④ 実施方法

安室川で行うフラッシュ放流は、井堰を利用したものであるため、放流によって井堰に堆積している底泥が河道に分散されてしまうというデメリットがある。

そこで、フラッシュ放流実施により、井堰に堆積した底泥が河道内に蓄積されないことを考慮し、2回セットの放流を考えた。

- ◆1回目：現河床の藻類剥離、堆積微細粒分の掃流、堰貯水池内の底泥の掃流
- ◆2回目：1回目の放流によって河道内に分散した堰からの底泥の掃流

また、農業用取水堰の貯留水を利用したフラッシュ放流であるため、放流後は速やかな用水の補給が必要となる。

そのため、上流の安室ダムからの用水補給を行う期

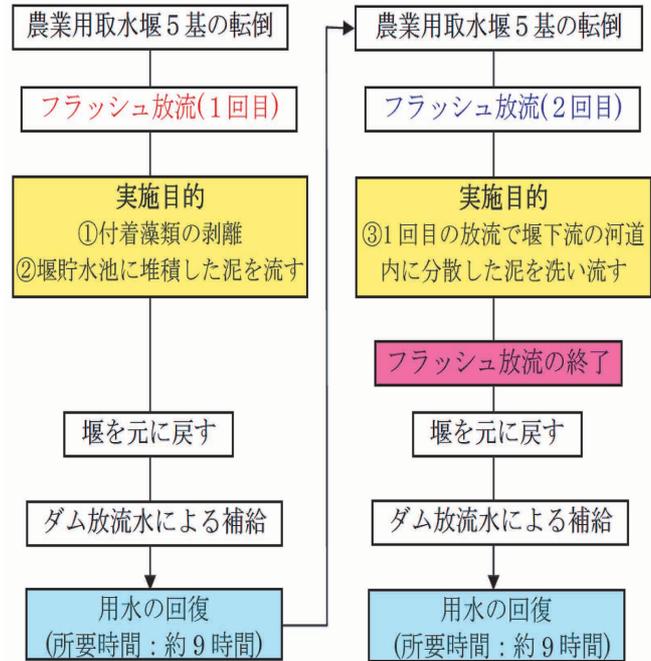


図-14 フラッシュ放流実施方法（案）

間を見込み、その補給に必要となる時間は、約9時間と想定した。図-14に、フラッシュ放流実施フローを示す。

⑤ モニタリング項目

モニタリングは、安室川の現状や変化を着実に把握すること、事業実施前に想定したインパクトレスポンスと比較し自然再生計画にフィードバックすること、今回想定した作業仮説の検証を行うことから、不可欠である。

重点施策であるフラッシュ放流検証解析のためのモニタリング調査項目は表-4のとおり設定し、放流前後及び放流中に実施することとしている。

6. フラッシュ放流実験の実施

今回検討したフラッシュ放流の実施にあたっては、不確実性を含んでいるため、フラッシュ放流実験を行った後、本格実施をすることとしている。

フラッシュ放流を施策として実施するには、次の課題を解決することが必要であるととらえている。

実験実施により、これらの課題の具体的解決策を見出すこと、かつさらなる課題の抽出を行うことを期待している。

① 地域との連携

放流時に協力の不可欠となる上郡町・井堰管理者・水利権者・地元住民等とは、実施方法・体制等について十分な協議が必要となる。

表一4 フラッシュ放流のモニタリング項目

実施目的			
フラッシュ放流検証解析のためのデータ収集			
	指標項目	調査項目	調査方法及び頻度
流量・河床・水質調査	流量の変化	水位・流量調査	定期的な流量観測、定常的な水位観測
	河床状況の変化	細粒成分堆積状況の変化	目視による堆積状況の確認
			河床材料調査(細粒土砂も含む)
			トラップ箱による土砂の捕捉
			置砂による土砂移動(掃流力)の把握
強熱減量調査			
	淀み水の掃流状況	目視による淀み状況の確認	
水質・水温の変化	河川水質調査	BOD、T-N、T-P、SS、DOの計測	
動植物及びダム・堰渾水部調査	生物の多様性	底生動物調査	採取による種数、個体数の計測
	貴重藻類の生育状況	附着藻類の剥離	目視による繁茂状況の確認
			採取による種数の計測
			クロロフィル計測(植物プランクトン量の指標)
			フェオフィチン計測(藻類の死細胞量の指標)
	堰渾水域環境の変化	底質調査	強熱減量調査
水温・水質		水温、BOD、T-N、T-P、SS、DOの計測	
底泥ボリューム		縦横断測量	
	堰貯留量の変化	回復時間の計測	
ダム容量の変化	貯水容量の把握	容量の変化を確認	

②安室ダム利用可能容量の確保

フラッシュ放流後の農業用水の回復に利用できる安室ダム利水容量の確保が事前に必要である。

③堰貯水量回復時の減水区間の発生

堰貯水量回復時に、堰区間下流に一時的にはあるが減水区間が発生する可能性がある。自然再生施策が現在の河川環境に与える悪影響を最小化するために、これまでの堰貯水量回復における運用ルール、堰区間下流残流域からの流入量等を調査し、減水区間発生の規模、程度について確認する必要がある。

④安全性の確保

下流まで十分な放流効果を得るために設定した放流波形では、急激な水位上昇の発生が想定される。したがって、事前の周知及び万全の安全管理体制の確保が必要である。

7. 今後の課題

今回の検討では、チスジノリの生育状況、生育環境調査を元にチスジノリの生活サイクルのシナリオを想定し、各成長段階の環境条件について仮説を設定した。

この環境条件に関する仮説を踏まえ、安室川自然再生計画重点施策の具体的検討を行った。

しかし、現時点では定量的かつ客観的にとらえられているデータが少ないことから、今後は、特に次の2点について調査検討すべきと考えている。

①チスジノリ生育環境条件の明確化

チスジノリの生活環境に関しては不明確な部分も多く、重点施策の妥当性を検証する上でも、今後の継続調査によるチスジノリ生育条件に関する裏付けが不可欠である。

そのため、今後も、チスジノリの生育状況、生育環境の調査を行い、データを蓄積するとともに、生育環境の評価を行うことが大切である。

②フラッシュ放流等自然再生重点施策の物理的効果の検証

フラッシュ放流等の物理的効果の検証を行うため、地域と連携した実験等を実施し効果検証を行うとともに、チスジノリ生活シナリオとの整合をふまえ、重点施策の本格実施を行う。

8. おわりに

自然再生施策を実現するためには、市民、自治体、河川管理者が緊密な連携協力体制を築き、具体的に行動することが必要である。安室川流域では、千種川圏域清流づくり委員会をはじめとするNPO活動が盛んであり、今回検討したフラッシュ放流や川を耕す施策についても、協働して実施できることを期待する。

最後になりましたが、本研究の遂行にあたり、「安室川自然再生計画検討会」の学識・地元委員各位、関係行政機関各位には、ご指導および有益なご助言をいただきました。ここに厚くお礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) 平成6年度チスジノリ生態調査報告書：国土交通省九州地方整備局菊池川河川事務所（1995）
- 2) 兵庫県安室川産の淡水産紅藻チスジノリとチスジノリ属2種の日本における分布：瀬戸良三・右田清治・真殿克磨・熊野茂（1993）
- 3) チスジノリ生態系調査：兵庫県上郡土木事務所（1995）
- 4) 財団法人リバーフロント整備センター：リバーフロント研究所報告第15号（2004）
- 5) ダムの弾力的管理試験の実施事例：財団法人ダム水源地環境整備センター（2004）
- 6) 水流による藻類の剥離に関する実験的研究：ダム技術No.173（2001）