激特事業における河川環境の保全と再生のあり方

Conservation and restoration of river environments in serious disaster special emergency projects

研究第三部　主任研究員　**小熊　一正**
技術普及部　部　　長　**佐合　純造**
研究第四部　次　　長　**内藤　正彦**
研究第四部　主任研究員　**田渕　昌之**

五ヶ瀬水系北川では、平成9年9月の台風19号に伴う出水によって大規模な災害が発生した。河口から16.5kmの延長で激甚災害特別緊急事業（以下「激特事業」という）に指定され、大規模な河川改修工事が行われることとなった。

この北川は豊かな自然を残している河川であり、この自然環境を出来る限り保全することを目的として、様々な取り組みがなされてきた。この取り組みによって河川生態の理解が深められたと同時に、河川環境の管理技術への応用がなされてきた。

北川での調査・研究を通じて蓄積されてきた知見を整理し、激特事業における河川環境の保全と再生の取り組みの成果を活用して、五ヶ瀬川で実施されている激特事業においても、河川環境に対する評価・検討に適用できるよう検討を行っており、本稿では北川の激特事業の後の出水による砂州地形の変化と砂州での植生域の変動の定量解析、高水敷掘削後の植物種の多様性の変化、ワンドの維持管理、ハマガニ等の生息環境と保全について報告する。

キーワード：激特事業、河川環境、河川生態系、砂州、干潟、ワンド、底生生物

In the Kita River of the Gokase River System, a large-scale disaster was caused by flash floods associated with typhoon No. 19 in September 1997. The area within 16.5 km from the mouth of the river was designated as an area for a serious disaster special emergency project (hereinafter referred to as the “Special Emergency Project”), and large-scale river improvement work was planned to be carried out.

The Kita River is richly endowed with nature. To conserve this natural environment to the maximum extent possible, various efforts have been made. These efforts deepened an understanding of river ecology, and they were applied to management techniques for the river environment.

After giving the results of a research study on the Kita River and using the results of these activities for the conservation and restoration of the river environment in the Special Emergency Project, we consider how these results should be applied to the evaluation and consideration of a river environment in the Special Emergency Project which is being carried out in the Gokase River. This paper reports on post-Special Emergency Project quantitative analyses on a change in the shape of sandbars caused by flash floods and vegetation areas within them, a change in the diversity of plant species after the excavation of flood channels, maintenance of artificial backwaters, the habitat environment of *Chasmagnathus convexus* and other creatures, and their conservation.

Key wordb*：*serious disaster special emergency project, river environment, river ecology, sandbar, tideland, artificial backwater, benthos

1. はじめに

北川は、宮崎県の北部を流れる一級水系五ヶ瀬川の一次支川で、流域面積587km^2、幹線流路延長50.9kmの自然が豊かな河川である。この北川では、平成9年9月の台風19号に伴う出水により堤防が2ヶ所で決壊し、1,894戸が床上浸水する大きな災害が発生した。これにより、再度の災害発生を防ぐために、熊田地区から下流16.5kmの区間が激特事業に指定され、大規模な河川改修工事が行われ、環境がその目的に盛り込まれた河川法の改正後の最初の激特事業となった。この事業においては、豊かな自然環境をできるだけ保全するために、低水路の掘削はできるだけ避けて、河畔林の存置を考慮した樹木の伐採や平水位以上に制限した高水敷の掘削によって河積の拡大などが行われた。

図－1　五ヶ瀬川水系[1)]

2. 河川生態学術研究会北川研究グループ

河川改修事業の具体的方策を検討した北川「川づくり」検討委員会は、自然環境の保全を図るために、工事と同時にモニタリング調査の実施を決めていた。その中、河川生態学術研究会では、研究目的の一つであるインパクト・レスポンスの検討の場として北川を選定し、平成11年に北川研究グループを発足している。

平成15年度までの第1フェーズの研究成果は、平成16年5月に研究報告書「北川の総合研究－激特事業対象区間を中心として－」としてまとめられた。

その後、平成16年からはテーマを「河川環境の維持・管理・再生」とした第2フェーズの研究をすすめ、平成21年2月に研究報告書「北川の総合研究－河川環境の保全と再生のあり方－」としてまとめられた。

以下、激特事業において行われた研究の成果について報告する。

3. 激特事業後の出水による砂州地形の変化

3－1　河道改修の現状

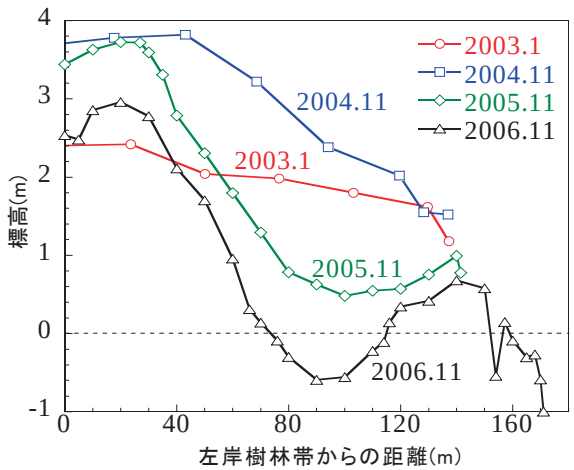
河道改修の多くは流下能力の増大を目的としているが、その手段のうち、河道掘削が実際には多く用いられている。近年、河道掘削等の河道設計を実施する際に、その効果と影響について、治水と環境の両面から検討する必要性が高まってきている。しかし、河道掘削後に、出水を経験し、時間とともに現れる掘削の効果と影響については、必ずしも十分に考慮できずに河道掘削形状を検討しているのが現状である。効果的かつ効率的な河道管理を実施するためにも河道掘削後の効果と影響を把握し、予測する事が重要である。

3－2　砂州地形の変化の概要

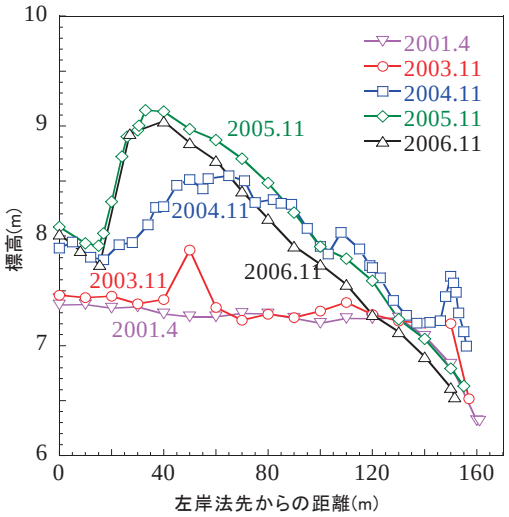
的野砂州と川坂砂州は、激特事業により平水位+1mで平坦に掘削されたが、その後の出水によって、砂州地形が大きく変化した。

激特事業後の現地調査から、的野砂州では約5,000m^3/sの出水等で砂礫が最大約2m堆積したが、その後の約4,200m^3/s、約1,800m^3/sの出水で洗掘が生じている（図－2）。これは、主流部が砂州中央部に移動したことによるものと考えられる。また、川坂砂州は約2,000m^3/s以下の出水では大きな地形変化を生じていなかったが、約5,000m^3/s、約4,200m^3/sの出水により最大で1.5m程度の堆積が生じている（図－3）。これは砂州上に向かう主流によって砂礫の輸送量が増大するとともに、川幅の変化や砂礫堆の形成によって砂州上で掃流力が低下したためと考えられる。

これらによって、的野砂州は洗掘傾向、川坂砂州は堆積傾向にあること、砂州の河床変動は流量約2,000m^3/sが閾値となっていることなどが明らかになった。



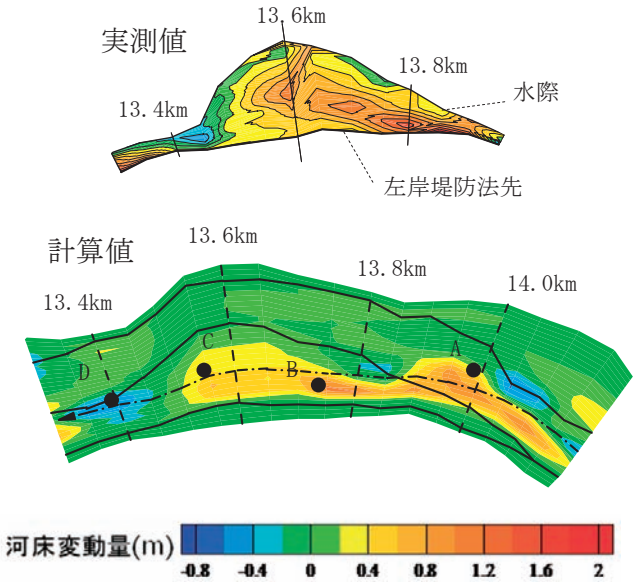
図－2　9.2km地点における的野砂州横断形状[2)]



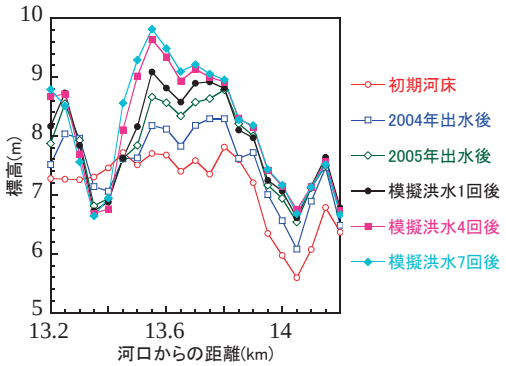
図－3　13.6km地点における川坂砂州横断形状[3)]

3－3　砂州地形の変化の概要

川坂砂州については粒度分布を考慮した非定常流による河床変動解析を行い、砂州掘削に対する河道の応答についてモデルによる解析を行ったが、平成16年末までの河床変動量の実測値と計算結果とは概ね一致しており、堆積や洗掘の砂州動態が概ね再現できたといえる（図－4）。構築したモデルを用いて、複数回の模擬洪水（約5,000m^3/s）による砂州地形の変化予測を行った結果から、砂礫堆の発達により、今後3、4回の出水で川坂砂州の最大堆積厚は掘削面から2m程度にまで達することが推定された（図－5）。



図－4　川坂砂州の河床変動量[4)]



図－5　川坂砂州縦断形状の変化[5)]

3－4　今後の維持管理

模擬洪水による川坂砂州の河床変動解析によれば、川坂砂州では、さらに堆積が進行し、また、それによって砂州上流部で流下能力の低下が予想される。砂礫堆積によって、砂州の冠水頻度が減少すれば、洪水の疎通能力の阻害となる植生の進入が助長されることが予想されることから、砂礫堆の観察、河道掘削や土砂堆積を促進する樹木の定期的な管理が必要であると考えられる。

4. 砂州での植生域の変動の定量解析

4－1　砂州での植生域の変動

砂州の植生域は、治水安全度の確保と環境保全面の課題に深く係わるため、その変動を理解することは河川管理上極めて重要である。

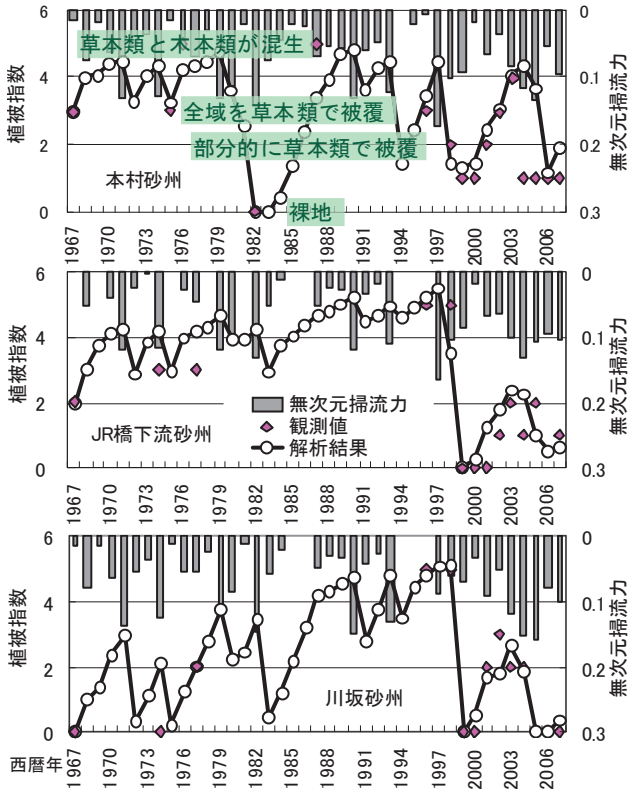
近年では、河積拡大を高水敷や砂州の掘削によることが多い。また、砂州での植生の管理を目的として、砂州を掘削する場合も見られるが、この様な場合も掘削後の植生域がどのように変動するかを予想することが重要である。

4－2　三つの砂州での植生域の変動

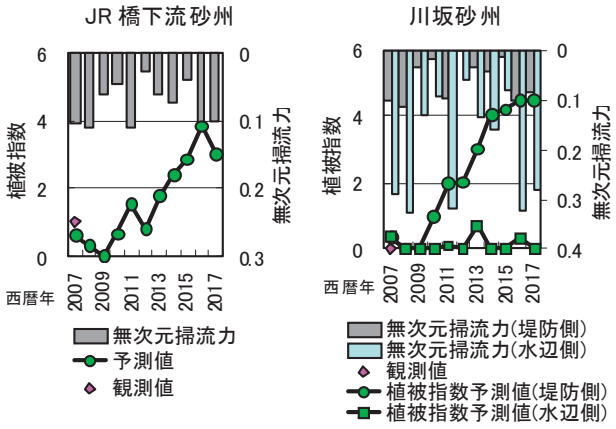
調査対象の砂州として、激特事業で掘削されなかった本村砂州、平水位+1mで掘削されたJR橋下流の砂州と川坂砂州を選定し、過去41年間の横断測量図と年最大流量、航空写真を用いて、定常状態の準二次元等流計算プログラムで計算される水位とエネルギー勾配から、年最大流量が流下する際の無次元掃流力が算定できると仮定して、三つの砂州で算定された各年の無次元掃流力から植被指数の変動を解析したが、植生域の変動が三つの砂州で相違する結果となった。1983年～1989年に無次元掃流力が小さかったため、三つの砂州で植生域が大きく回復したこと、1999年の激特事業による掘削は1967年以降に前例のない大きな植生消失をもたらしたことを示している（図－6）。

このJR橋下流の砂州と川坂砂州のモデルに、1971年からの10年間の流量を2008年以降に与えて、掘削された砂州の植生域の変動を予測した。掘削後の地形を維持しているJR橋下流の砂州では10年後に1970年代の植生状況に回復し、土砂が堆積した川坂砂州では、みお筋側で裸地状態が維持されるが、堤防側は1990年代の植生状況になると予測された（図－7）。

これより、掘削後の地形が維持されれば、掘削によって増大した無次元掃流力が維持されて、植生域の回復が抑制されることがわかった。



図－6　掘削した砂州での地形の変化と植生域変動[6)]



図－7　植生域の変動予測[7)]

4－3　植生域の変動プロセス

このモデルでは、植被指数の算定式の関数形を同定するにあたり、河床の横断面地形を固定したり、一律に変化すると仮定して与えている。さらなる精度向上のために、この点は、河床変動の計算と連動するように改良することが今後の課題となっているが、現地の調査から、北川で掘削された砂州での植生域の変動プロセスが以下のように整理できることがわかった。

①掘削後の砂州では、掘削直後から埋土種子が発芽して、すぐに草本植生で覆われる。

②砂州を覆った草本植生は、地形変化を伴わない小規模の洪水によっても破壊される。したがって、砂州は容易に裸地化するが、砂州表面に植生の根部が残るので植生は容易に回復し、植生の破壊と回復が繰り返される。

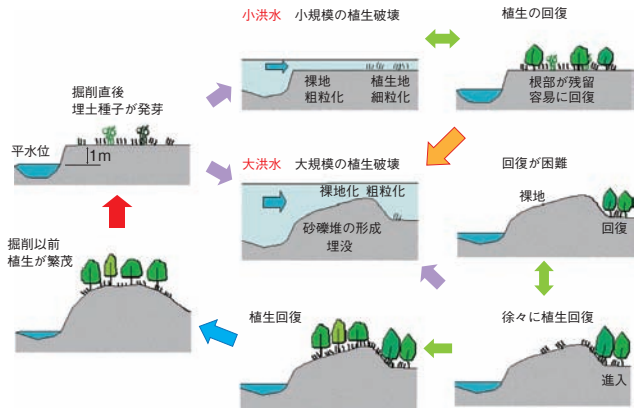
③地形変化を伴う規模の洪水が起こると、草本植生は大規模に破壊される。特に砂礫が堆積して植生が埋没すると、植生は、砂礫堆の上ではなかなか回復しないが、砂礫堆の背後では徐々に回復する。

④砂礫堆の背後で植生が繁茂する過程で、木本植生が現れて成長すると、細粒土が堆積しやすくなって、植生回復が助長され、植生が砂礫堆の上にも進出する。

⑤年最大流量による無次元掃流力が限界無次元掃流力より小さい状態が継続すると、砂礫堆の上に植生群落が形成され、それに伴って砂礫堆上の植生回復が助長される。

⑥砂礫堆上に木本植生が現れると、さらに砂礫が堆積しやすくなって、河床が上昇するとともに植生回復が進行する。その際に、水際への植生の進出は容易ではなく、裸地状態が継続する。

⑦砂礫堆の河床が上昇して木本植生が繁茂していると、洪水時に流れが砂州上を通りにくくなり、砂州が治水上の障害となる。



図－8　掘削した砂州での地形変化と植生域変動[8)]

4－4　今後の植生の管理

このように、掘削された砂州の植生域が変動すると、砂州の植生については、治水上からは絶えずその繁茂状況を監視し、適宜伐採するなどの管理が必要となる。

しかし、植生は生態系の形成に深く係わるため、伐採後の植生がどのように回復するのかを予測することが必要である。植生の消長も考慮した河道の変化予測モデルを構築し、計算結果を活用した戦略的なモニタリング方法の検討、植生の定期的な管理とそのための判断基準の策定が必要であると考えられる。また、保全対象とする河川環境にも着目して、環境上の特徴を保全するよう努めることも大切である。

5. 高水敷掘削後の植物種の多様性の変化

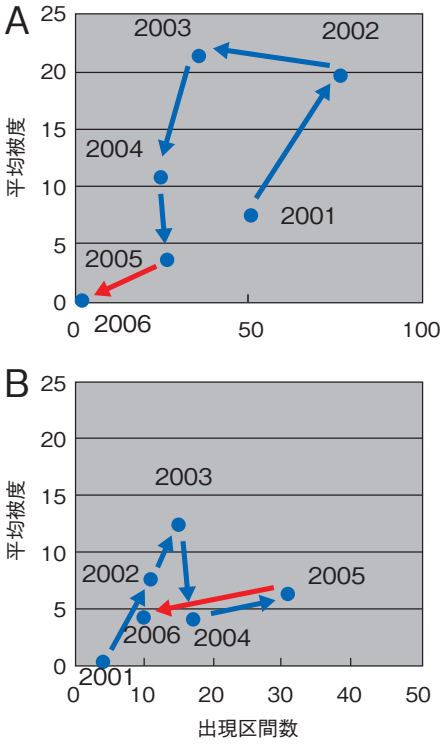
5－1　激特事業区間における植物種の保全

激特事業の対象区間となった16.5kmの区間では67種の希少種を含めた多様な植物が生育しており、これらの植物の保全が検討された。まず、平水位以下まで掘削した河川敷にヨシの根茎を含む土壌を移植した差木野地区では、土壌中の種子からさまざまな在来種の発芽が見られ、植生回復も早く進行した。このような保全・復元手法と、徹底した植物の分布調査、絶滅危惧植物の移植等の個別的な保全措置を組み合わせることで、大規模な河川工事においても、植物種の多様性の保全を図ることが可能であることを明らかにした。

5－2　高水敷掘削後の植物種の多様性の変化

川坂地区では、全面的に高水敷の掘削が平水位+1mで行われたが、掘削後の3年間に107種の植物が確認された。掘削によって高水敷の冠水頻度が上昇したために種の交代が激しく起こり、アレチハナガサ等の外来植物の割合が増加したが、平成17年9月の出水で、消失している。在来種ではツルヨシがもっとも早く増加し群生を形成し、平成17年の出水でも消失を免れる結果となった（図－9）。このことから、高水敷掘削面を平水位+1mよりも低く設定すれば、アレチハナガサなどの外来種ではなく、在来種であるツルヨシが優先する河岸植生が成立することがわかった。

これに対し、掘削地に隣接する高水敷にヤナギ林を残し、掘削地の表土を復元した的野地区では、その後の出水によってかく乱を受けたため、表土を復元した効果を評価することは困難となったが、ツルヨシが一貫して増加を続け、在来種を中心とした遷移が進んでいることから、ヤナギ林を残した措置は在来種中心の河岸植生を保全する効果を上げていることがわかったが、一方で治水上はヤナギの成長を管理することが必要となる。



図－9　川坂砂州におけるアレチハナガサ（A）とツルヨシ（B）の平均被度の変化[9)]

5－3　保全対策の効果

高水敷の掘削にあたり、河岸林の一部を残すことは、絶滅危惧種を含む在来種中心の河岸植生を保全し、回復させるうえで効果が大きいことが明らかとなった。

また、高水敷の掘削を行う場所では、掘削面を平水位+1mよりも低く設定すれば、外来種よりも在来種が優先する河岸植生がすみやかに成立すると考えられる。

ヤナギの成長による樹林化は、植物種の多様性を低下させるが、大きく成長する前に伐採による管理を行うことで、在来種の種多様性保全と治水安全度を両立することが、可能だと考えられる。

6. 感潮域ワンドの維持管理

6－1　川島ワンドの保全

激特事業を実施する前には、川島橋の下流にワンド（以下、「旧ワンド」という。）が存在し、多様な生物の生息域となっていたが、流下能力向上を目的とする高水敷の掘削により消失することとなったため、川島橋の上流部に新たなワンド（以下、「人工ワンド」という。）を造成し、生物の生息域の確保を行った（図－10、図－11）。

6－2　定着状況概要

人工ワンド造成後6年間で、魚類72種、カニ類12種、昆虫類6種の合計90種もの生物が生息環境として利用していることが確認された。その中には6種の絶滅危惧種も含まれる。人工ワンドで採集された魚類種数は旧ワンドとその周辺で採集されたものと差はなく、このことから、旧ワンドの代替環境として人工ワンドは十分に機能していると考えられる[14)]。

図－10　掘削前の川島ワンド（～平成11年）[10)]

図－11　新設された川島人工ワンド（平成13年～）[11)]

6－3　人工ワンドの維持

人工ワンド造成後、平成17年に台風14号が襲来し、激特事業の契機となった平成9年とほぼ同じ規模の洪水が発生し、人工ワンドの一部が流出した。人工ワンドはワンド内に変化をつけていたが、本川とを仕切る土手のもっとも薄い部分が被災を受けた。ワンドの機能を維持するため、流失部分の復旧を行うこととしたが、従来の土構造では次期出水期までの植生の復活が期待できないことから、石積みによる補強を実施した。その後、平成18年、平成19年と台風による出水が発生しているが、ワンドの形状に大きな変化はなく、石積み部分についても植生が回復しつつある状態である（図－12）。人工ワンドは、洪水等による自然の推移を許容した土構造としたが、維持するために十分な土堤幅が必要なことがわかった。

生物の生息場としてのワンドの構造と機能を維持して行くとともに必要に応じて、補強工事を効果的に行うことも必要である。

図－12　石積で補強された川島人工ワンド[12)]

7. 北川感潮域におけるハマガニ等の生息環境と保全

7－1　調査・研究の概要

北川河口域の自然河岸の指標的生物であるハマガニについて、覆土により人工的に創出された湿地環境の評価を行った。調査は形状の異なる3箇所の覆土護岸を対象とし、カニ類の生息状況、地盤高、底質、植生繁茂状況等を把握し、直上流と下流の自然河岸との比較を行った。

7－2　覆土におけるカニ類の生息状況と植生

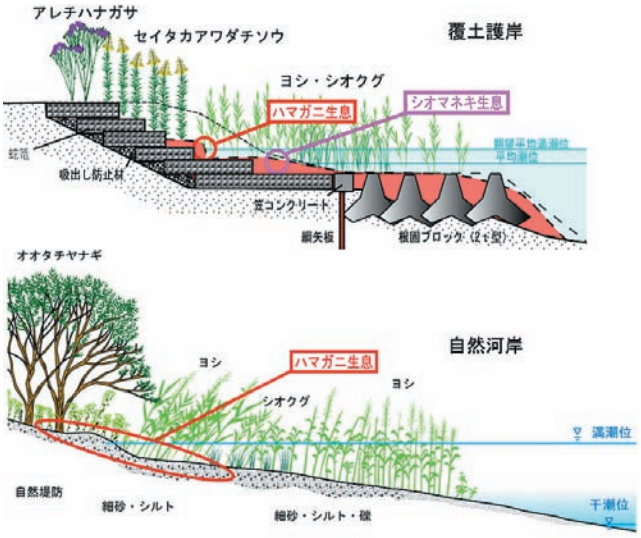
北川感潮域に生息するカニ類約35種のうち、ハマガニを含む10種が覆土上で確認された。覆土の施工内容によりカニ類の生息や植生の回復には異なる傾向が見られた。低水河岸法面全面に掘削表土が覆土された箇所では、施工後7年経過までに植生に覆われ、ヨシ原が形成された箇所を中心にカニ類が確認された。また、蛇篭等を用い低水河岸の前面に小段状に覆土した箇所では、絶滅危惧種のシオマネキ等の生息も確認された。ヨシ原掘削土を用いて自然のヨシ原に連続する形状で覆土された箇所では植生回復が早く、施工後2年で全面にヨシが繁茂し、カニ類の他、絶滅危惧種の貝類や植物も確認された（図－13）。

7－3　ハマガニ等の生息環境の保全と創出

この調査・研究により、感潮域の低水河岸への覆土がカニ類のハビタット創出法として有効であることが

示唆された。ただしハマガニについては覆土区間のうち満潮線付近の地盤高に十分な土厚がある箇所に営巣しており、自然河岸と同様の粒度組成や硬度が必要である。

北川の自然河岸におけるハマガニの営巣地は、朔望平均満潮位から平均潮位付近の地盤高であり、底質は粒径0.1mm前後の細砂が中心の砂泥質、硬度は200kPa前後で巣穴が崩れない程度、土厚は1m程度という条件で土砂が堆積する湿地環境である。そのような環境は水域と陸域をつなぐエコトーンとして、生態的にも重要であるが、同時に河道掘削や護岸整備等による影響を最も受けやすい環境でもある。自然河岸の保全とともに潮間帯部分の覆土に重点を置いた湿地環境の再生が望まれる（小野、酒井私信）。



図－13　ハマガニの生息箇所の横断模式図[13)]

8. 今後の取り組み

五ヶ瀬川において、平成17年9月に台風14号に伴う出水により大きな災害が発生した。

この再度災害の防止を目的として、延岡市の五ヶ瀬川本川とその派川大瀬川、祝子川において、平成17年度～21年度を工期とする激特事業が行われている。この事業においても、河川環境をできるだけ保全するために、干潟、ヨシ原、ワンドの保全、瀬・淵構造の保全、河畔林の保全などが現在行われているが、このように九州内の河川においては、強い自然の作用を受けるため、大がかりな河川改修が求められることが多い。このため、治水と河川環境の保全を調和させながら河川改修をいかに実施するべきかを検討する場として、新たに五ヶ瀬川・大瀬川へも研究範囲を広げ、全体のテーマを「河川環境の維持・管理・再生」として、研究を実施することになっている。これまで個別に検討されてきた研究のいくつかは、植生やほ乳動物の生育状況や生息環境の数値表現を研究の手段としている点において共通していることから、流れと河床変動の解析精度の向上を図り、その予測結果にこれまで個別に研究されてきた成果を互いに繋ぐことによって、河川生態系の変動の予測手法を検討する予定である。また、五ヶ瀬川感潮域で新たに設置された緩傾斜護岸や隔流堤の河川環境への保全の効果も併せて研究していくことで、河川環境への理解を深めると同時に、河川管理への貢献を積極的に図っていく。

図－14　五ヶ瀬川・大瀬川（2k200付近）

図－15　五ヶ瀬川本小路地区緩傾斜護岸（4k200付近）

9. おわりに

同一の水系において10年以内に2度の大きな災害と、激特事業を経験したことは稀である。この間、大規模な河川改修とともに、様々な自然環境に対する取り組みが学識者、専門家との共同のもとになされ、成果として多くの知見が得られている。

これらの知見を他の河川においても活用するためには、それぞれの河川の特性を鑑み、適応に配慮するた

めの整理が必要である。今年度より北川とともに五ヶ瀬川・大瀬川においても研究を実施していくが、ここで同様に行われている干潟、ワンド、河畔林の保全の取り組みは北川での研究結果を活用したものである。この取り組みによる効果を検証することで、河川の環境構造の保全手法の技術向上を図ること、また、これまで得られた多くの知見を整理するとともに、繋ぎ合わせるための手法を検討し、一般化していくことが、これからの課題である。

今後、五ヶ瀬川・大瀬川において実施する予定の研究計画を以下に示す。

①河川生態系変動の予測手法の検討

河川改修による生態系への影響把握の精度向上のため、河床変動やワンド・瀬・淵等の水域ハビタット、植生、哺乳類、魚類等に関する変動予測の検討を行う。

検討にあたっては、既往の研究成果も活用する。たとえば、河川物理環境と植生環境の変動予測手法の検討や河川改修に応答する野生ほ乳類物の行動の変化等をもとに無次元掃流力の算定方法の改善、画像解析による植被指数の算定の検討、野生ほ乳動物の行動予測の精度の向上を検討する。

②激特事業の保全と再生の効果の検証

河川環境の保全･復元手法の技術向上のため、霞堤、干潟、河畔林、ワンド等の保全効果、さらに多自然護岸、隔流堤等の設置による保全・再生効果等について検討を行う。

霞堤、ワンド等に関しては、生物多様性に着目し、学識者との共同研究を実施することで、これらの生態的機能を指標となる動植物に着目して､継続的に調査･検討する。多自然護岸、隔流堤の設置による保全・再生効果についても同様に調査・検討を行う。

③一次生産と生物分布の調査

北川と五ヶ瀬川・大瀬川の生物多様性の相違を解明するため、その要因を分析し、一次生産と生物分布の関係について検討する。

10. 謝辞

本稿をまとめるにあたり、河川生態学術研究会北川研究グループの諸先生方の多大なご協力とご助言をいただいた。また、国土交通省延岡河川国道事務所の方々、宮崎県延岡土木事務所の方々のご指導とご助力をいただいた。ここに記して、厚く御礼申し上げる。

＜引用文献＞

1) 国交省九州地整延岡河川国道事務所，宮崎県延岡土木事務所 (2004) 北川流域の概要. 北川の総合研究－激特事業対象区間を中心として－pp.1-1-1 ～ 8

2)，3)，4) ,5) 渡邊訓甫，杉尾哲，平川隆一 (2009) 激特事業後の出水による砂州地形変化. 北川の総合研究－河川環境の保全と再生のあり方－河川生態学術研究会北川研究グループpp.1-1-12 ～ 22

6) ,7) ,8) 杉尾哲，渡邊訓甫 (2009) 砂州での植生域変動の定量解析. 北川の総合研究－河川環境の保全と再生のあり方－河川生態学術研究会北川研究グループpp.1-2-23 ～ 40

9) 矢原徹一 (2009) 北川河川改修事業における植物種と植生の保全・復元・管理に関する研究. 北川の総合研究－河川環境の保全と再生のあり方－河川生態学術研究会北川研究グループpp.1-2-41 ～ 47

10) ,11) ,12) 宮崎県延岡土木事務所 (2009) 感潮域ワンドの維持管理. 北川の総合研究－河川環境の保全と再生のあり方－河川生態学術研究会北川研究グループpp.2-1-11 ～ 13

13) 小野勇一，酒井奈美 (2009) 北川河口域におけるハマガニ等の生息環境の保全. 北川の総合研究－河川環境の保全と再生のあり方－河川生態学術研究会北川研究グループpp.2-2-22 ～ 35

14) 中島淳，鬼倉徳雄，松井誠一，及川信 (2009) 川島人工ワンドにおける魚類、カニ類、昆虫類の定着状況. 北川の総合研究－河川環境の保全と再生のあり方－河川生態学術研究会北川研究グループpp.2-2-13 ～ 21