

吉野川中流域における砂州地形の 長期的変化に及ぼす要因分析

FACTOR ANALYSIS OF SANDBAR DEFORMATION PROCESSES IN THE MIDDLE REACHES OF YOSHINO RIVER

野村一至¹・武藤裕則²・寺井一弘¹・河口洋一³・田村隆雄⁴
Kazushi NOMURA, Yasunori MUTO, Kazuhiro TERAJ and Yôichi KAWAGUCHI, and
Takao TAMURA

¹学生会員 徳島大学 大学院先端技術科学教育部 博士前期課程 (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

²正会員 Ph. D 徳島大学教授 大学院ソシオテクノサイエンス研究部 (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

³正会員 博(学) 徳島大学准教授 大学院ソシオテクノサイエンス研究部 (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

⁴正会員 博(工) 徳島大学准教授 大学院ソシオテクノサイエンス研究部 (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

The Yoshino River, Japan, is rich in water resources, but simultaneously possesses high risk of flood disaster. River improvement works to reduce damage from the floods have been conducted which attain increase of the discharge capacity. On the other hand, local sediment deposition and scouring are growing concern by the repeated floods, decreasing of sediment supply and construction of river structure. In order to resolve these problems, it is necessary to understand the effects of natural and artificial impacts on the river channel. In this paper, the channel transition processes were studied in the Middle Yoshino River using aerial photo, morphology data. Natural and artificial impacts on those processes were evaluated from sandbar deformation, fluctuation of bed elevation and volume in low-water channel.

As a result, sandbar deformation by the floods and revetment works was confirmed. The floods and dam construction affected fluctuation of river channel with the sediment deposition and scouring.

Key Words : *channel transition processes, natural and artificial impact, sandbar deformation, river channel fluctuation, fluctuation of volume in low-water channel*

1. はじめに

わが国では、治水能力の向上や社会資本の充実を目的とした河道改修工事が行われてきた。吉野川も例外ではなく、過去に発生した洪水に伴って治水計画が変更され、築堤や護岸工事等が行われてきた。改修工事によって河道の流下能力は向上し、1949年の吉野川第二期改修工事以降破堤を伴うような大規模な洪水被害は発生していない^{1,2)}。しかしながら、改修工事は河床や滞筋といった河道の状況に少なからず影響を与えており、河道変化に伴う局所的な土砂堆積による洪水流下への支障や深掘れによる堤防の安全性低下等が懸念されている。このような事態を回避し、河道を健全な状態で維持できるような管理計画を策定するためには、過去の洪水や改修工事によって河道がどのように遷移してきたかを明らかにする必要がある^{3,4)}。そこで、本研究では吉野川の直轄管理区

間のうち、中流域を対象に自然的インパクト(洪水)及び人為的インパクト(砂利採取事業、ダム・河川構造物の建設、河道改修工事等)が河道変遷にどのような影響を及ぼしてきたかを、既存の河川調査資料より考察した。

2. 研究方法

吉野川中流域のうち、14.0~40.0kmの区間を対象とした。この区間には下流端に河口堰である第十堰が、上流端に岩津狭窄部があるほか、柿原堰や善入寺島の影響を受けて流路が形成されている。

河川調査資料は徳島河川国道事務所より入手した航空写真、横断測量データ、洪水・砂利採取・河道改修工事の履歴を使用し、1961年から約50年間にわたる河道の変化を整理した。航空写真より全川的な河道の変遷を把握するとともに、対象区間全ての砂州の形状・位置・数、

植生侵入の有無を調べた。横断測量の調査結果をもとに、低水路平均河床高及びその経年的な変動量を算出してその縦断分布を作成した。また、低水路平均河床高と低水路幅、縦断距離より低水路容積を算出し、土量の変化を調査した。さらに、砂利採取量、ダム堆砂量、出水及び改修工事等による容積の変動量を求め、低水路容積の変化に対する各インパクトの寄与率について考察した。

3. 結果及び考察

(1) 河道の変遷

対象領域の航空写真を図-1に、航空写真より読み取った砂州の分離・合体の経年変化を表-1に示す。本研究では、堰の存在や河中島といった地形的特徴より河道を

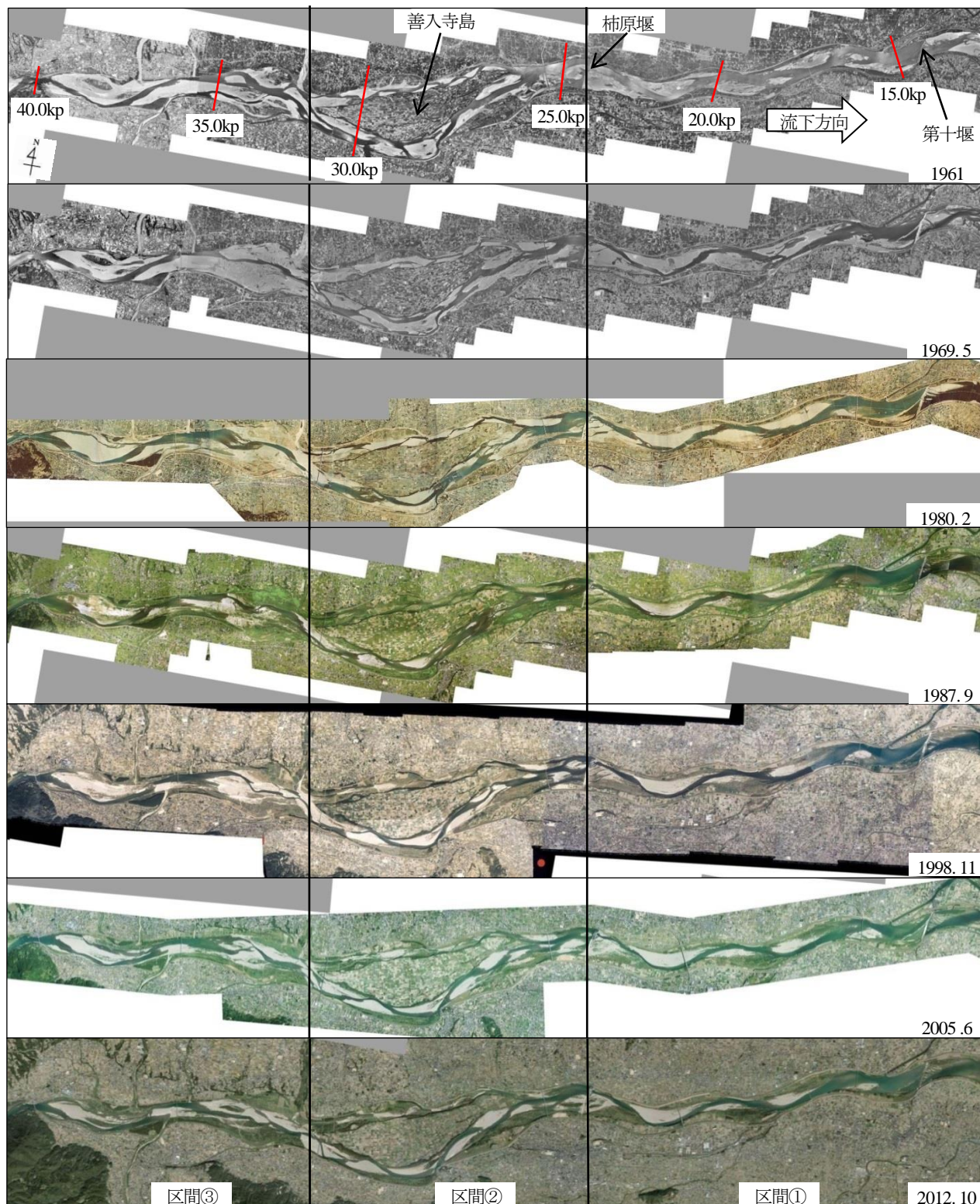


図-1 航空写真による河道の変遷

表-1 砂州の変遷

年	区間③ (40.0~32.0kp)				区間② (32.0~24.0kp)						区間① (24.0~14.0kp)								
	40.0kp	40.0kp	37.0kp	35.4kp	32.5kp	32.0kp	31.0kp	30.0kp	29.0kp	26.0kp	25.0kp	27.0kp	26.0kp	24.2kp	23.0kp	21.0kp	19.0kp	17.0kp	15.0kp
2012.10	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	R ₁	R ₁	L ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	-
2009.3	R ₁	L ₁	R ₁	M ₁ L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	R ₁	R ₁	L ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	-
2007.12	R ₁	L ₁	R ₁	M ₁ L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	R ₁	R ₁	L ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁
2005.6	R ₁	L ₁	R ₁	M ₁ L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	R ₁	R ₁	L ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁
1998.11	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	R ₁	R ₁	L ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁
1987.9	-	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	R ₂	R ₁	L ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁
1969.5	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁ , M ₁ L ₂	R ₁	R ₁	R ₁	L ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁	R ₁	-
1961	R ₁	L ₁	R ₁	M ₁ L ₁ L ₂	R ₁	L ₁	R ₁	L ₁ , M ₁ L ₂	R ₁	M ₁	M ₁	L ₁	L ₁	R ₁	L ₁ L ₂	R ₁ R ₂	L ₁	R ₁	-

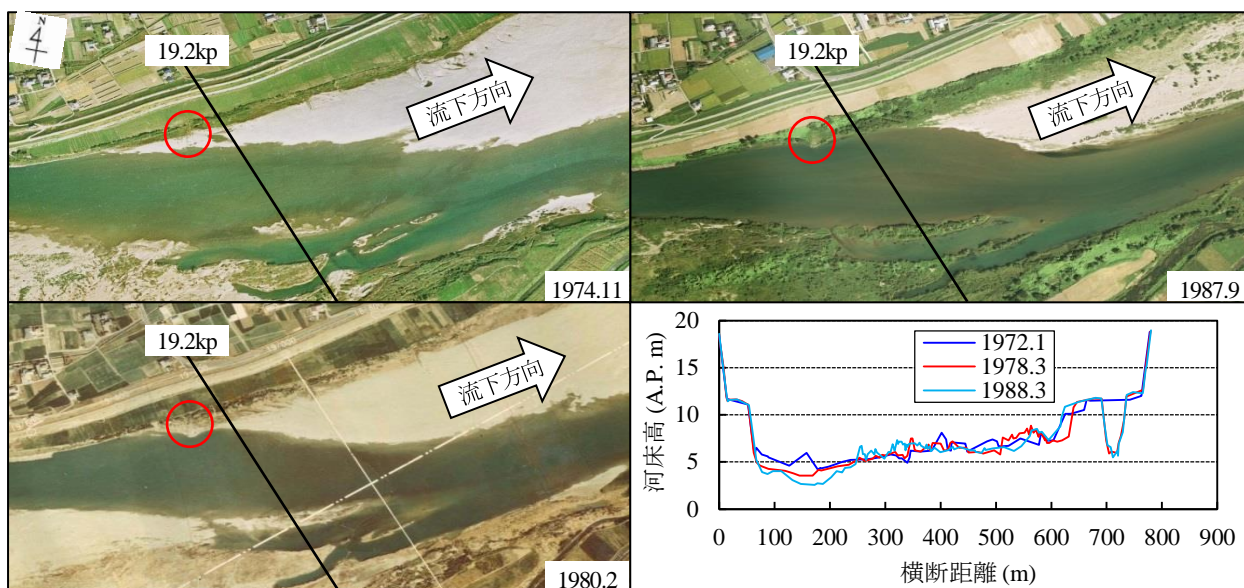


図-2 砂州及び19.2kpの横断面の変遷

3つの区間に分割し区間別に考察を行う。区間①は第十堰から柿原堰 (14.0~24.0kp) , 区間②は柿原堰から善入寺島上流 (24.0~32.0kp) , 区間③は善入寺島上流から岩津狭窄部 (32.0~40.0kp) とした。航空写真は1961年から2012年まで約8年間隔で示している。砂州の変遷は、航空写真より目視で砂州の位置を断定し、各砂州に番号を付け整理した。ここで、R_nは右岸側の砂州、L_nは左岸側の砂州、M_nは中州を意味している。ただし、区間②については主要な流路である善入寺島南側の流路についてのみ検討を行った。また、航空写真が撮影された日が記録に残っていないため、正確な流量は不明である。

表-1より、砂州の分離・合体は1961~1987年に集中していることが分かった。区間③では35.4kp左岸砂州が1961~1969年の間に中州と合体し大きな砂州となり、その後1987年までに植生が侵入し高水敷化したことで流心方向に砂州が拡大した。区間②は1961~1987年辺りまで流路が大きく変化していた。この区間は善入寺島によって流路が分離し、大きく蛇行していることから流れが複

雑になり砂州が変化しやすい区間だと考えられる。また、1987年以降31.0kp右岸砂州の護岸付近に植生が侵入し、砂州の半分以上が固定化している。区間①については全期間を通して変化が小さいことが分かった。この区間は上下流に堰があり、流況が比較的安定していることと、河道が蛇行を繰り返していることから砂州位置が変化しない環境にあるといえる。しかし、1961~1969年において19.0kp左岸砂州の形状が大きく変化していた。これは、砂利採取事業が活発に行われ砂州が攪乱されやすい状態にあったことが原因である。

次に、砂州位置の経年変化と各インパクトの関係を調査した。砂州の位置は出水の作用を受けて前進していくのが一般的であるが、全川的にその傾向は顕著に表れなかった。そこで、一つの砂州に注目し、位置及び形状の変化に及ぼすインパクトを調査した。図-2は19.0kp左岸砂州後端の変遷及び19.2kpにおける横断面図を示している。ただし、航空写真と横断面図との年代が一致するデータがないため、各々の直近の年代を使用している。航空写真

より、水制工が設置されていることが確認できる（図中赤丸）。この水制工の設置年は不明だが、航空写真より1961年以前に設置されたものと推測できる。1974年以前は水制工の影響を受けることなく、円弧状に砂州が形成されているが、1980年から砂州後端の形状が変化している。砂州尻～水制工直下は砂州幅の拡大が拘束され、その下流で急激に拡大している様子が伺える。横断面より、19.2kpにおける砂州幅は1972年では約100m、1978年及び1988年は約50mとなっており、砂州幅の拡大が抑制されていることが確認できた。また、航空写真より砂州幅が急拡大する位置の変化を調べたところ、1980年は水制工より約100m下流だったのに対し、1987年では約300m下流にまで前進しており流下方向の形状にも影響を及ぼしていることがわかった。19.2k左岸砂州周辺の低水路容積の変動量を調べたところ0.2～1.2万m³と小さく、19.2kpの変動量も同程度であったため、水制工付近の砂州の形状といった局所的な変化に影響を与えていることが分かった。

(2) 低水路平均河床高の変遷

200mごとに測定された横断測量データから低水路平均河床高を算出し、作成した縦断面図を図-3に示す。ここで、区間②については航空写真と同様、善入寺島南側の流路について検討している。また、図中に主要な構造物及び河中島の位置を示している。検討に用いた年代は洪水の履歴を参考にし、1962～2000年のうち6ヶ年のデータを使用した。

1962～2000年の河床高の変化をみると、局所的に上昇している時期もみられるが経年的には低下傾向にあった。局所的な変化として、善入寺島南側流路の蛇行部（29.0kp）、柿原堰直下（24.0kp）、第十堰直下（14.0kp）で顕著な河床低下がみられた。これらは河中

島や堰の影響を受けているため、このような変動を示している。また、岩津狭窄部（40.0kp）では河床が低下し、その直下で再び河床が上昇している。これは、川幅の狭窄による流速の増大を受けて河床が洗掘されやすいことと、川幅の拡大による流速の減少によって狭窄部で洗掘された土砂が堆積していることに起因している。33.6～35.2kpで河床勾配が緩慢になっているが、ここも川幅が広がっており、上流から流入してきた土砂が堆積しやすい箇所だといえる。このように河床高が上昇している箇所でも、その変動量は経年的に減少していた。

河床変動を区間別にみると、区間③は1962～1988年まで区間平均で約0.4mずつ河床が低下し、1984～1988年に最大2m低下する箇所がみられた。その後、2000年には34.4kpより上流で河床が0.6m程度上昇しているのに対し、32.0～34.4kpは約0.5mの低下であった。区間②については年代ごとに洗掘と堆積を繰り返している。河床変動の標準偏差は0.5mであった。区間①は1962～1972年に最大2.6mの河床低下がみられた。1972～1984年は洗掘と堆積を繰り返していたが、それ以降は低下傾向にある。図には示していないが、最深河床高の経年変化を調べたところ経年的に低下していた。これは砂州位置が安定しているため滞筋が深掘れとなる傾向にあると考えられる。

全川的な河床変動の傾向としては、1962～1984年までに大きく低下し、それ以降は変動が緩やかになり比較的安定している。区間ごとの特徴をみると、区間③は狭窄部やその下流側における川幅の拡大といった、川幅の影響を強く受けていると考えられる。区間②は流路の分離及び蛇行の影響を受けて洗掘と堆積を繰り返しており、河床が攪乱されやすい区間である。図-1より砂州地形には大きな変化がみられたが、河床変動は比較的小さかった。区間①については、流路の位置は安定していたが、河床高は比較的变化していることがわかった。

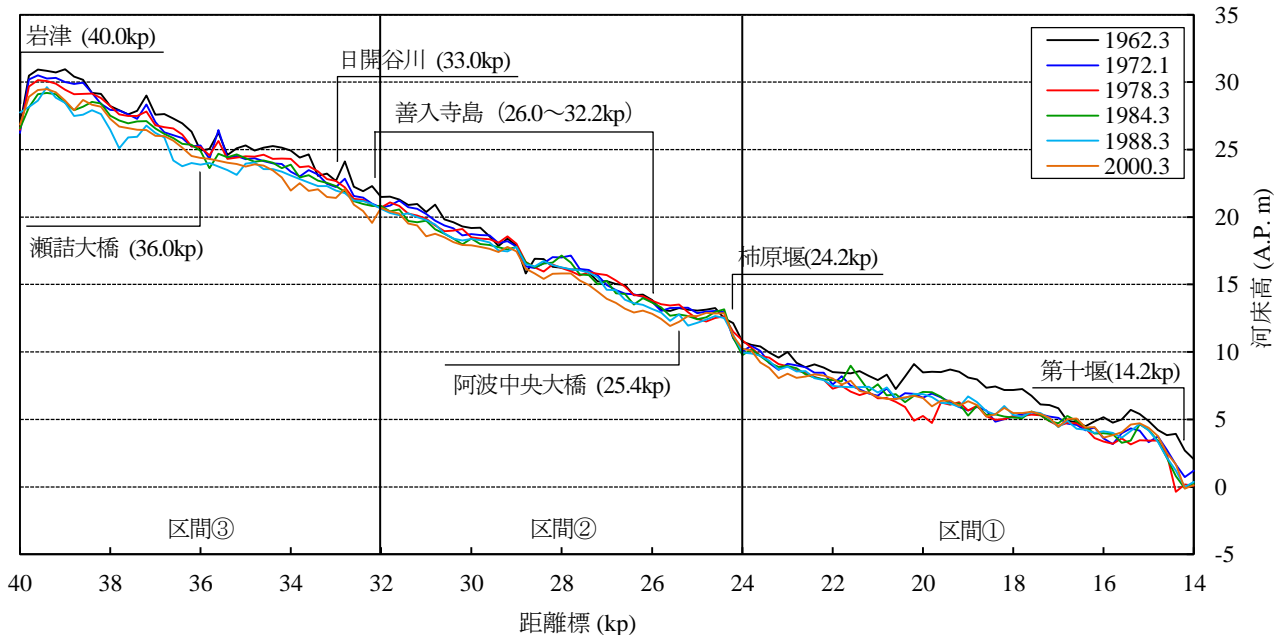


図-3 低水路平均河床高の縦断面図

(3) 低水路容積の変遷

河道の変遷を砂利採取量等と同じ体積で評価するため、土量の変化を求め砂利採取量やダム堆砂量と併せて検討を行った。図-4に示すような低水路容積を算出し、その変動量を土量として扱った。まず、全区間、全期間の低水路断面積 $A(\text{m}^2)$ を求める。ただし、低水路断面積を求める際、水位は全期間一定として扱っている。この低水路断面積に縦断距離である200mを乗じると低水路部の容積 $V(\text{m}^3)$ を求めることができる。期間ごとに低水路容積 V の差を求めると200mピッチの低水路容積の変動量 $\Delta V(\text{m}^3)$ が求まり、これを低水路容積の変動量として扱う。

図-5に低水路容積の変動量と砂利採取量、ダム堆砂量、出水その他による変動量の関係図を示し、図の左に各期間に発生していた岩津におけるピーク流量 $10,000\text{m}^3/\text{s}$ 以上の洪水の履歴を記載している。ただし、図中の正の値

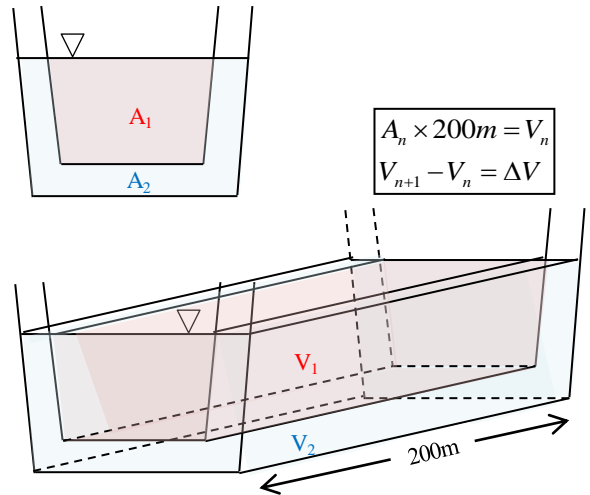


図-4 低水路河道容積の変動量の求め方（モデル図）

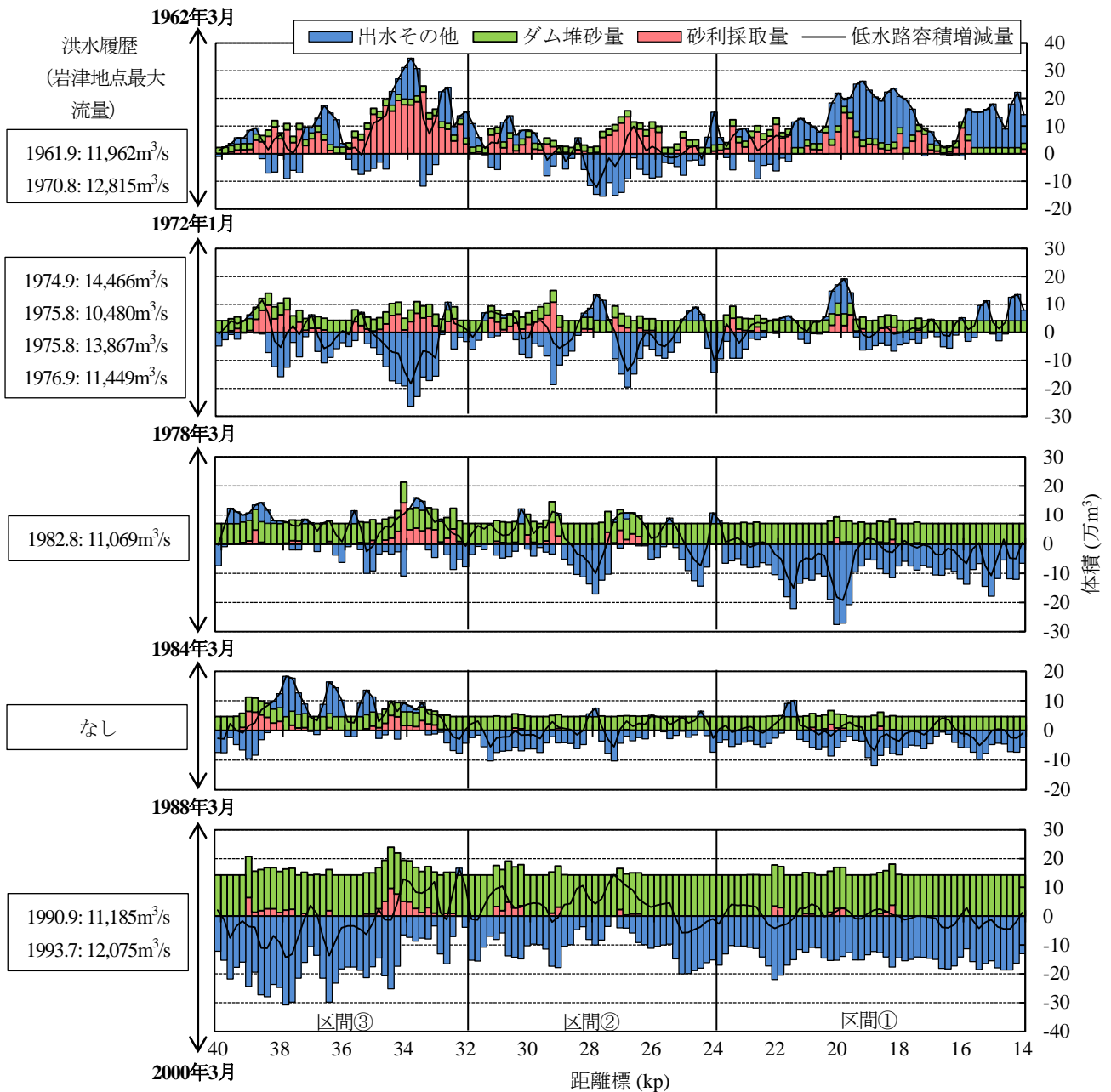


図-5 低水路容積変動量と各インパクトとの関係

が容積の増加すなわち洗掘を意味し、負の値が堆積を意味している。ここで、砂利採取量は河川調査資料を使用し、ダム堆砂量⁵⁾は吉野川上流域にある13基のダムによる値を用い、ダムへの堆砂がダム下流全域に均一に河床低下をもたらしているものと仮定し使用した。出水その他による変動量は、図-4のように算出した低水路容積の変動量から砂利採取量及びダム堆砂量を減じたもので、出水や河道改修工事、支川からの土砂の流入、河道地形による局所的な影響など、砂利採取とダム堆砂以外の要因の総和と考えている。砂利採取とダム堆砂は河床を低下させる方向に作用するが、出水その他の要因は洗掘、堆積の両方に作用する可能性がある。すなわち、低水路容積の変動量が負の場合もしくは砂利採取量及びダム堆砂量の合計より小さい場合は出水その他の要因が土砂を堆積させる働きを持っていたということになる。

図-5より、1962～1972年の期間は全川的に大規模な砂利採取事業が行われており、それに伴って低水路容積も大きく変動していた。1972～1978年の砂利採取量は前期間より低下したものの、広い区間で事業が行われていた。それ以降は事業が規制されたことを受け、採取量は微量となっている。しかし、砂利採取量が減少した後も10万 m^3 以上の低水路容積の変動がみられることから、出水その他の要因も河床変動に大きな影響を及ぼしていると考えられる。

次に区間ごとの低水路容積の変動について考察する。区間③については、1962～1972年に低水路容積が30万 m^3 以上増加していた。これは大規模な砂利採取事業によって河床が攪乱されやすい状況にあったためである。1972年以降は増加と減少が交互に現れている。この理由としては、図-1から確認できるように、砂州が樹林化し低水路幅も変化しているためだと考えられる。ただし、増が加・減少が繰り返されているため、このような周期で安定している区間だといえる。区間②の低水路容積の変動は最大10万 m^3 程度と比較的小さかった。この区間は流路の分離や蛇行によって河道が攪乱されやすい場所であるにもかかわらず、上記のような結果となった原因として、区間③の影響を受けていると考えられる。区間③で変動量が増加した期間は区間②に減少する箇所が現れ、区間③で減少した期間は区間②に増加する箇所が多く現れている。以上のことから、対象区間上流域における低水路容積の変動によって対象区間の変動がある程度決定されていることが伺える。区間①については1962～1972年に20万 m^3 以上の低水路容積の増加がみられ、それ以降は小さな変動量で増加・減少を繰り返していた。

全区間の低水路容積の経年変化についてみると、変動の傾向は砂利採取事業及び出水その他の要因に連動していることが伺える。砂利採取事業によって砂州高が低下し、出水時に砂州や高水敷にも水が流入しやすくなることで、河道が攪乱されやすい状況になっていることが原因として挙げられる。また、図-5左に示した洪水履歴を

みると、洪水が多発していた1972～1978年の低水路容積の変動は他の期間と比較して顕著に大きいというわけではないため、出水の数の影響は小さいといえる。さらに、区間③、②における低水路容積の変動波形が経年的に下流側へ移動していることが確認できた。これは下流側の変化が上流側の土砂収支の影響を受けているためである。

4. まとめ

本研究では吉野川において自然的インパクト・人為的インパクトの両者が河道変遷に与える影響を調査した。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 砂利採取事業が活発に行われていた区間、期間では低水路容積も大きく変化していた。
- (2) 低水路容積の変動は砂利採取事業と出水その他の要因が複合して作用していた。ただし、河床高の変化については洪水の影響も強く受けている。
- (3) 区間③、②のように堰によって河道が分断されていない区間では、上流側の土砂収支の影響を受け下流側の変動が決定される。

今後の課題として出水や河道改修工事、支川からの土砂流入といったその他のインパクトによる影響を明らかにすること、対象区間の上下流の変遷を調査していないこと、ダム堆砂量は対象区間にのみ作用していると仮定しているため、区間を拡大して河道変遷を調査すること、河床材料粒度組成の調査結果も考慮してより詳細に土砂収支量を求めることが挙げられる。

謝辞：本研究（の一部）は日本学術振興会（JSPS）の科学研究費助成事業（番号26420498）及び河川財団の河川整備基金助成事業（番号26-1212-007）の援助を受けた。また、本研究を進めるに当たり、国土交通省四国地方整備局徳島河川国道事務所の方々には貴重なデータを提供して頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 藤川東市，岡部健士：吉野川の河床変動特性に関する研究，土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集，第15回，pp.121-122，2009.
- 2) 国土交通省 四国地方整備局 河川部：吉野川の概要，<http://www.skr.mlit.go.jp/kasen/index.html>，2013年6月12日.
- 3) 岩谷直貴，福岡捷二，銭谷秀徳：利根川下流部における河道改修の経緯とその結果，水工学論文集，第57巻，I_1003-1008，2013.
- 4) 茂呂康治，風間聡，福岡捷二：利根川下流部河道改修の変遷と浚渫の効果，河川技術論文集，第17巻，pp.101-106，2011.
- 5) 国土交通省：平成11年度ダム堆砂状況調査の結果について，2001.

(2014. 9. 30受付)