

植被指数の定量解析による砂州の植生域変動の予測

PREDICTION OF VEGETATION CHANGE ON SAND BARS BY MEANS OF VEGETATION INDEX ANALYSIS

杉尾 哲¹・小川陽平²
Satoru SUGIO and Yohei OGAWA

¹フェロー会員 工博 宮崎大学 工学部土木環境工学科 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1)

²学生会員 宮崎大学院 工学研究科土木環境工学専攻 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1)

The vegetation on a sand bar is strongly dependent on secure flood control and conservation of the river environment, which are therefore extremely important in watershed management. In this paper, the change of vegetation on the sand bars was examined on the Kita River, Miyazaki Prefecture, Japan. Firstly, a new function was proposed to describe the relation between the dimensionless tractive force and the vegetation index which expressed the vegetation coverage and abundance of vegetation on the sand bars. This function was applied to qualitatively analyze the change of vegetation on the sand bars. The simulated results clarified the history of vegetation destruction and restoration on three sand bars of the Kita River over the past 41 years. Secondly, the function was applied to predict the change of vegetation after ten years on two sand bars excavated in the river improvement work in 1999. The predicted results indicated that the change of future vegetation deeply depended on the maintenance of excavated ground surface elevation of the sand bars.

Key Words : *Change of vegetation, qualitative analysis, vegetation index, dimensionless tractive force, destruction and restoration of vegetation*

1. まえがき

砂州の植生域は治水安全度の確保と環境保全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で極めて重要である。藤田らは、扇状地礫床河道における安定植生域消長を検討し¹⁾、その成果が植生消長ソフトとして公開されている。筆者は、五ヶ瀬川水系北川の河川激甚災害対策特別緊急事業(以下、激特事業という)において掘削されなかった砂州を対象として、植生の被覆状況と繁茂状況の両方を表す植被指数を定義し、その変化を年最大流量の一次関数で表す定量解析を行った²⁾。これにより自然の流量変動に伴う過去の植生域の変動を再現でき、自然による植生域での攪乱の程度と頻度を理解できることを示した。しかし、対象砂州を変えれば物理条件が異なるため、求めた算定式を他の砂州に適用できないことは明らかであった。このため、実務の用に供するには、より一般的な算定式が必要であった。

一方で、北川の激特事業でも採用されたように³⁾、近年では河積の拡大を高水敷や砂州の掘削によることが多い。また、砂州植生の管理を目的として、砂州を掘削す

る場合もみられる⁴⁾。しかし、このような場合には、掘削後の植生域がどのように変動するのかを予測することが重要である。

本論文では、これまでの定量解析を改良して、掘削された砂州にも適用できるように算定式の一般化を図るとともに、植被指数の解析を行うことによって北川で掘削された砂州での今後の植生域の変動を予測して、掘削による影響を把握することを目的とした。

2. 研究対象砂州と流況

北川は、宮崎県の北部を流れる一級河川五ヶ瀬川水系の一次支川で、流域面積 587.4km²、流路延長 50.9km である。北川の激特事業では、五ヶ瀬川の河口から北川の 15.5km 地点までの 16.6km 区間で、河川環境に配慮した河川改修が実施された³⁾。本論文において研究対象とした交互砂州は、北川の激特事業によって掘削されなかった砂州として、これまで検討してきた北川の 11km～12km 地点の右岸に位置する本村砂州を選び、これに加えて、掘削された砂州として 12km～13km 地点の左岸

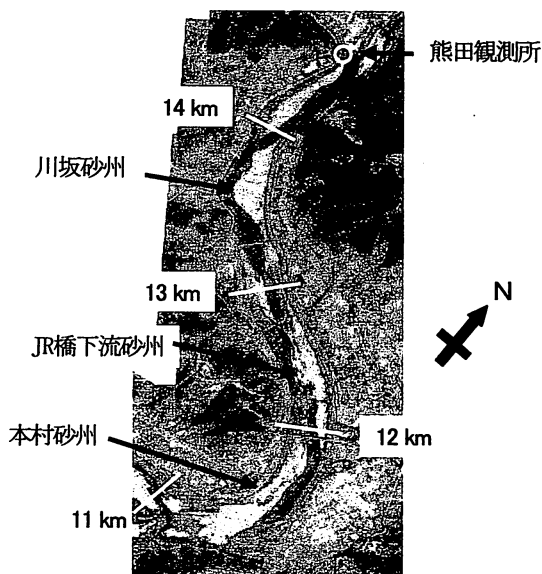


図-1 研究対象地区の河道

表-1 植被指数の定義

植生状況	植被 指数	面積割合 (%)		
		裸地	草本	木本
草本類と木本類が混生	5	5	70	25
砂州全域を草本類で被覆	3	35	50	15
部分的に草本類で被覆	2	50	40	10
裸地	0	80	20	0

に位置する JR 橋下流砂州と 13km～14km 地点の左岸に位置する川坂砂州を今回新たに選定した。なお、掘削は両砂州とも 1999 年に開始された。研究対象とした砂州全域の 2007 年の航空写真を図-1 に示している。

(1) 北川の流量

北川の流量は、北川の 14.6km 地点に位置する国土交通省の熊田観測所で観測されている。1967 年以降の年最大流量を図-2 に示した。この期間の平均年最大流量は $1,860\text{m}^3/\text{s}$ である。

(2) 研究対象地区の河道特性

研究対象とした本村砂州から川坂砂州までの河道は、平均的な縦断勾配が約 $1/1,100$ で、河道幅は場所的に少し変化するが、平均値としては 210m である³⁾。セグメント分類ではセグメント 2-1 に区分される⁵⁾。河道は 13.6km 地点でほぼ 30 度の角度で左折して、その下流側は緩やかに湾曲しながら流下している。

3. 調査方法

植生域は研究対象地区を撮影した 1967 年～2007 年の航空写真、植生状況の現地調査及びバルーンでの空中撮影

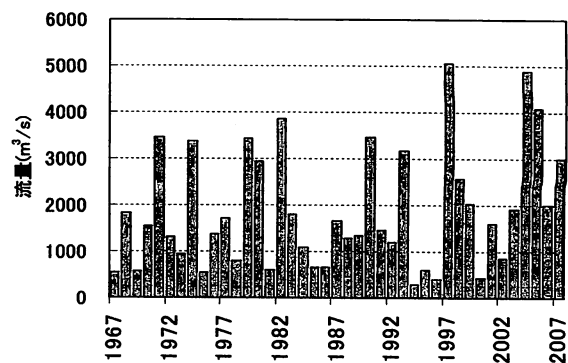


図-2 年最大流量の変化

表-2 植被指数の観測値

植被 指数	本村砂州	JR橋下流砂州	川坂砂州
5	1976, 1987	1996, 1998	1996, 1998
4	2003		
3	1967, 1975 1996, 2002	1974, 1977	2002
2	1998, 2001	1967, 2003 2005	1977, 2001, 2003, 2004
1	1999, 2000, 2004 2005, 2006, 2007	2002, 2004 2007	
0	1982	1999, 2000 2001	1967, 1974, 1999 2000, 2005, 2006 2007

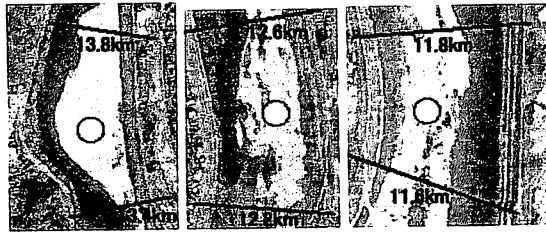
結果を用いて作成した植生分布図^{6),7)}から決定した。植生は草本類と木本類の 2 種類に分類した。航空写真での草本類と木本類の判別は、周りの確定的な樹林部と草地部の写真の濃淡あるいは色採を参考にして目視で行った。

植生域の変動を定量的に表現するために、砂州上の裸地と草本類および木本類が占める面積割合を基に植被指数を表-1 のように定義した²⁾。

各砂州の植被指数の観測区間として、本論文では、砂州の中央断面付近、すなわち本村砂州では 11.6～11.8km 地点、JR 橋下流砂州では 12.2～12.6km 地点、川坂砂州では 13.4～13.8km 地点の区間を選定して、その区間の砂州全体での面積割合から植被指数を同定した。各砂州の植被指数の観測値を表-2 に示している。表中の値から、本村砂州と JR 橋下流砂州に比べると、川坂砂州では近年において裸地の状態が続いていることや JR 橋下流砂州が非常に繁茂した時期に同時に繁茂していたことなどが分かる。また、各砂州における観測区間の 2007 年の植生状況を図-3 に示している。

4. 植生域変動の解析

研究対象とした砂州のうち、本村砂州と川坂砂州においては掘削後の植生変化と地形変化および河床材料の



川坂砂州 JR 橋下流砂州 本村砂州

図-3 各砂州の植生状況(2007年)

粒度分布の追跡調査を行ってきた^{6,7)}。その結果、小さな年最大流量の年の植生回復や地形変化を伴わない植生の部分的な破壊及び大きな年最大流量の年の大きな地形変化とそれに伴う全面的な破壊など植生域変動の過程を理解できた。この結果を基に、以前の植被指数の解析では、植生破壊時の砂州に作用する掃流力や植生に作用する流体力などを年最大流量で代表できると仮定して算定式を誘導していた²⁾。

本論文では、物理的要素を取り入れて植生域変動の算定式を一般化することを検討した。末次らの研究により洪水による植生群落の破壊やその状況は、無次元掃流力によって判別できることが明らかにされている⁸⁾。そこで、年最大流量が流下する際の定常状態の無次元掃流力の変動によって植生の破壊と回復が表現できると仮定することとした。

(1) 植被指数の算定式

算定式としては、 i 年の植被指数 VB_i がその年の年最大流量の作用を受けて $i+1$ 年の植被指数 VB_{i+1} に変化すると考え、次式のように仮定した。

$$VB_{i+1} = VB_i + \Delta VB_i \quad (1)$$

また、各年の植被指数の変化量は、無次元掃流力の一次関数の組み合わせで表現できるものと仮定し、年最大流量から決定される無次元掃流力 τ_i と植生に作用する限界無次元掃流力 τ_c の差で以下のように算定できるものとした。

a) 回復過程

i 年の植被指数の変化量 ΔVB_i は、草本類の生育と木本類の生育では植生の成長速度が異なると考え、次式のように植生状況によって分けて算定する。ここに、草本類については変化量の上限値を VB_A とし、無次元掃流力 τ_A をその境界値とする。

$$\begin{aligned} &\text{主に草本類が生育するとき} \\ &\Delta VB_i = VB_A : \tau_i \leq \tau_A \\ &\Delta VB_i = a(\tau_c - \tau_i) : \tau_A < \tau_i < \tau_c \\ &\text{主に木本類が生育するとき} \\ &\Delta VB_i = b(\tau_c - \tau_i) : \tau_i < \tau_c \end{aligned} \quad (2)$$

b) 破壊過程

植生の破壊については、草本類が繁茂した状態と木本類が繁茂した状態でそれぞれに作用する破壊の形態が物理的に異なると考え、次式のように算定する。変化量の下限値を VB_B 、 VB_D とし、無次元掃流力 τ_B 、 τ_D をその境界値とする。

主に草本類が破壊されるとき

$$\Delta VB_i = c(\tau_c - \tau_i) : \tau_c < \tau_i < \tau_B$$

$$\Delta VB_i = VB_B : \tau_B \leq \tau_i$$

主に木本類が破壊されるとき

$$\Delta VB_i = d(\tau_c - \tau_i) : \tau_c < \tau_i < \tau_D$$

$$\Delta VB_i = VB_D : \tau_D \leq \tau_i$$

(3)

(2) 解析手順

表-2 に示した植被指数を用いて過去の植生域の変動を再現する場合について、解析手順を以下に示す。

a) 解析位置の設定

無次元掃流力の解析位置は、植被指数を同定した各砂州の観測区間の中央断面、すなわち図-3 に丸印で示した、本村砂州の 11.7km 地点、JR 橋下流砂州の 12.4km 地点、川坂砂州の 13.6km 地点における堤防法尻部と水際部の中央位置に設定した。

b) 流れの解析

まず、国土交通省国土技術政策総合研究所から公開されている植生消長シミュレーションソフト⁹⁾を用いて、準二次元等流計算プログラムの等流計算レベル 2 に各年の河床の横断面地形と粗度係数、水面こう配を与えて流れを解析し、算定流量が各年の年最大流量と一致するように水位を逐次計算により決定した。

ここに、粗度係数は、低水路と高水敷にわけて設定した。低水路では激特事業の検討に用いられた $n=0.031$ に設定した³⁾。高水敷では水深草丈比との関係¹⁰⁾により、草本類の被覆部を $n=0.035$ 、木本類の被覆部を $n=0.04$ と設定した。年最大流量は図-2 に示した熊田流量観測所の測定値を用いた。水面こう配は、1997 年と 2004 年については痕跡水位から求めた。その他の年は、激特事業の改修前と改修後の断面について一次元不等流計算により $1000\text{m}^3/\text{s}$ 毎に求められた水位³⁾から内挿計算により求めた。河床の横断面地形は、1997 年以降は地形の測量結果を用いた。しかし、1997 年より前については、河床の地形測量が行われていないため、航空写真の状況から推定して次のように設定した。すなわち、本村砂州と JR 橋下流砂州については地形が大きく変化していないと考えて 1997 年測定地形をそのまま与え、川坂砂州については 1967 年と 1974 年の裸地状態から 1996 年の木本類による被覆状態に大きく変化しているため 1967 年から 1997 年にかけて次のように地形を変化させた。1967 年の砂州が裸地状態であることから、類似した裸地状態と考えられる 2005 年の砂州の地形を初期値とし

表-3 各砂州の中央粒径 (単位:mm)

西暦年	本村砂州	JR橋下流砂州	川坂砂州
1967～1998	30	30	35
1999	30	30	20
2000	30	30	20
2001	30	30	25
2002	30	30	25
2003	25	30	25
2004	25	30	25
2005	25	30	20
2006	25	30	20
2007	25	30	35

て与えた。また、北川では $3000\text{m}^3/\text{s}$ 程度の出水が発生すると、明瞭な地形変化が起こることが分かっている¹⁾。さらに、1967年から1997年までに $3000\text{m}^3/\text{s}$ 以上の出水は7回発生している。そこで、地形変化を単純化して、1967年と1997年の地形標高の違いを7等分し、その値を $3000\text{m}^3/\text{s}$ 以上の出水が起こる度に一律に加えて、翌年の地形を高く設定した。

c) 無次元掃流力の算定

次に、無次元掃流力の解析位置の水深 h とエネルギーこう配 I_e 、河床材料の中央粒径 d_{50} を用いて、次式から無次元掃流力を算定した。

$$\tau = hI_e / sd_{50} \quad (4)$$

ここに、河床材料の水中密度 s は1.65に設定した。エネルギーこう配は、上述の水面こう配と準二次元等流計算プログラムで算定された解析位置の100m上流と100m下流の断面での砂州の陸地部分の平均流速を用いて算定した。中央粒径は、激特事業検討時の測定結果及び本村砂州と川坂砂州については追跡調査時の測定結果を用いて、表-3のように設定した。

d) 植被指数の算定

算定された無次元掃流力と植被指数の算定式を用いて、1967年の植被指数の観測値を初期値として各年の植被指数の値を砂州ごとに算定した。ここに、式(2)と式(3)の a や τ_c などの値は、表-2に示した植被指数の観測値を再現できるように逐次同定した。 τ_c については、末次らの研究によって無次元掃流力が0.06～0.14で草本類が流失すると示されていることを参考に同定した結果、草本類と木本類の両方とも $\tau_c=0.1$ となった。

同定された算定式の関数形を図-4に示す。草本類の関数形を実線で表し、木本類のそれを破線で表している。

5. 結果と考察

1967年の植被指数の値を初期値として解析した各砂州における植被指数の再現結果を図-5～図-7に示す。

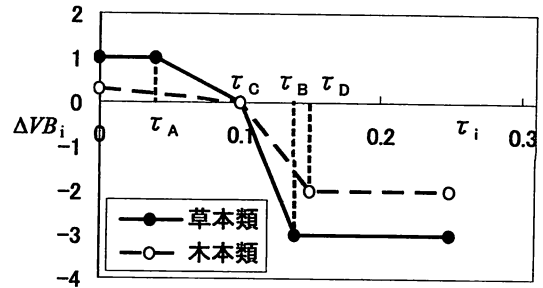


図-4 算定式の関数形

解析結果は、詳細には各砂州で一致度が低い年があるが、1つの算定式によって北川の3つの砂州の植生域の変動を概ね再現できるように a や τ_c などの値を同定できていて、算定式の一般化が実現できたと考える。なお、本村砂州での1982年の裸地化は右岸堤防の新設工事に伴うものが含まれている²⁾。このため、自然の流量変動に伴う植被指数の算定は1982年で途絶えたと考え、1982年以降の植被指数は1982年の植被指数の値に0を与えて算定した。

激特事業で掘削されたJR橋下流砂州と川坂砂州については、航空写真がない期間の植生状況をこれまで知ることができなかったが、解析結果から以下のように理解できた。まず、1983年から1989年までの期間は無次元掃流力が τ_c より小さい状態が継続したことにより、両砂州とも植被指数が増加し、植生が大きく回復したと推定された。その結果として、1990年代は草本類と木本類が混生する植生域が形成されていて、自然の流量変動に伴う攪乱が起こり難くなっていたようである。これに比べて、1970年代は植被指数の変動が大きく、適度に攪乱が起こっていたようである。また、1999年に開始された掘削によって植被指数が激減し、2000年代は裸地が多い状態となった。以上を考慮すると、1967年以降の植生状況は、1980年代前半までの攪乱が起こり易かった第一期、1980年代後半から1999年までの攪乱が起こり難かった第二期、それに2000年代の裸地が多い第三期に、それぞれの砂州で分類できると考えられる。

また、JR橋下流砂州では、第一期においても自然の流量変動に伴う植生域の変動は小さく、木本類の破壊が繰り返されるものの、裸地になるまでに壊滅的に破壊されることはなかったようである。したがって、激特事業による掘削は、1967年以降に前例のない非常に大きい植生破壊であったことと第一期とは異質の植生状況に変化させた人為インパクトであったといえる。一方、川坂砂州では、第一期での変動が大きく、たびたび草本類が破壊されて裸地になっていたが、第二期に草本類と木本類が混生してからは、裸地になる程の植生の破壊は起こり難くなっていたと推定された。したがって、激特事業による掘削は、植生を第一期の状況に復元させた人為インパクトであったといえる。

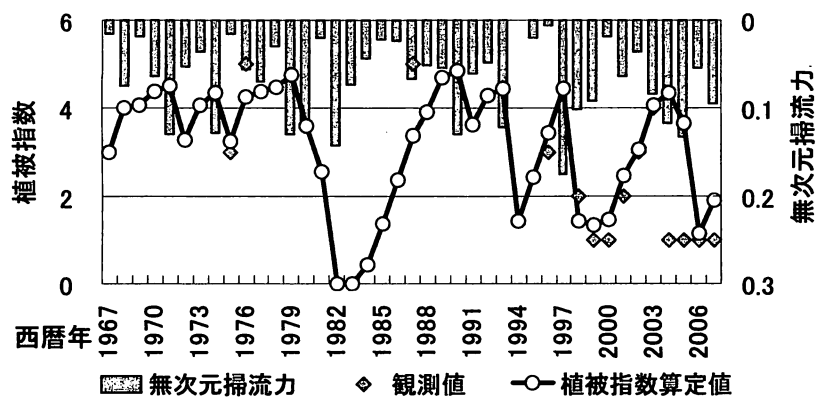


図-5 植被指数の変化状況 (本村砂州)

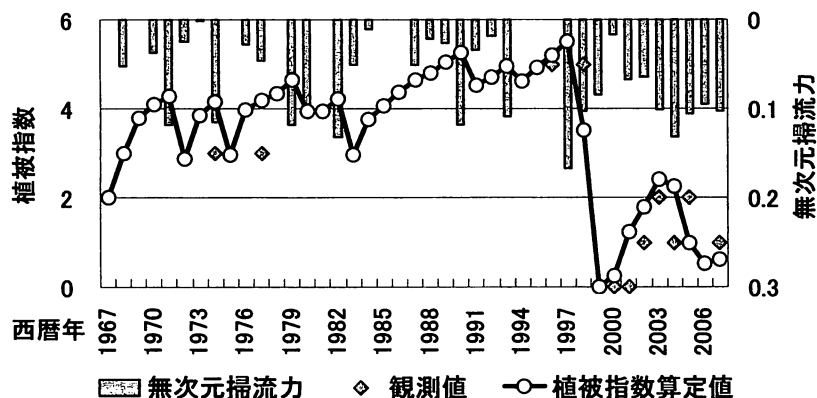


図-6 植被指数の変化状況 (JR橋下流砂州)

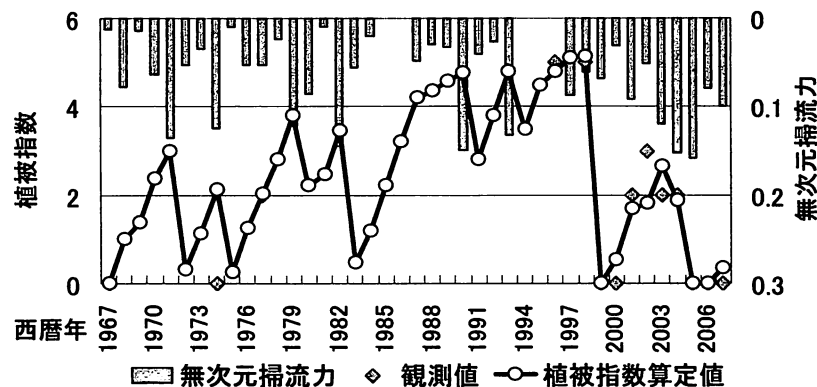


図-7 植被指数の変化状況 (川坂砂州)

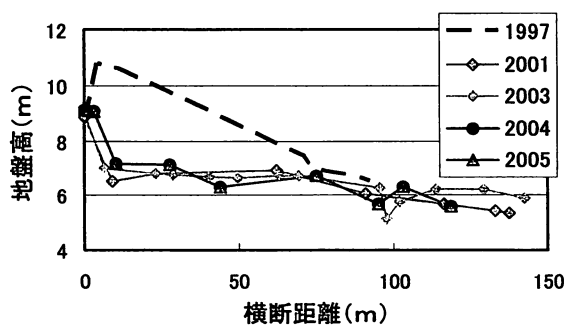


図-8 JR橋下流砂州の横断面地形

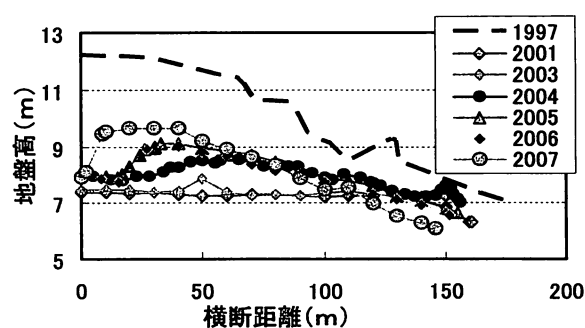


図-9 川坂砂州の横断面地形

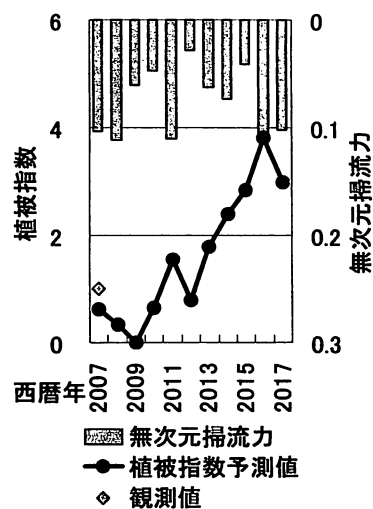


図-10 JR橋下流砂州での予測

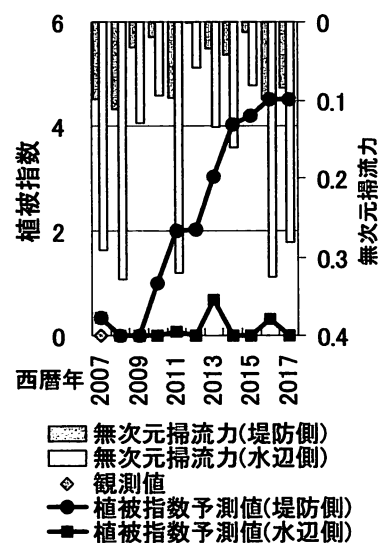


図-11 川坂砂州での予測

6. 予測結果

以上のように同定した図-4 の関数形を適用して、掘削された JR 橋下流砂州と川坂砂州の今後の植生域の変動を予測した。

境界条件としては、1970 年代の流況が平均的な流量変動を示すことから、1971 年からの 10 年間の流量を 2008 年以降に与えることとした。両砂州の近年の河床の横断面地形は、JR 橋下流砂州で図-8 のように掘削後にあまり変化せず、川坂砂州では図-9 のように変化している。そこで、JR 橋下流砂州には 2005 年の地形を与え、川坂砂州では $3000\text{m}^3/\text{s}$ 以上の出水が起こる度に再現解析と同様に翌年の地形を高くした。中央粒径は 2007 年の値を用いた。

予測結果を図-10, 11 に示す。これらを図-6, 7 とそれぞれに対比させると、JR 橋下流砂州では 10 年後に第一期の植生状況に回復すると予測され、川坂砂州では、水辺側で裸地状態が維持されるが、堤防側は第二期の植生状況になると予測された。この結果は、1973 年からの 10 年間の流量を与えて予測してもほぼ変わらなかった。図中には無次元掃流力を併せて示している。無次元掃流力が大きい川坂砂州の水辺側で植生が回復せず、その逆に無次元掃流力が小さい堤防側で植生が大きく回復することになっている。したがって、式(4)を考慮すると、これら 3箇所の 10 年後の予測結果の違いは、解析位置の水深の違いに因ることが分かる。すなわち、掘削後の地形を維持している JR 橋下流砂州では掘削によって増大した無次元掃流力が維持されていることにより植生域の回復が抑制されており、これによって第一期の植生状況が復元される予測結果になったと考えられる。一方、川坂砂州の堤防側では、土砂が堆積した結果、砂州に作用する無次元掃流力が低下して、植生が破壊されにくくなり、第二期の状況になると予測されたと考えられる。

7. まとめ

植生の被覆状況と繁茂状況の両方を表す植被指数の定量化解析によって北川の 3つの砂州での植生域の変動を検討した結果、以下のように理解された。

- ① 3つの砂州での植生域の変動を概ね再現できるように、植被指数を無次元掃流力の一次関数で表すことができた。
- ② JR橋下流砂州と川坂砂州での1967年以降の植生状況は、1980年代前半までの攪乱が起こり易かった第一期、1980年代後半から1999年までの攪乱が起こり難かった第二期、2000年代の裸地が多い第三期に分類できる。
- ③ JR橋下流砂州では、第一期においても自然の流量変動に伴う植生域の変動は小さく、激特事業による掘削は、第一期とは異質の植生状況に変化させた人為インパクト

であった。

④川坂砂州では、第一期の植生域の変動が大きかったが、第二期には、植生の破壊は起こり難くなっていたので、激特事業による掘削は、植生を第一期の状況に復元させた人為インパクトであった。

⑤掘削後の地形を維持しているJR橋下流砂州では、10年後に第一期の植生状況に回復すると予測された。

⑥土砂が堆積した川坂砂州では、10年後に、水辺側では裸地状態が維持されるが、堤防側は第二期の植生状況になると予測された。

以上のように、北川の掘削された砂州について掘削前と掘削後の植生域の変動を理解でき、河川管理のための基礎資料を提供できたと考えている。

謝辞：本研究は、北川における河川生態学術研究会の総合的な調査研究の一環として実施したものである。資料については国土交通省延岡河川国道事務所および宮崎県延岡土木事務所から提供していただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 藤田光一ら：扇状地礫床河道における安定植生域消長の機構とシミュレーション，土木学会論文集，No. 747/ II -65，pp. 41-60，2003.
- 2) 杉尾哲，渡邊訓甫：北川本村砂州における植生状況の変動解析，水工学論文集，第49巻，pp. 1435~1440，2005.
- 3) 国土交通省九州地方建設局・宮崎県・(財)リバーフロント整備センター：五ヶ瀬川水系北川 北川「川づくり」検討報告書，1999.
- 4) 渡辺敏ら：旭川における礫河原再生と樹林化抑制に関する現地試験による検証，水工学論文集，第50巻，pp. 1201-1206，2006.
- 5) 山本晃一：沖積河川学 堆積環境の視点から，山海堂，pp. 35-42，1994.
- 6) 杉尾哲，渡邊訓甫：北川における砂州の地形変化と植生域変化に関する検討，水工学論文集，第48巻，pp. 985-990，2004.
- 7) 杉尾哲，小川陽平ら：北川の川坂砂州における植生変化について，河川技術論文集，第13巻，pp. 195-200，2007.
- 8) 末次忠司，藤田光一ら：礫床河川に繁茂する植生の洪水攪乱に対する応答，遷移および群落拡大の特性，国総研資料，第161号，2004年.
- 9) 国土交通省国土技術政策総合研究所河川環境研究室：植生消長シミュレーションソフト，http://www.nilim.go.jp/lab/dbg/jpn/kakan_veg.htm.
- 10) 国土技術研究センター編：河道計画検討の手引き，山海堂，2002年.
- 11) 森川真伍，渡邊訓甫ら：北川における河川改修事業後の砂州地形変化について，土木学会第61回年次学術講演会講演概要集，II-254，pp. 503~504，2006.

(2008. 4. 3受付)