

北川本村砂州における植生状況の変動解析

ANALYSIS ON THE CHANGE OF VEGETATION LUXURIANCE SITUATIONS ON HONMURA FLOODPLAIN IN THE KITA RIVER

杉尾 哲¹・渡邊訓甫²

Satoru SUGIO・Kunitoshi WATANABE

¹正会員 工博 宮崎大学教授 工学部土木環境工学科 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1)

²正会員 工博 佐賀大学教授 理工学部都市工学科 (〒840-8502 佐賀市本庄町1)

Field surveys have been conducted on the floodplain at the Honmura district in the Kita River after the severe flood damage by Typhoon No. 19 in 1997. The process of changes in topographical feature and vegetation luxuriance corresponding to the flow scale has been quantitatively explained through the analysis of the aerial photographs by authors.

In the paper, a vegetation factor VF , which expresses the degree of luxuriance of vegetation, is introduced to quantitatively analyze the relation between vegetation luxuriance situations and flow scale. The factor is assumed to be a linear function of the maximum discharge in the year, and function parameters are determined from the trial and error method. From the simulated results, it is shown that the history of destruction and restoration of vegetation on the floodplain at the Honmura district in the last 36 years can be quantitatively inferred from the scale of flood by using the introduced vegetation factor. Moreover, it is found that the destruction and restoration of vegetation has been repeated roughly every six years under the critical discharge of $2,300 \text{ m}^3/\text{s}$.

Key Words : Floodplain, vegetation luxuriance situation, vegetation factor, aerial photographs
destruction and restoration of vegetation

1. まえがき

北川では、1997年9月の台風19号による激甚な災害の発生に伴って、河川激甚災害対策特別緊急事業(以下、激特事業という)が実施された。この事業においては、河川生態系への影響を少なくするために、低水路の掘削はできるだけ避けて、高水敷の掘削や高水敷上の樹木の伐採によって河積の拡大が行われた¹⁾。しかし、その実施規模が大きいことと、河川形態や生態系に及ぼす影響が明瞭に予測できなかったことから、事業の実施中から、長期的な視点でモニタリングが行われている²⁾。

河道や植生状況の変動は、治水安全度の確保と河川環境の保全に深く係わることから、河川管理上で重要な項目である。これらの変動については、活発な研究が行われた結果、現在ではかなり理解が深まっている^{3), 4), 5)}。著者らは、本村地区と川坂地区の砂州を対象として、地形変化や植生遷移を出水時の流れや流量規模などと関連付けた一連の研究を行っている^{6), 7)}。これまでの検討に

より、激特事業によって掘削されなかった本村砂州において、砂州の地形変化と砂州上の植生状況の変化が流量変動に伴って過去どのように繰り返されてきたのかを、ある程度把握することができた。しかし、植生の被覆状態や繁茂状態などの被説明変量が質的変量であるため、植生状況の変化を定量的に解析することはできなかった。

そこで、本論文では、本村砂州での流量変動に伴う過去の植生状況の変化を定量的に再現することを目的として、砂州上の植生の被覆状態や繁茂状態などの植生状況を表現する変数を新たに導入し、この値の変化を出水時の流量規模と関連付ける解析を行った⁸⁾。

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水系五ヶ瀬川的一次支川で、流域面積 587 km^2 、流路延長 50.9 km である。北川の激特事業では、五ヶ瀬川の河口から北川の 15.5 km 地点までの 16.6 km 区間で、河川環境に配慮した河川改修が実施された。本研究においては、研究対象砂州として、

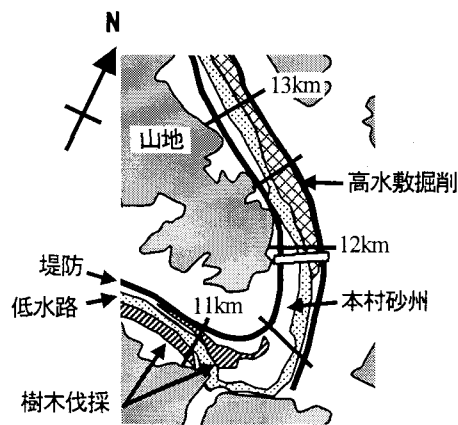


図-1 北川12km地点付近の概略平面図

11.3km地点で西に大きく湾曲する本村地区の右岸砂州を選定し、激特事業で人工的な改変が行われなかった砂州上流部分を研究の対象区間に選定した。本村砂州付近の概略を図-1に示している。

(1) 北川の流量

北川の流量は、14.6km地点に位置する熊田観測所で観測されている。1955年～2003年の49年間（欠測の3年間を含む）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1,850 m^3/s である。

(2) 本村地区の河道特性

研究対象とした本村地区の河道は、平均的な縦断勾配が約1/800で、河道幅が12km地点の220mから11.3km地点湾曲部での430mまで徐々に拡大した後、11km地点で160mに縮小している。河床材料は、中央粒径が30～40mmの砂礫であり、セグメント分類⁹⁾ではセグメント2-1に区別されている¹⁾。

(3) 本村砂州の砂礫堆

本村砂州の水際線形状は、調査地点付近を撮影した1967年9月～2003年7月の期間の12枚（モノクロ4枚、カラー8枚）の航空写真を用いて作成した図-3に示すように、撮影年ごとに変化している⁷⁾。また、砂州上には複数の砂礫堆が形成されており、服部らの研究¹⁰⁾にも示

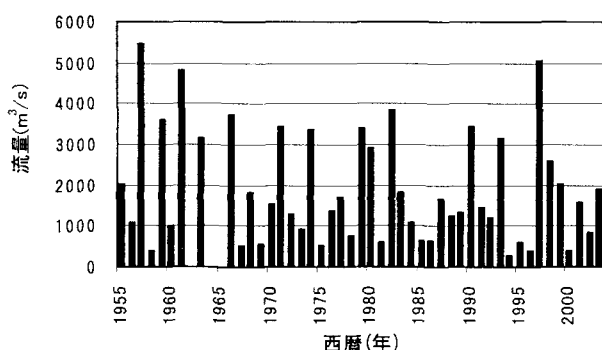


図-2 年最大流量の変化

されているように、1982年の時点では11.45km地点に前縁線Aを有する砂礫堆が形成されていたが、1987年には12.0km地点の上流側に新たな砂礫堆（前縁線B）が形成された。これらの前縁線の位置を、図-3にAおよびBとして示している。前縁線Aは1987年以後ほとんど前進していないが、前縁線Bは1993年以後も前進して2000年1月には11.6km地点に到達し、その後は停止している。

(4) 本村砂州の植生

図-3には、植生域の分布をあわせて示している。航空写真から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。研究対象区間の主な植生は、木本類がノイバラ、エノキ、ジャナナギなどであり、草本類がツルヨシ、イタドリ、カワラヨモギなどである¹¹⁾。

3. 植生状況変化の概要

植生状況の変化については、1997年からのモニタリングを基に、過去36年間の出水との関係について定性的な検討を行っている⁷⁾。その結果の主な概要は以下のようであった。

1987年6月と1996年2月の間に生じた木本類の消失は、1990年と1993年の年最大流量3,200～3,500 m^3/s の出水により発生したと判断した。したがって、草本類と木本類で砂州のほぼ全域を被覆した状態であっても、流量3,500 m^3/s 級の出水が発生すると、木本類が消失する大規模な植生破壊が発生することになる。

1999年3月と2002年2月の間に生じた草本類の回復は、1999年7月の年最大流量2,023 m^3/s の出水と2001年10月の年最大流量1,593 m^3/s の出水の間に生じていた。したがって、年最大流量が1,600 m^3/s 程度以下の状態が約2年半継続すると、裸地の状態から草本類で砂州全域が覆われる状態まで植生が回復することになる。

4. 植生状況変化の定量解析

(1) 植被指数

以上のように、過去36年間の植生状況の変化は流量から直接的な影響を受けることは分かったが、砂州上の植生の被覆状態や繁茂状態などの被説明変数が質的変量であるため、植生状況の変化を定量的に解析することはできなかった。そこで、過去36年間の植生状況の変化を出水規模との関係で定量的に再現することを目的として、砂州上の植生の被覆状態や繁茂状態などの植生状況を表現する変数として植被指数VFを新たに導入した。

砂礫堆の背面と前面では植生の繁茂状態がかなり異なるため、植被指数の設定は砂礫堆前縁線Bの上下流域別に行い、その値は、砂州上の対象とする領域のほぼ全域が裸地となった状態（例えば、1999年の前縁線Bの上流側）を0、木本類がかなり繁茂し、残りの大部分を草本類が被覆した状態（例えば、2003年の前縁線Bの下流側）を5として、表1のように定義した。なお、表1の面積割合は、その植生状況を示す複数の航空写真から、裸地、草本類、木本類が

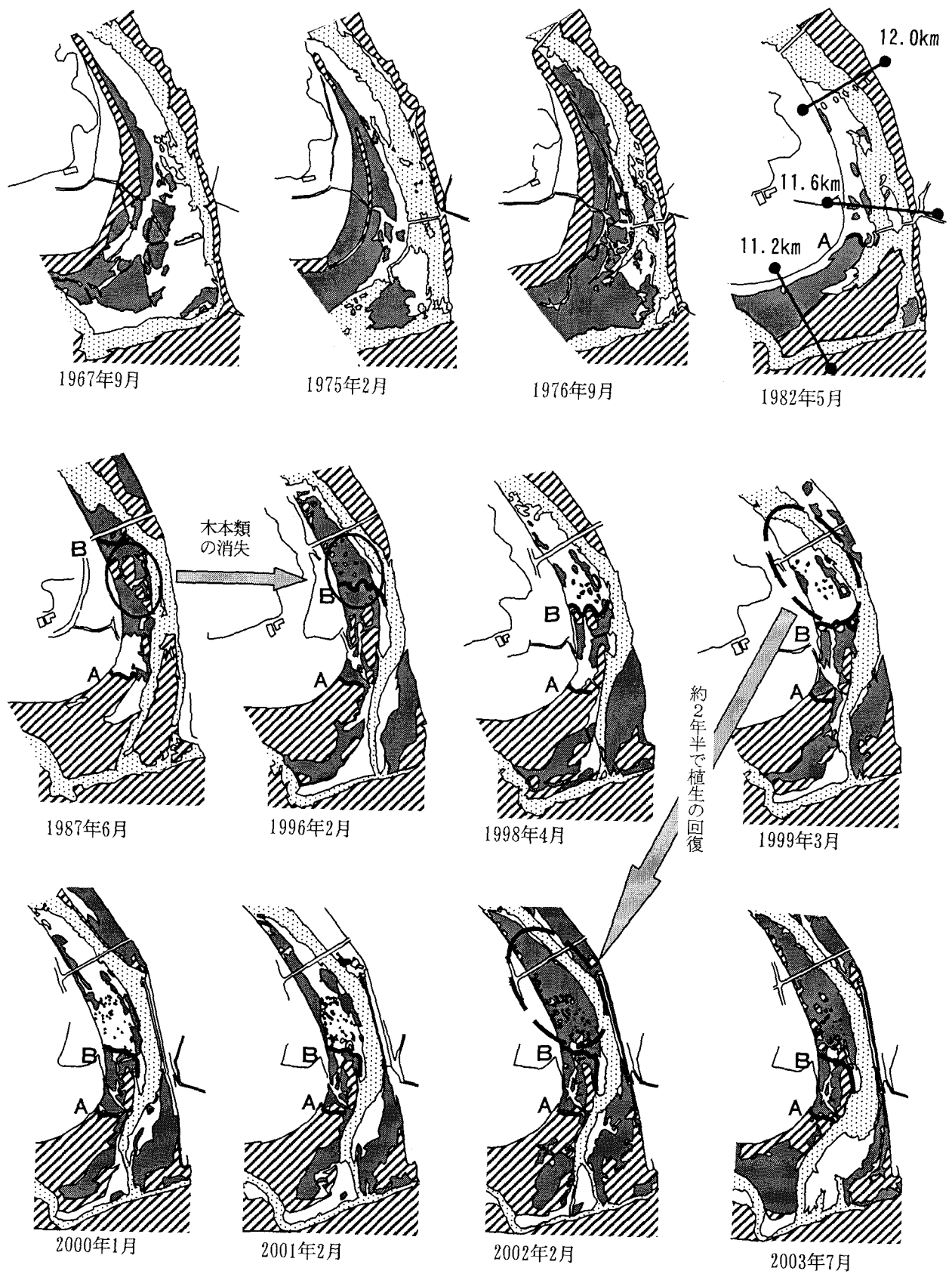


図-3 砂州上の植生域の変化と前縁線の位置
(前縁線の位置は服部らの研究¹⁰⁾を参考)

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
木本類が繁茂し、残りの大部分を草本類が被覆する	5	5	70	25
木本類が小群落を形成し、砂州の半分を草本類で被覆する	3	35	50	15
砂州の半分を裸地が占め、残りの大部分を草本類が被覆する	2	50	40	10
砂州のほぼ全域が裸地	0	80	20	0

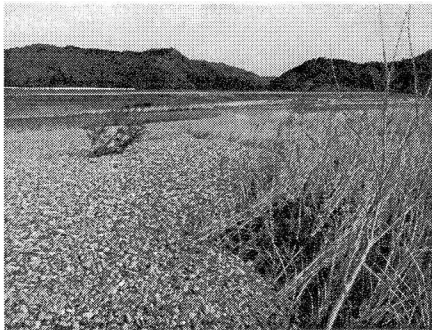


図-4 砂礫堆の前縁線

占める割合の平均値を求めて設定したものである。

(2) 植被指数の算定式

図-3の植生被覆・繁茂状況から各年の植被指数を表2のように設定した。なお、図-3を描くのに使用した航空写真の多くは春に撮影されていることから、表2は春期における値を示していると考えられる。

次に、植被指数の変化は各年の流量規模で表現できると仮定し、表2の値を観測値として、任意年の植被指数をその年の最大流量によって算定することとした。

まず、 i 年の植被指数 VF_i がその年の年最大流量 Q_i の作用を受けて $i+1$ 年の植被指数 VF_{i+1} ($=VF_i + \Delta VF_i$)に変化するものとし、1年間の変化量 ΔVF_i を下記のように仮定した。

a) 回復過程

植生の回復過程においては、草本類の生育と木本類の生育で植生の成長速度が異なると考える¹²⁾。したがって、砂州のほぼ全域で主に草本類が生育する時期と主に木本類が生育する時期で、植被指数の変化量を区別して算定する。その区別する限界の植被指数を VF_w とおく。

・ $VF_i < VF_w$ (主に草本類の生育) のとき

i 年の植被指数の変化量 ΔVF_i は、植生の破壊と回復の限界流量 Q_c とその年の年最大流量 Q_i の差で算定する。また、年最大流量が小さかった1999年～2002年の間に、裸地の状態($VF_{1999} = 0$)から砂州全域を草本類で覆う状態($VF_{2002} = 3$)まで植生が回復するのに約2年半を要した

表2 植被指数の観測値

植被指数	撮影年(前縁線の上流側)	撮影年(前縁線Bの下流側)
5	1987	1996, 2002, 2003
4	2003	2000, 2001
3	1996, 2002	1998, 1999
2	1976, 2001	
1	1967, 1998, 2000	
0	1975, 1982, 1999	

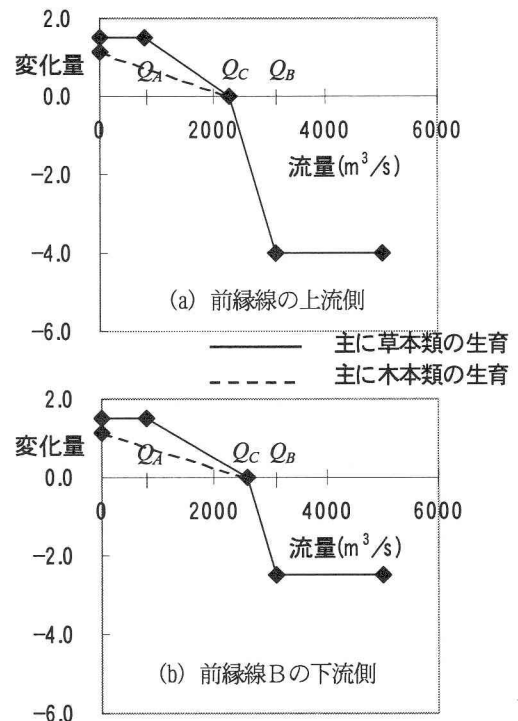


図-5 算定式の関数形

ことから、年最大流量が小さくても1～2年の間に植被指数が0から3に変わることはないと判断される。そこで、植被指数の増加に限界を設け、増加量の上限値を ΔVF_a として、その境界流量を Q_A とする。

$$\Delta VF_i = \Delta VF_{a1} \frac{(Q_c - Q_i)}{(Q_c - Q_A)} : Q_A < Q_i < Q_c \quad (1)$$

$$\Delta VF_i = \Delta VF_{a1} : Q_i \leq Q_A$$

・ $VF_i \geq VF_w$ (主に木本類の生育) のとき

$$\Delta VF_i = \Delta VF_{a2} (Q_c - Q_i) / Q_c \quad (2)$$

b) 破壊過程

1997年9月の大出水において植生は大きく破壊されたが、その破壊の程度は壊滅的でなく、1998年10月の出水によってさらに裸地が拡大した。このことから、植被指数の減少にも限界を設けて、減少量の最大値を ΔVF_b として、その境界流量を Q_B とおく。

$$\Delta VF_i = \Delta VF_b \frac{(Q_i - Q_c)}{(Q_B - Q_c)} : Q_c < Q_i < Q_B \quad (3)$$

$$\Delta VF_i = \Delta VF_b : Q_i \geq Q_B$$

表3 同定したパラメータ

	上限・下限値	境界値
前縁線 の上流側	$\Delta VF_{a1}=1.5$ $\Delta VF_{a2}=1.15$ $\Delta VF_b=-4.0$ $VF_w=4.0$	$Q_A=800$ $Q_B=3,100$ $Q_C=2,300$
前縁線B の下流側	$\Delta VF_{a1}=1.5$ $\Delta VF_{a2}=1.15$ $\Delta VF_b=-2.5$ $VF_w=4.0$	$Q_A=800$ $Q_B=3,100$ $Q_C=2,600$

なお、砂礫堆の前縁線Bの付近の状況を図-4に示している。砂礫が前縁線の上流側から移動してきて、前縁線の下流側に堆積して植生を破壊している様子が分かる。この前縁線の上下流での砂礫の移動傾向の違いにより、出水時の植生の破壊機構が、前縁線の上下流で異なると考えられる。このため、前縁線Bを境に植被指数の算定式のパラメータを区別して同定する。

(3) 植被指数の算定

a) 算定区間

植生破壊の主な原因との一つとなる河床材料の移動は、流水のエネルギー勾配に関係する。河川幅が変化するとエネルギー勾配が異なるので、植生消長が年最大流量の大小で表現できるとする仮定は成立しなくなる。したがって、本論文での植被指数の算定区間は、河川幅がほぼ同じとみなせる12.2~11.5km区間の砂州上流部分に選定する。

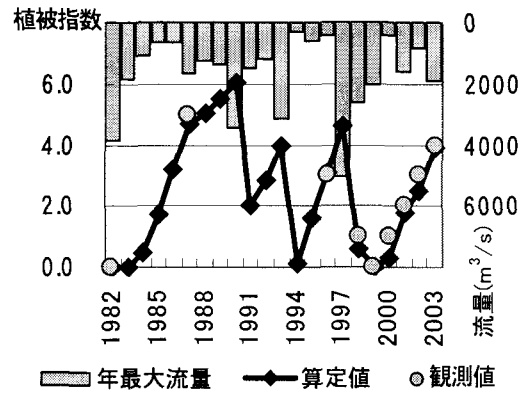
b) 同定期間

1982年の裸地状態の一部は、右岸堤防の新設や橋梁架設などの建設工事に伴うものが含まれると判断される。このため、流量変動に伴う植被指数の変化は1982年で途絶えと考え、1982年以降の前縁線より上流側(1993年以降は前縁線Bの上流側)の植被指数について、初期値として1982年の植被指数 $VF_{1982}=0$ を与えて、表2に示した観測値を再現できるように試算により算定式の VF_a や Q_c などのパラメータの値を同定した。その結果、表3に示す値が得られ、決定度係数として $R^2=0.9785$ が得られた。この同定した算定式の関数形を図-5(a)に示し、算定した植被指数の変化を図-6(a)に示す。

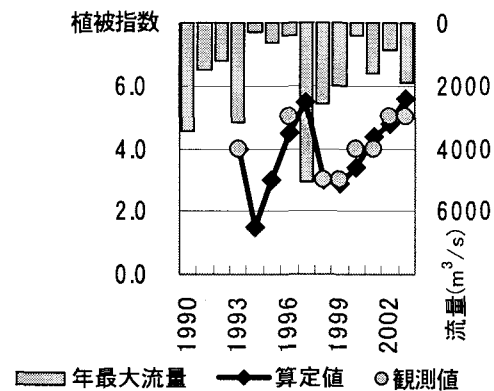
次いで、前縁線Bより下流側の植被指数の変化について、図-6(a)に示した1993年の算定値 $VF_{1993}=4.0$ を初期値として与えて、表2の植被指数の値を再現できるように試算により算定式のパラメータを同定した。その結果、表3に示す値が得られ、決定度係数として $R^2=0.8207$ が得られた。この同定した算定式の関数形を図-5(b)に示し、算定した植被指数の変化を図-6(b)に示す。なお、図-5(a),(b)中の破線は、いずれも $VF_i \geq VF_w$ の場合の関数形を示している。

5. 検討

まず、算定式の検証として、前縁線より上流側の算定



(a) 前縁線より上流側の同定結果



(b) 前縁線Bより下流側の同定結果

図-6 植被指数の変化

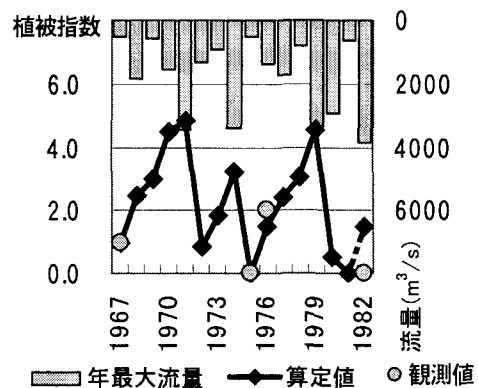


図-7 植被指数の変化

式を用い、初期値として $VF_{1967}=1.0$ を与えて、1967年~1982年の期間について植被指数を算定した。算定した植被指数の変化を図-7に示す。検証データとしては1975年と1976年の植被指数の観測値しかないが、1982年以降の植被指数から同定した算定式で植被指数の変化がほぼ再現できている。なお、1982年の植被指数は、図-3からは $VF_{1982}=0$ と判定されるが、1981年の年最大流量からは図中に点線でその変化を示すように $VF_{1982}=1.5$ と算定される。これらの値の差が右岸堤防の新設や橋梁架設などの建設工事に伴う人為的な植被指数の減少を表していると考えられる。図-6(a)と図-7の算定結果から1982年の値を除いて決定度係数を求めると

$R^2=0.9753$ となった。この結果から、前節で提案した仮定「 i 年の植被指数が、その年の年最大流量の一次関数で増減して、翌年の植被指数に変化する」の成立が確かめられたと考える。

図-5は、前縁線の上流側では $Q_C=2,300\text{m}^3/\text{s}$ を限界流量として植被指数が増減することを示しており、この値は前縁線の下流側のそれよりさらに小さい。したがって、1955年以降の49年間の平均年最大流量 $1,850\text{m}^3/\text{s}$ が Q_C より十分に小さいことから、本村砂州においては、多くの年で植被指数が増加して、植生が回復していたと判断される。

ところで、砂礫堆の前縁線の上下流における Q_C 、 VF_b の値の相違は、前縁線の上下流で植被指数の減少特性が異なることを示している。すなわち、前縁線の下流側では、掃流力が低下して砂礫の移動が抑制されるため植生が破壊されにくくなり、結果的に Q_C が大きくなったものと思われる。その結果、前縁線の下流側では、同規模の出水に対して植生の破壊状況が前縁線上流側の6割程度に軽減していたことになる。

以上のように求めた図-6(a)と図-7をつなぐと、本村砂州において1967年以降に繰り返されていた流量変動に伴う植生の破壊と回復の過去の様子が推定できる。1967年以降の流量変動に伴う植生の破壊は6回発生している。このことから、本村砂州においては、ほぼ6年に一度の頻度で植生の破壊と回復が繰り返されていたことになる。また、図-3からは1982年～1996年の間の植生状況の把握はできないが、算定結果からは1982年以降に年最大流量が Q_C より小さい状態が7年間継続したことにより、植生回復が1990年の出水前まで継続していて、出水前の植被指数が $VF_{1990}=6.0$ に達し、1967年以降の最大値を示していたことが推定できる。また、その後の出水による植生破壊についても、1990年の出水によって木本類の多くが消失して部分的に裸地の状態($VF_{1991}=2.0$)になり、その後一旦、 $VF_{1993}=4.0$ に植生が回復した後に、1993年の出水で再び植生が壊滅的に破壊されて $VF_{1994}=0$ の全域が裸地の状態になっていたことが推定できる。

6. まとめ

以上のように、本村砂州の上流部分を対象として、植被指数の定量解析を行って、砂州上の植生状況の変化を検討した。その結果をまとめると以下のようである。

- 1) 砂州上の植生の被覆状態や繁茂状態などの植生状況を表現する量的変量として、植被指数を提案した。
- 2) 植被指数の変化を年最大流量の一次関数で表現することで、本村砂州の上流部分における流量変化に伴う1967年以降の植生状況の変化を推定できた。
- 3) 本村砂州の植被指数が増減する限界流量は $2,300\text{m}^3/\text{s}$ と同定された。北川の平均年最大流量が限界流量より十分に小さいことから、本村砂州においては、多くの年で植生が回復していたと判断される。
- 4) 本村砂州においては、ほぼ6年に一度の頻度で植生

の破壊と回復が繰り返されていたと推定される。

- 5) 砂礫堆前縁線の下流側では、掃流力が低下して砂礫の移動が抑制され、結果的に植被指数の増減の限界流量が $2,600\text{m}^3/\text{s}$ となって植生が破壊されにくくなるとともに、同規模の出水に対して植生の破壊状況を前縁線上流側の6割程度に軽減させていたと推定される。

以上のように、砂州上の植生状況を表現する変数として植被指数を導入することによって、砂州の植生状況が過去どのように変化していたのかを、出水時の流量規模を基に定量的に再現できることを示した。しかし、本論文では植被指数を年最大流量の一次関数で表現したため、河川幅が変化する11.5km地点より下流側の砂州の植生状況の変化は算定できなかった。今後は、算定式の総合化・普遍化を図る必要があると考えている。

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部として実施したものである。資料については国土交通省国土技術政策総合研究所および延岡河川国道事務所、宮崎県土木部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) 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。
- 2) 藤本国博ら：北川激甚災害対策特別緊急事業の河川環境モニタリング、河川技術論文集、第10巻、pp.495-500、2004。
- 3) 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。
- 4) 服部敦ら：五ヶ瀬川支流北川における河道掘削による河原形成システムの変質について、水工学論文集、第48巻、pp.991-996、2004。
- 5) 寺本敦子、宮脇真二郎、辻本哲郎：木津川下流部における砂州地形の特徴と植生域の変遷のシナリオ、河川技術論文集、第10巻、pp.375-380、2004。
- 6) 杉尾哲、渡邊訓甫、田上篤志：植生の回復過程にある砂州での洪水による草本植生破壊の検討、水工学論文集、第47巻、pp.1003-1008、2003。
- 7) 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。
- 8) 杉尾哲、渡邊訓甫：北川本村砂州における出水による植生域の変化、土木学会第59回年次学術講演会講演概要集、2-261、pp.521-522、2004。
- 9) 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。
- 10) 服部敦ら：砂礫の移動と植生との関係、北川の総合研究—激特事業対象区間を中心として—、河川生態学術研究会北川研究グループ、pp.2・2・1-2・2・16、2004。
- 11) 久野敦史、杉尾哲：北川長井地区における砂州内植生と砂州地形変化に関する研究、宮崎大学工学部紀要、第30号、pp.207-212、2001。
- 12) 榎本真二ら：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、河川技術論文集、第10巻、pp.303-308、2004。

(2004.9.30 受付)