

航空写真分析を活用した中部一級河川群の 長期的植生動態の比較研究

COMPARATIVE STUDY ON LONG TERM CHANGE OF
RIPARIAN VEGETATION IN CLASS-A RIVERS IN CHUBU REGION
BY USING AERIAL PHOTOGRAPH ANALYSIS

戸田祐嗣¹・古川智文²・辻本哲郎³

Yuji TODA, Tomofumi FURUKAWA and Tetsuro TSUJIMOTO

¹正会員 博(工) 名古屋大学・准教授 工学研究科(〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

²正会員 修(工) 清水建設株式会社

³フェロー 工博 名古屋大学・教授 工学研究科(〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

Recently, the expansion of riparian vegetation on flood plain has been reported in many Japanese rivers, and the understanding of changes of riparian vegetated area is important for river management. In this study, the large scale and long term dynamics of riparian vegetation is investigated in 8 class-A rivers in Chubu region by using aerial photograph analysis. The expansion and destruction of riparian vegetation and the survival period of vegetation were analyzed in addition to the long term trend of vegetation coverage. The results of the analysis indicate that the vegetation dynamics of class-A rivers in Chubu region can be classified into four types in accordance with the trend of the expansion and destruction of vegetation. It is also found that the active exchange of vegetation can be identified by frequency of bed disturbance and the phase of meso-scale bed configuration (bar forms) of target section of river.

Key Words : *Riparian vegetation, Chubu region, class A rivers, aerial photograph, expansion and destruction of vegetation*

1. はじめに

我が国の多くの河川で河道内での植生域拡大が報告されている。植生域の拡大は、河川の洪水流下能力を低下させ、また、河道地形の形成に影響を与えるなど治水面での河川管理上の課題となる一方で、河川敷に生息する生物の生息空間を提供するなどして河川生態系にも影響を与えるため、治水、環境の両面から河川植生の動態を把握する必要性は高まっている。

これまで、現地踏査、数値解析などを用いて河道内の植生繁茂および樹林化に関する研究が行われており、植生繁茂と洪水履歴・地形変化・土砂動態などとの関係性について検討されてきた^{1)~5)}。これら既往研究の成果から、河道内植生動態のメカニズム把握はここ10年程の間に目覚ましく進展してきている状況である。

このように、河道内の植生動態については、メカニズム面から多くの研究が行われるようになっており、その

知見は今後の河川植生管理に有用なものである。一方で、既往の研究では、植生動態メカニズムの解明を主な目的としているため、河川内の特定の砂州などを対象として検討が行われることが多かった。河川管理の視点から見た場合、河道内植生繁茂の特徴をセグメントスケール程度のより広域的な視点から把握すること、また、数十年程度の長期的傾向からその特徴を把握することは重要と思われる。このような観点から、戸田ら⁶⁾は、天竜川を対象として、過去からの航空写真を活用し、広域(セグメントスケール)、長期的な植生動態の分析方法を提案している。

本研究では、戸田ら⁶⁾の手法を、中部圏の8つの一級河川群に適用し、各河川間での植生動態の違いを抽出するとともに、河川群の比較から植生動態の類型化を試みる。また、植生動態と川幅、流量などから算出される河道のマクロな特性値との関係性を明らかにすることを目的とする。

表-1 分析対象とした河川・河道区間と使用した航空写真の撮影期間

対象河川	対象区間 河口からの距離(km)	航空写真の撮影期間
天竜川	1～22	1967～2005
豊川	12～25	1961～1987
矢作川	5～33	1947～1992
庄内川	3～26	1946～1990
木曽川	27～57	1945～1993
長良川	22～53	1945～1993
揖斐川	29～55	1945～1993
櫛田川	0～11	1949～2006

表-2 航空写真の撮影年月

天竜川	豊川	矢作川	庄内川	木曽川	長良川	揖斐川	櫛田川
1967 年 12 月	1961 年/月	1948 年 6 月	1946 年 6 月	1945 年/月	1945 年/月	1945 年/月	1949 年 10 月
1976 年/月	1974 年/月	1955 年/月	1961 年 3 月	1955 年/月	1955 年/月	1955 年/月	1961 年 7 月
1981 年 3 月	1976 年 11 月	1964 年 1 月	1965 年 1 月	1959 年/月	1970 年/月	1976 年 5 月	1975 年 11 月
1983 年 6 月	1985 年 1 月	1974 年 11 月	1974 年 1 月	1974 年/月	1979 年/月	1981 年 5 月	1983 年 11 月
1987 年 11 月	1987 年 10 月	1976 年 11 月	1977 年 8 月	1979 年/月	1981 年/月	1987 年/月	1995 年 4 月
1990 年/月		1979 年 10 月	1980 年/月	1981 年 5 月	1987 年/月	1993 年/月	2006 年 5 月
1995 年 2 月		1985 年 1 月	1987 年 12 月	1987 年/月	1993 年/月		
1996 年/月		1987 年 12 月	1990 年 8 月	1993 年/月			
1998 年 10 月		1992 年 3 月					
2003 年 12 月							
2004 年 11 月							
2005 年 9 月							

2. 航空写真を用いた植生動態の把握手法

本研究では航空写真から植生繁茂の変遷を調査した。分析手法は戸田ら⁶⁾と同様であるため、ここでは概要のみを以下に示す。地理情報システム (GISver. 9.3) を利用し、最尤法分類により、地表状況を草本域、木本域、裸地域、水域といった4つに分類した。しかし、砂州際の浅い水域と木本のRGBコードが近かったため、自動的にこの2つの領域を完全に分離することはできなかったため、輝度の空間勾配値を用いたエッジ抽出を行った。この2つの分類図 (最尤法分類, エッジ抽出) を重ね合わせることで浅い水域と木本域を誤差0.5%以下の精度で分類することが出来た。その後、人工地 (グラウンドや耕作地など) を目視判読し、先ほど分類した画像と重ね合わせることで最終的に草本・木本・裸地・水域・人工地の5つに分類した。

河道は洪水の影響を受けやすく植生変化や地形変化を頻繁に繰り返す低水敷と、低水敷よりも一段比高が高く洪水の影響を受けにくい高水敷に分けられる。河道内植生の動態を議論する際これらを分離して考える必要があるため、航空写真の目視判読と横断面図を用いることで高水敷・低水敷境界を抽出した。

対象区間は砂州が発達し植生の繁茂が活発と思われる扇状地区間を対象とする。表-1には対象河川と対象区間、航空写真の撮影期間を、また、表-2には使用した航空写

真の撮影年月を示す。なお、表-2内の斜線箇所は撮影月不明であることを意味する。表-2からわかるように航空写真の撮影時期はそれぞれ異なり、季節差によって植生の色調は異なっていた。そこで、最尤法による地表面分類においては、航空写真ごとに分類項目を目視判読し、航空写真毎に異なる閾値を設定した。隣接した撮影期間における植生動態を把握するために、新たに侵入した植生域と破壊された植生域を抽出する。解析に供する航空写真のうち撮影期間の隣り合うもの2カ年分を重ね合わせ、裸地・水域から草本または木本に変わった領域を侵入域、逆に草本・木本から裸地または水域に変わった領域を破壊域とする。抽出した植生域の面積から、植被率 (＝植生域面積/河道面積×100 (%))、侵入率 (＝侵入域面積/河道面積×100 (%))、破壊率 (＝破壊域面積/河道面積×100 (%)) を算出した。植生の残存年数は、分類した航空写真を全て重ね合わせることで、植生域内のある地点について最初に侵入が判別されてからどれだけの年数残存したかを数えることで算出したが、離散的な撮影間隔のどの時点で植生が侵入したかは判読できないため、残存年数を最大と読んだ場合と最小と読んだ場合の中間の値を残存年数として採用することにした。例えば、5年前の航空写真から植生が存在し、それと隣り合う7年前の航空写真で植生が存在しなかった場合、残存年数は7年と5年の平均より6年とした。

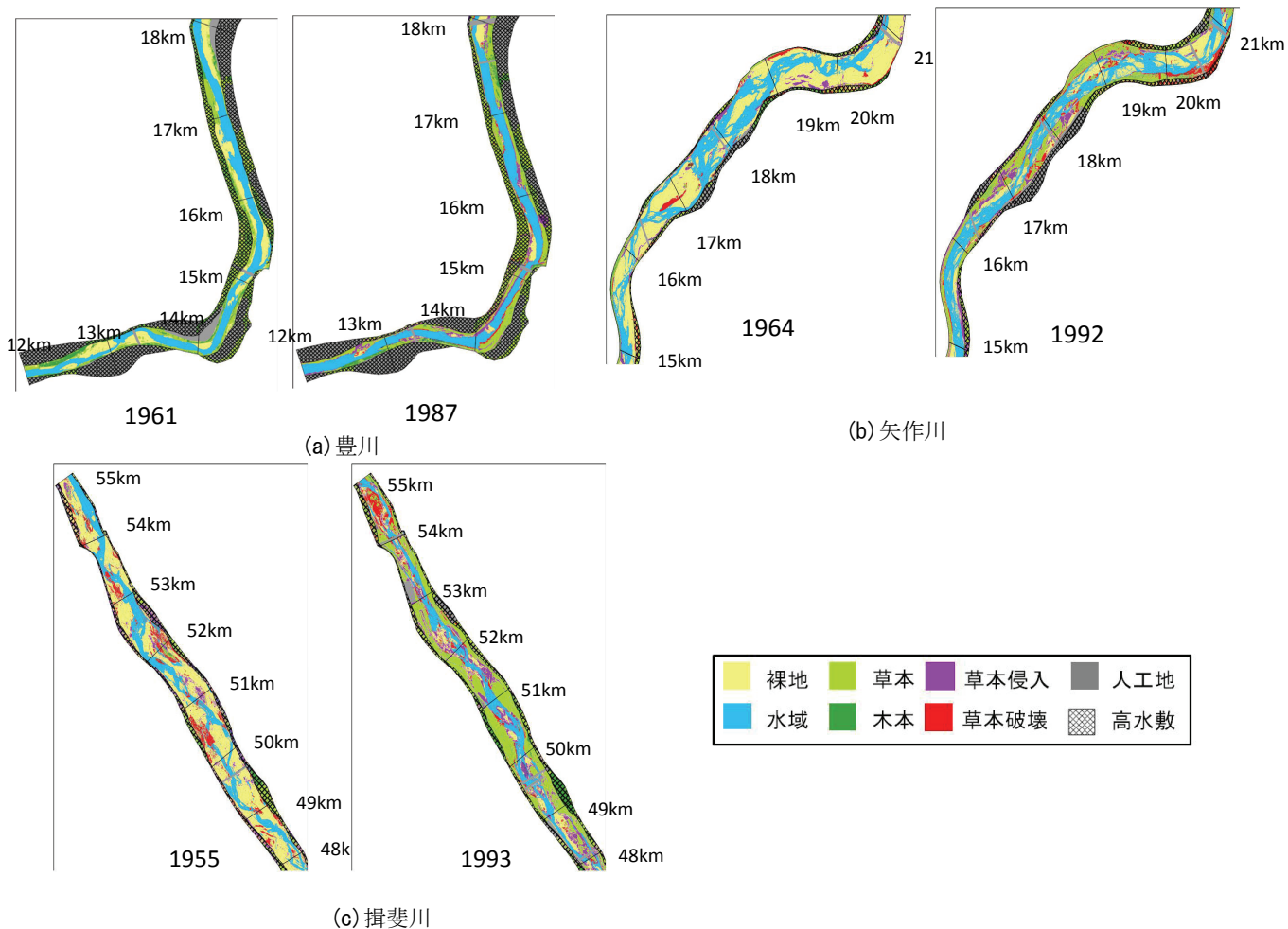


図-1 地被状況の変化

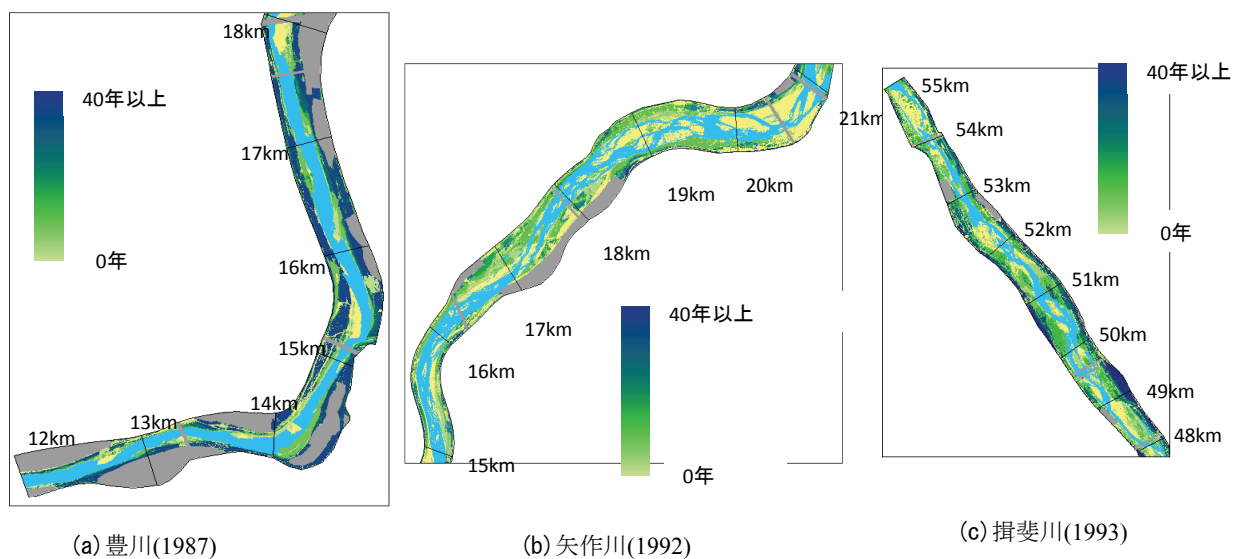


図-2 植生の残存年数

3. 個別河川の植生動態の特徴

戸田ら⁶⁾に示される通り、航空写真分析を通じて得られる情報は、1) 地表被覆状況の経年変化、2) 植生の拡大・破壊、3) 植生の残存年数であるが、8つの一級水系におけるこれらの結果を全て掲載することは、紙面の都合上、不可能であるため、ここでは、豊川、矢作川、揖斐川について、1955～1964頃の比較的古い撮影年と1987～1993の比較的近年の撮影年における地表状態の違いを図-1に、比較的近年の撮影年時に分析した植生の残存年数分布を図-2に示す。

図-1から分かる通り、1950～1960年代には、砂州上に裸地域が多く見られるが、比較的近年の撮影においては、植生が優占している。この傾向は今回分析した8つの一級水系のうち、庄内川、櫛田川を除き共通した傾向であり、全国で報告されている植生域の拡大が、中部の一級水系でも同様に生じていることが分かる。なお、庄内川については、植生域の拡大は見られたが、次章で示す通り、その植被率の増加は5%以下であり、緩やかな植生域の拡大であった。また、櫛田川については、分析対象とした最初の航空写真（1949撮影）から植被率が22%程度と高く、その後の変化は小さかった。

図-2の植生の残存年数を見ると、残存年数が30年程度を超える安定した植生域が高水敷側を中心に繁茂しており、単なる植生域の拡大から安定樹林域へと遷移していることが分かる。3河川の比較からは、豊川、揖斐川に比べて、矢作川では残存年数が小さく、このことは、次章で分類するように、矢作川では植被率は増加しているものの、植生交換が活発であることに起因している。

4. 植生動態の河川間比較

本章では河川別に得られた植生変化の変遷を比較し、中部の一級河川群における植生拡大の類型化を行う。図-3に植被率、拡大率、破壊率、変化率（＝侵入率と破壊率の絶対値の和）の経年変化を示す。図-3より対象河川の植生変化は増加傾向にある河川と、比較的安定している河川の大きく2つに分けられる。初期値と比較して最終的な植生変化が5%未満となった庄内川と櫛田川は植生域が安定している河川といえる。これらの河川では変化率も小さく植生の交換は活発でない。一方、その他の河川は植生が増加傾向にある河川といえる。増加傾向を見ると長良川を除き、1970年代から80年代にかけて急速に植生が増加している。その様相は、天竜川と矢作川では植生が急速に拡大し、その後、縮小するというパターンを繰り返しながら増加しており、豊川、木曽川、長良川、揖斐川では、植生が拡大し始めると縮小することはほとんどなく、一方的に植生拡大が進行していく。変化率を

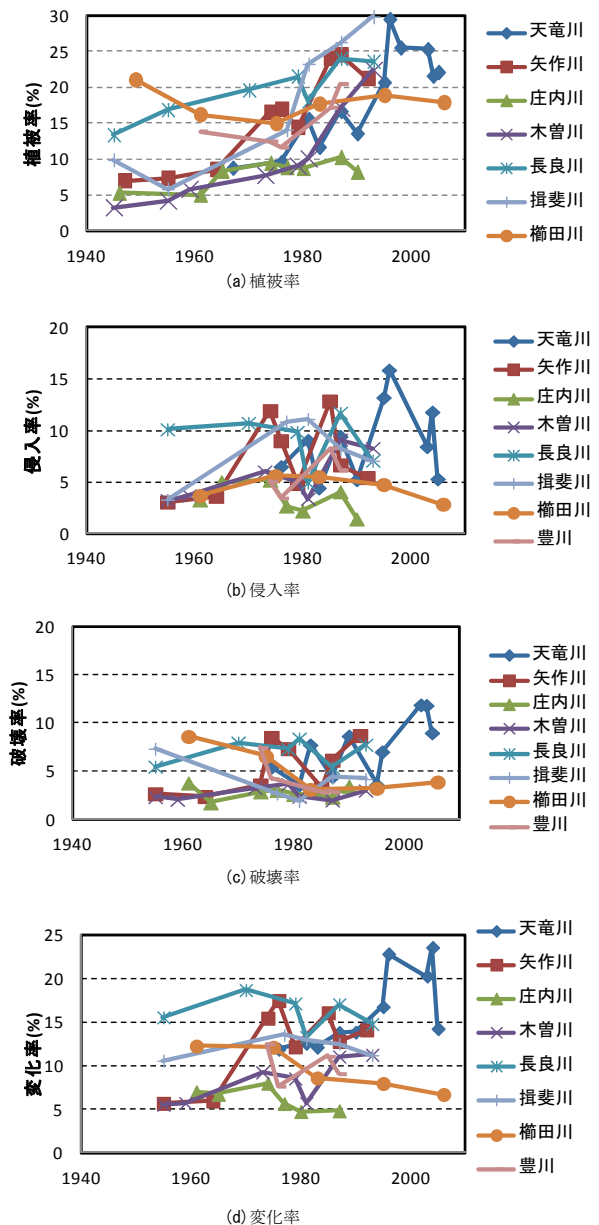


図-3 植生動態の河川間比較

見ると、植生が拡大と縮小を繰り返しながら増加していく河川では、植生拡大後も15%を超える変化率を示し、依然植生の交換が活発であるといえる。一方的に植生が増加する河川の中では、豊川、木曽川では変化率は大きくない。木曽川では90年代になっても変化率が10%を超えているが、これはほとんどが植生侵入によるものであり、植生が入れ替わるという意味とは異なるため、この河川は植生の交換は活発でないといえる。一方、長良川と揖斐川では変化率が大きく植生の交換が活発であるが、破壊量に対して侵入量が卓越する傾向にあり、その結果として長期的にみると植生が増加したことが分かる。

これより、植生拡大の進行状況を4つに分類した。①植生域が安定している河川、②植生の交換が活発で、侵入と破壊を繰り返しながら徐々に植生が増加していく河川、③植生の交換は活発だが、破壊に対して侵入が卓越

しており一方的に植生が増加する河川，④植生はあまり交換されず，侵入のみが大きい一方向的に増加する河川，であり，中部の一級河川は以下のように分類される：①：庄内川・櫛田川，②：天竜川・矢作川，③：長良川・揖斐川，④：豊川・木曽川。

近年，全国の河川で河道内の植生域の拡大が報告されているが，上記の結果より，植生拡大といっても，その進行過程は河川によって異なることが分かる。

5. 植生交換の活発さと河道・流況特性の関係

(1) 河床材料の移動頻度と植生交換の関係

ここでは植生変化が大きく流量・横断面の時系列データが豊富に揃っている天竜川と矢作川で解析を行う。対象区間はそれぞれの河川で植生変化が最も大きかった区間と小さかった区間とし，表-3のように設定した。

表-3 解析対象区間

	植生変化の大きかった区間(km)と河床材料粒径(mm)	植生変化の小さかった区間(km)と河床材料粒径(mm)
天竜川	17km, 18mm	9km, 18mm
矢作川	17km, 1.8mm	30km, 4.8mm

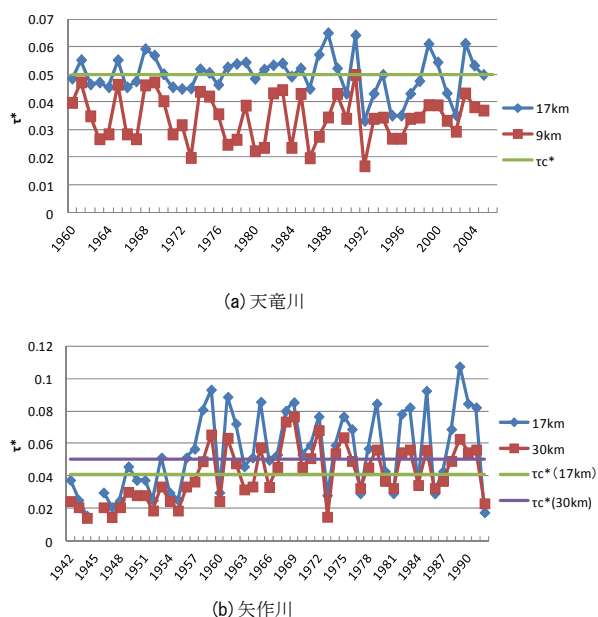


図-4 年最大流量時の無次元掃流力

図-4(a)に天竜川の，図-4(b)に矢作川の対象区間における年最大流量時の無次元掃流力の分析結果を示す。図中には対象区間の河床材料粒径（60%粒径）より算出した無次元限界掃流力 τ_c^* を同時に示す。また，表-4に河床材料の移動頻度を示す。植生交換の活発な区間は植生交換の少ない区間と比べて無次元掃流力が大きく，河床材料の移動が活発である。河床材料の移動頻度にも明確

表-4 河床材料の移動頻度

	植生変化の大きかった区間	植生変化の小さかった区間
天竜川	22/45(年)	0/45(年)
矢作川	32/49(年)	16/49(年)

な差が確認され，天竜川では45年のうち植生交換の活発な区間は22回，植生交換の少ない区間は0回，矢作川でも植生交換の活発な区間は植生交換の少ない区間に対して移動頻度が2倍となっている。これより，河床材料の移動が生じやすい区間で植生交換が活発であることが分かる。

(2) 中規模河床形態の発生領域と植生交換の関係

交互砂州や複列砂州等の砂州地形は中規模河床形態と呼ばれ，どのような砂州地形が形成されるかは，河川の横断方向の流れの不安定性から， BL^2/h と無次元掃流力 τ によって区分できることが知られている。砂州地形は，河道内植生の生息基盤そのものであるため，砂州の形態の変化は植生動態に影響を与えることが推察される。そこで，砂州の発生領域区分図上に調査対象河川の河道特性をプロットし，その経年変化を調べることで，砂州形態と植生繁茂の関係性を検討することとする。検討の対象河川は植生変化が大きく流量データの揃っている河川とし，植生拡大に伴う物理環境の変遷も検討するために植生拡大の前後の年で解析する。対象区間は前節と同様に植生変化が最も大きかった区間と小さかった区間とし，表-5のように設定した。

表-5 解析対象区間と対象年

	植生変化の大きかった区間(km)	植生変化の小さかった区間(km)	対象年(植生拡大後)	対象年(植生拡大前)
天竜川	17	9	1997, 1989	1976
矢作川	17	30	1989, 1975	1965
木曽川	53	40	1993	1973
長良川	35	40	1993	1970
揖斐川	51	42	1993	1977

図-5に不安定解析による中規模河床形態の領域区分線上に各河川の分析結果をプロットしたものを示す。凡例について，植生拡大前のプロットを中抜きで，拡大後のプロットを塗りつぶして示す（3年代でプロットした天竜川（1989年）と矢作川（1975年）の中間年のプロットは薄い色で塗りつぶして表示している）。図より植生の

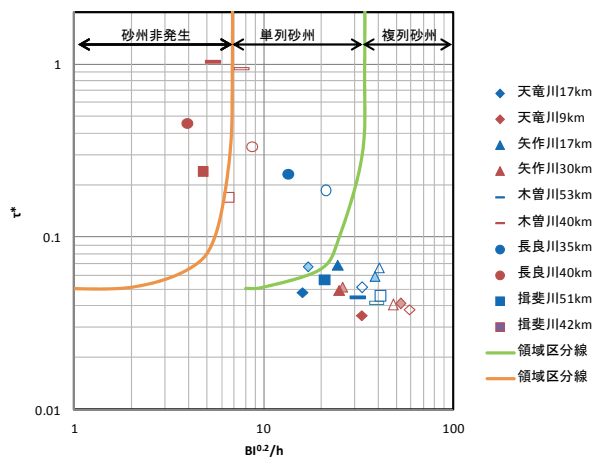


図-5 砂州発生領域区分図上での河道特性の変化

交換されやすい区間はそのほとんどが単列砂州よりの複列砂州発生領域にあり、一部が単列砂州領域にあるが、どの河川でも比較的近い位置にプロットされている。一方、植生交換の少ない区間は木曽三川では砂州非発生領域付近に、天竜川と矢作川は複列砂州領域にある。木曽三川の植生交換の少ない区間は、両岸が広く高水敷化し、低水路幅が非常に小さくなっているため砂州非発生領域となっており、植生の立地基盤となる砂州そのものの形成が不活発であることが、小さな植生変化に繋がっていると考えられる。一方、天竜川と矢作川は川幅も広く土砂移動が活発な河川であるが、植生交換が活発な区間とそうでない区間を比較すると、植生交換が活発な区間の方がより単列砂州領域に近いことがわかる。また、植生拡大前後で比較すると、植生拡大後にはほとんどのプロットが左上方向へシフトしており、植生交換が活発な区間では単列砂州領域または単列砂州領域の区分線近くまで変化している。これより、人為的な高水敷造成や高水敷上の植生拡大によって、出水に有効な川幅が減少し、複列砂州の発生領域からより安定的な単列砂州方向に河道特性が変化したことが、植生の安定した生息基盤の形成と植生拡大を引き起こしたものと考えられる。

6. おわりに

中部の一級河川群を対象として、河川ごとの植生動態の特徴および河川間の比較を行い、植生拡大の体系的整理を行った。研究手法として、過去からの航空写真を活用し、植生増加を植被率の観点からのみからでなく、植生の侵入、破壊、残存年数などを含めて総合的に考察した。また、各河川の物理的特性や植生動態の異なる河道区間の物理的特性と植生動態の関係性について分析・考察を実施した。本研究で得られた主たる結論は以下の通

りである。

- 1) 植生拡大の進行状況は河川ごとに異なり、中部の一級河川では以下の4つに分類された。
 - ①植生域が安定している河川：庄内川・櫛田川
 - ②植生の交換が活発で侵入と破壊を繰り返しながら徐々に植生が増加していく河川：天竜川・矢作川
 - ③植生の交換は活発だが、破壊に対して侵入が卓越しており一方的に植生が増加する河川：長良川・揖斐川
 - ④植生はあまり交換されず、侵入のみが大きいため一方的に増加する河川：豊川・木曽川
- 2) 河床材料の頻繁な移動が活発な植生交換につながる。
- 3) 中規模河床波の発生領域区分図上で、複列砂州と単列砂州の領域の区分線付近に位置する河道区間で植生交換が活発に生じる。

謝辞：本研究の実施にあたり、天竜川の航空写真、流量・地形データは、国土交通省・浜松河川国道事務所から、その他の河川のデータは国土交通省・中部地方整備局・河川管理課から提供を受けている。また、本研究は、河川環境管理財団・河川美化・緑化助成（助成番号：2010-1（ロ）、代表者：戸田祐嗣）の援助を受けて実施されたものである。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 藤田光一, Moody, J. A., 宇多高明, Meade, R. H. : ウォッシュロードの堆積による高水敷の形成と川幅縮小, 土木学会論文集, No. 511, pp. 47-62, 1996.
- 2) 清水義彦, 小葉竹重機, 新船隆行, 岡田利志 : 礫床河川の河道内樹林化に関する一考察, 水工学論文集, 第43巻, pp. 971-976, 1999
- 3) 辻本哲郎, 村上陽子, 安井辰弥 : 出水による破壊機会の減少による河道内樹林化, 水工学論文集, 第45巻, pp. 1105-1110, 2001.
- 4) 青木信哉, 田中規夫, 八木澤順治 : 洪水攪乱影響の違いがツルヨシの形態的特徴と繁茂量・拡大幅に与える影響, 水工学論文集, 第51巻, pp. 1255-1260, 2007.
- 5) 藤田光一, 李参熙, 渡辺敏, 塚原隆夫, 山本晃一, 望月達也 : 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, pp. 41-60, 2003.
- 6) 戸田祐嗣, 古川智文, 辻本哲郎 : 広域・長期的な河道内植生動態把握に向けた航空写真の更なる活用方法に関する研究～天竜川下流域を対象として～, 土木学会論文集B1（水工学）Vol. 68, No. 4, I_739-I_744, 2012.

(2012. 4. 5受付)