

梯川におけるネットワーク中心性分析を用いた景観・植物群落の遷移とその遷移に影響を与える物理環境特性に関する研究

RESEARCH ON SUCCESSION OF LANDSCAPE AND VEGETATION COMMUNITY USING NETWORK CENTRALITY ANALYSIS AND CHARACTERISTICS OF PHYSICAL ENVIRONMENTS INFLUENCING THE VEGETATION SUCCESSION IN THE KAKEHASHI RIVER

傳田正利¹・田屋祐樹²・田頭直樹³・中村圭吾⁴

Masatoshi DENDA, Yuuki TAYA, Naoki TAGASHIRA and Keigo NAKAMURA

¹正会員 博士(工学) 国立研究開発法人土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター(ICAHRM) 水災害研究グループリスク評価チーム 主任研究員(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

²正会員 (株)国土開発センター環境1部(〒924-0838 石川県白山市八東穂3-7)

³正会員 博士(工学) 建設技術研究所東京本社環境部(〒330-0071 埼玉県さいたま市浦和区上木崎1-14-6 CTIさいたまビル)

⁴正会員 博士(工学) 国立研究開発法人土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム 上席研究員(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

This study analyzed successions of landscape and vegetation community in past 25 years using network centrality analysis in the Kakehashi river. Here, we aim to extract Landscapes Before Overgrowth of Wood lands (LBOWs) that have ability to indicate signs on over growth woodland. In the results, *Phragmites japonica* steud, miscanthus and water surface were extracted as LBOWs. It was estimated that succession from LBOWs to wood lands or to the other vegetation community was differentiated by flow direction, velocity change and sediment flux.

Key Words : *The Kakehashi river, overgrowth of woodland, vegetation succession, network analysis, physical environments influencing the vegetation succession*

1. はじめに

河道における過度な樹林の生育である「樹林化」は、治水・環境上の課題であり、適切に管理をする必要がある。

樹林化は、河道の2極化(低水路, 高水敷の分離)に伴い、出水攪乱の減少, 礫間への細粒土砂供給による植物成長環境の形成により進んだとされている¹⁾。河川工学・河川技術分野においては、樹林化の全国的傾向や樹林を構成する植物群落の特定²⁾, 樹林管理の方向性の議論³⁾, 樹林化の機構解明^{4) 5)}, それらのモデル化^{6) 7)},

植物群落の初期遷移を抑制する技術⁸⁾, 自然作用を活かした砂礫河原の回復や樹林化の抑制を目的とした河道掘削⁹⁾等の河川技術の蓄積が進んでいる。また、横断測量, 河川水辺の国勢調査等の河川管理データの蓄積, iRIC¹⁰⁾ やR¹¹⁾ に代表されるフリーの解析ソフトウェアの普及が進み, かつては高度な技術が必要であった解析を, 平易に実施できるようになりつつある。これらの研究知見の蓄積, 解析技術を組み合わせることで, より有効な樹林化抑制への可能性が見え始めている。

しかし, 既往の研究・技術開発では, 「樹林化の事前予防」の取り組みが少ないと考えている。短期間で生じる樹林化のように, 時間軸上に一方向の遷移が進む場合

には、樹林に遷移する前の景観・植物群落（以下、「樹林化前景観」と記述する。）を特定し、事前の対策を行うことが有効である。例えば、樹林化前景観を特定し、植物群落の初期遷移を抑制する技術⁸⁾や自然作用を活かした河道掘削⁹⁾を適用することで、樹林が繁茂した後に樹林化を抑制するよりもコストを抑えた樹林管理が可能となる。

この取り組みには、河川水辺の国勢調査（河川環境基図が主、以下、「水国」と記述する。）、iRICによる河道特性、流況及び河床変動特性の再現、GIS等を用いた空間統計の活用が有効と考えられる。水国データの約25年間の景観・植物群落の時系列変化と河道特性及び出水、以上の3者の関係性の定量的な分析は、将来を見通しながら行う効率的な河川管理に寄与すると考えられる。

本研究では、梯川水系梯川において、過去約25年間の水国データを対象に、景観・植物群落の遷移をネットワーク分析し、樹林化の予兆となる樹林化前景観を特定する。その後、樹林化前景観から樹林に至る場合と樹林に至らない場合の河道特性等の差異を特定することを目的とする。

2. 研究の方法

(1) 調査地の概要¹²⁾

梯川は、その源を石川県小松市の鈴ヶ岳（標高1,175m）に発し、山間部を北流して手取川と梯川とによって形成された扇状地を西に蛇行し、小松市街地を貫流し、前川を合流した後、日本海へ注ぐ、幹川流路延長42km、流域面積271km²の一級河川である。

梯川は、明治期までは小松市や能美市付近を蛇行して流れ水害が頻発していたため、明治期以降、捷水路の開削などの事業が行われ、現在では、引き堤による流下能力の改善が行われている。

本研究では、梯川の中流部、佐々木・荒木田地区（以下、「調査地」と記述する。）を対象とした。調査地は、梯川中流部（直轄区間8.1km～10.5km）の縦断勾配変化地点に位置する蛇行区間である。

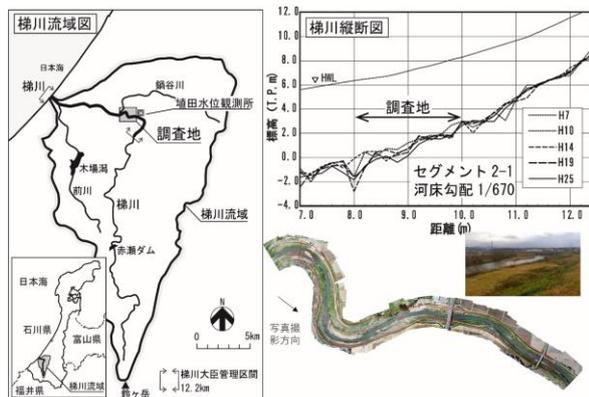


図-1 調査地の概要

捷水路の開削等による単調な河道が続く下流区間と比較して、調査地の低水路には明瞭な瀬・淵と砂礫帯が形成される。

河岸域は主にツルヨシ群集が生育する。高水敷には、広大なススキ群落形成される等、生物生息空間が良好な区間である。近年、ススキ群落内に樹林の侵入・形成が進み、河川管理上の問題となっている。梯川流域で進む引き堤事業後は、現在よりも広い高水敷が形成され、ススキ群落の定着が期待される反面、樹林化の進展が懸念されている区間である。

調査地を含む梯川においては、1993年（H5年）、1998年（H10）、2002年（H14）、2008年（H20）、2013年（H25）（以下、前述の期間を、「水国作成期間」と記述する。）に植生調査が行われ、景観・植物群落遷移の時系列的な把握が可能な区間となっている。

(2) データ解析

a) 河床変動計算の実施と河床変動結果の検証

水国作成期間の景観・植物群落変化、河川の物理環境特性（河道特性、流況及び河床変動傾向）を分析するため、iRIC 3.0, Nays2DHを用いて、河床変動計算を行った。初期河床は、1993年（H5）の横断測量結果を与えた。植物群落に影響を与える粒径は植物により異なるため、河床材料の粒径は、55mm, 110mm, 220mm, 440mm, 880mmの5ケースを行った。上流端流量条件は、水国作成期間前の1989年（H1）から2017年（H29）までの年最大時間流量を与え、計算を行った。河床変動計算の精度検証を、横断測量結果と比較し精度検証を行った。

次に、次項で述べる水国作成期間の景観・植物群落の遷移データを格納するため、iRICの計算格子（横断方向：約2m、縦断方向：約5m、格子数：20451、以下、「計算格子」と記述する。）を出力した。

b) 景観・植物群落の遷移データの作成

GIS（ESRI社：ArcGIS proVer2.4）を用いて、計算格子をインポートし、計算格子の格子点内に、水国作成期間の景観・植物群落の遷移データを格納した。その後、各格子点に格納される景観・植物群落の時系列変化をエクスポートした。

c) ネットワーク図の作成と景観・植物群落遷移経路の概観

景観・植物群落ネットワーク分析には、R（ver3.4.4、統計パッケージ i-graph）を用いた。

ネットワーク分析においては、ネットワークのリンク構造を点（Node：ノード）と線（Edge：エッジ）によって抽象化されるグラフ（graph）として捉える。エッジは、ノードの接続の有無に留まらず、方向、重みを付けて表現される。エッジに方向性がない場合を「無向グラフ」、エッジに方向性がある場合を「有向グラフ」とする。景観・植物群落ネットワークは、時間軸方向の有向グラフとみることができる。ネットワーク分析

を行うことで経験的に知られている景観・植物群落のネットワーク遷移を定量化できる。

前項においてエクスポートした景観・植物群落遷移経路のデータを自作ソフトウェアにより整理し、i-graphの機能で水国の調査時期の景観・植物群落遷移の有向グラフ図（以下、「ネットワーク図」と記述する。）を作成した。その後、ネットワーク図と流量時系列データを対比し、出水履歴と景観・植物群落遷移の傾向を分析した。同時に、水国の5時期における各景観・植物群落の面積割合の時系列変化を整理し、調査区域の景観・植物群落の遷移過程における各景観・植物群落の位置づけを把握した。

d) ネットワーク中心性分析の概要¹³⁾

ネットワーク中心性分析とは、ネットワークを構成するノードの中で、どのノードが中心なのかを評価する分析である。個別ノードの中心性評価にあたっては、エッジの重み（例：地理的な距離）を用いてノード間の近接度を算出し中心性を判断する手法、個別ノードへのエッジの集中度からネットワークの中心性を判断する手法等が提案されている。

景観・植物群落ネットワークは出水に影響を受けるため、多様な遷移が生じ樹林化に至る遷移経路は複数あると考えられる。樹林化前景観は、多様な遷移経路が接続するハブの性質があり、樹林化への遷移経路が含まれる必要がある。このような理由から、本研究においては、個別ノードへのエッジの集中度からネットワークの中心性を判断する手法であり、算出が簡便な「次数中心性」を選定した。

図-2に次数中心性の概要を示す。次数中心性は、点に接続している線の数、つまりネットワーク内でより多くの関係を持つ点を高く評価する方法である。更に、有向グラフの場合、次数中心性は、他の頂点から入っている辺の数である「入次数」、頂点から他の頂点へ出る辺の数「出次数」に分けて評価する。

本研究においても、入次数、出次数に着目し、入次数、出次数を樹林化前景観としての機能評価に用いた。なお、水国データを構成する景観・植物群落は、水国内調査期間で統一されていないため、本研究では、植物群落名を群落組成調査結果に基づき2013年（H25）調査を基準に統一した。

e) 樹林化前景観の機能の検証

植物群落は、樹林化した後は、他の景観・植物群落への遷移はほとんどみられないため、樹林化前景観が定義通りの機能を有する場合、図-3の関係が成立すると考えられる。水国のN時期から次のN+1時期に時間が経過する場合、N+1時期の樹林の区域は、N時期の樹林が成長した区域、樹林化前景観から樹林へ遷移した区域、樹林化前景観以外から樹林へ遷移した区域で構成される。樹林化前景観の多くがN+1時期樹林に遷移する区域であれば樹林区域に対する樹林化前景観の比率が高くなると考えら

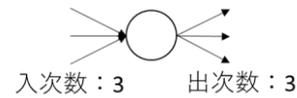


図-2 次数中心性の概要

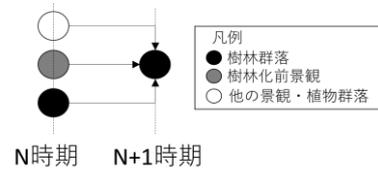


図-3 樹林化前景観の機能検証の概要

れる。調査地においては、ネコヤナギ群落、メダケ群落、カワヤナギ群落、カワヤナギ群落（低木林）、ジャナギアカメヤナギ群落を「樹林群落」とした。

N時期における樹林化前景観と樹林群落の計算格子数を合算とし、N+1時期における樹林群落の計算格子数との比率（以下、「評価指数」と記述する。）を求め、評価指標とした。

f) 樹林化前景観から樹林化した区域と樹林化しなかった区域の物理環境特性の差異の検討

開放水面を除くネットワーク中心性を持つ樹林化前景観から樹林群落に遷移する箇所、樹林群落に遷移しない箇所の河道特性、水理特性を比較した。開放水面は、河道地形変化等、多数の要因が影響を与えるため除外した。

3. 結果

(1) 河床変動計算の精度検証結果

2012年（H24）を初期地形として、2013年（H25）年の最大出水の流量時系列（時間）を流下させ河床変動計算を行った後、2013年（H25）の調査地における実測の横断面と比較した結果、河床変動計算は良好に河床変動を再現し、河床変動計算に一定の信頼性を確認した。

(2) ネットワーク図の作成結果とその概要

図-4に水国5時期におけるネットワーク図と流量時系列の比較を示す。既往最大流量である674m³/sの出水が生じた1993年（H5）から2002年（H14）までの期間においては、景観・植物群落ネットワークは複雑な線の交錯があった。

一方、2002年（H14）から2008年（H20）までは比較的大きな出水がなく、ジャナギアカメヤナギ群集、カワヤナギ群落、セイタカアワダチソウ群落等の安定した環境に生育する群集への遷移が確認された。662m³/sの出水が生じた2013年（H25）（秋季）の水国においては、ススキ群落、ツルヨシ群集への遷移が確認された。

図-5に水国の5時期における各景観・植物群落の面積割合の時系列変化を示す。調査地においては、開放水面、ススキ群落、ツルヨシ群集、イタドリ群落、チガヤ群落

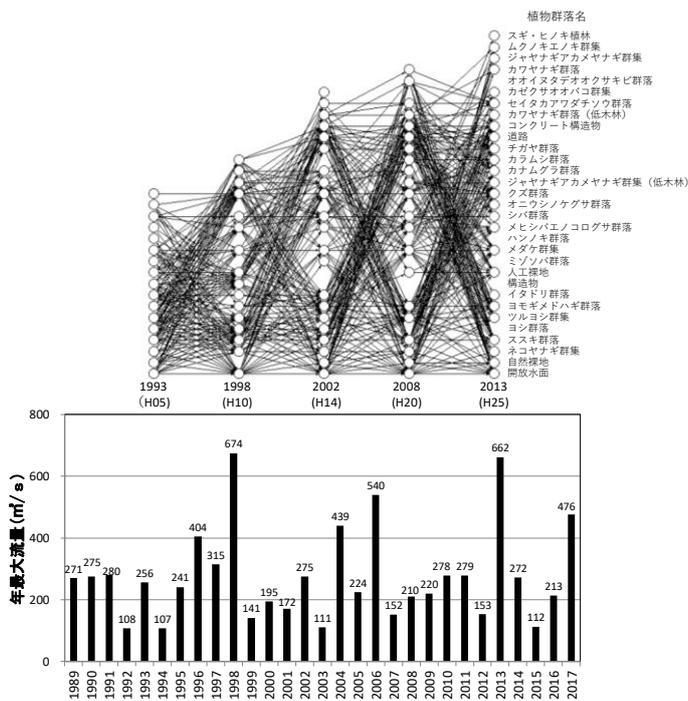


図-4 ネットワーク図と年最大流量時系列の比較

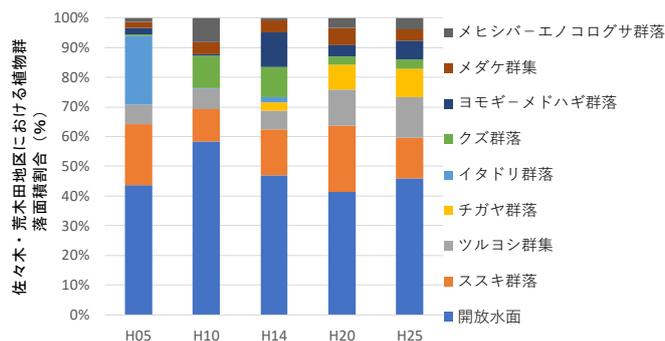


図-5 調査地の植生変化の概要

が主な景観・植物群落であった。

(3) ネットワーク中心性分析と樹林化前景観の抽出結果

図-6に各景観・植物群落のネットワーク中心性分析の結果を示す。ススキ群落、開放水面、ツルヨシ群集は、入次数、出次数ともにネットワーク中心性が高い結果となった。各景観・植物群落における入次数、出次数の組み合わせは異なり、メダケ群落やクズ群落は、出次数よりも入次数が多かった。このデータを受け、樹林化前景観は、ススキ群落、開放水面、ツルヨシ群集を選定した。

(4) 樹林化前景観の抽出結果の検証

表-1 に樹林化前景観の検証結果を示す。評価指数の平均0.74であり、最大値は1、最小値は0.23であった。評価指数が最小値0.23程度であった期間は、1993年(H5)から1998年(H12)に多かった。

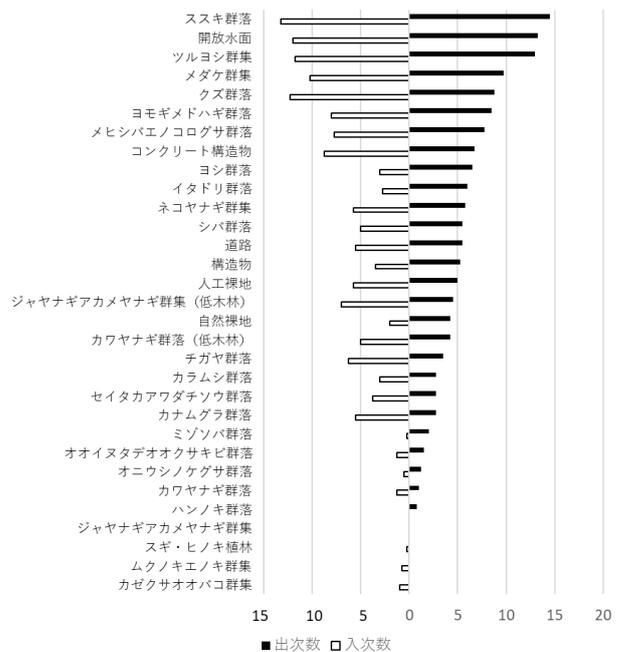


図-6 各景観・植物群落のネットワーク中心性分析

表-1 樹林化前景観の検証

樹林群落名	n 時期における樹林化前景観と樹林群落の和 / n + 1 時期における樹林群落		
	平均	最大	最小
ネコヤナギ群集	0.61	1.00	0.23
メダケ群集	0.77	0.91	0.64
ジャヤナギアカメヤナギ群集 (低木林)	0.71	0.83	0.59
カワヤナギ群落 (低木林)	0.63	0.91	0.23
カワヤナギ群落	1.00	1.00	1.00
平均	0.74	0.93	0.54

(5) 樹林化前景観から樹林化した区域と樹林化しなかった区域の物理環境特性の差異の検証結果

表-2に開放水面を除く樹林化前景観の遷移経路を示す。2002年(H14)から2013年(H25)の間は、樹林化傾向が顕著な期間であるため、3時期(2002年・2008年・2013年)における樹林化前景観から経路を類別し、物理環境特性を遷移経路ごとに比較した。

図-7に樹林化前景観(ススキ群落、ツルヨシ群集)からの遷移経路別のプロット(表-2)と流速分布の結果を示す。

表-2 樹林化前景観からの遷移経路

Route	2002年	2008年	2013年
1	ススキ群落	ススキ群落	ススキ群落
2	ススキ群落	樹林群落	ススキ群落
3	ススキ群落	樹林群落	樹林群落
4	ツルヨシ群落	ツルヨシ群落	ツルヨシ群落
5	ツルヨシ群落	樹林群落	ツルヨシ群落
6	ツルヨシ群落	樹林群落	樹林群落

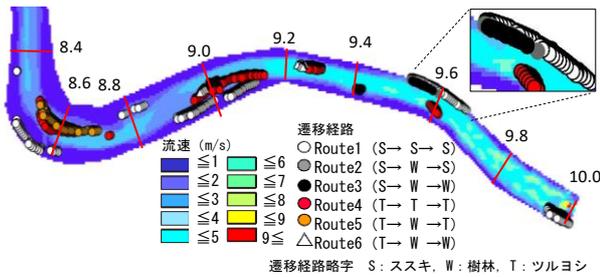


図-7 Route1からRoute 6の位置と2013年最大出水時における流速分布

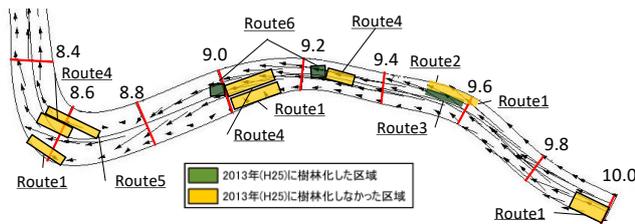


図-8 Route1からRoute 6の位置と2013年最大出水時における流向ベクトル分布

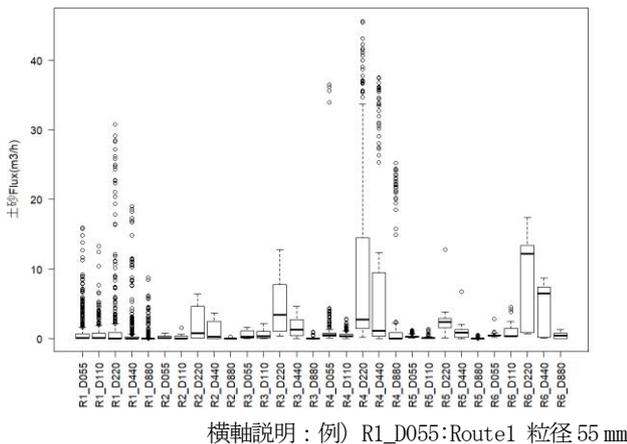


図-9 各Route別の土砂フラックスの比較

図-8に樹林化前景観からの遷移経路別のプロットと流向の関係を示す。以下、図-7、図-8を交互に参照しながら記述する。ススキ群落からの遷移であるRoute1からRoute3の分布を示す。Route1の経路は、8.6km、9.6kmの流速の低い区間に分布した。Route2、Route3は、高水敷の比高が高く、流向が反転するエリアに存在した。

ツルヨシ群落からの遷移であるRoute4からRoute6の分布を示す。Route 4の経路は、8.6km、9.0kmの内岸側の流速の低い区間に分布した。Route 5は、8.6km付近の砂州内岸側に高流速部に分布した。Route6は、9.0km、9.2 kmにスポット的に分布した。

図-9に河床変動計算による土砂フラックス量を示す。

Route 1の土砂フラックス量の平均は、粒径 220 mmのケースで、ススキ群落から樹林群落に遷移する遷移経路Route3と比較して小さかった。ツルヨシ群落から遷移する遷移経路に関しては、220 mm、440 mmの粒径のケー

スに特徴があった。Route4、Route5の土砂フラックス量の平均は、Route6と比較して、著しく小さかった。

4. 考察

(1) ネットワーク中心性分析と樹林化前景観の有効性

図-4の景観・植物群落遷移のネットワーク図と流量時系列の関係は、興味深い結果を示す。600m³/s以上の出水が生じた1993年(H5)から1998年(H10)の遷移においては、エッジが交錯する複雑なネットワーク構造であるが、一定期間大きな出水が生じない2002年(H14)から2008年(H20)の遷移においては、コンクリート構造物等への植物群落の拡大、多年生草本から樹林群落への遷移を明示している。既往研究の多くは、樹林化の進展を示すデータとして、図-5のような特定区間の景観・植物面積比の時系列変化を示すが、樹林群落との対応関係までは示せない点で、十分な情報を示せていなかった。本研究で適用したネットワーク中心性分析は、流量時系列の違いに応じた景観・植物群落と樹林群落の対応関係を示している点に有効性がある。

また、ネットワーク中心性分析は、樹林化前景観の抽出を可能とし、樹林化前景観は、樹林群落への指標として十分な機能を持つと考えられる(表-1)。梯川においては、樹林化前景観として、ススキ群落、開放水面、ツルヨシ群集の順に選定された(図-6)。ススキ群落、ツルヨシ群集は、5時期ともに確認されるが、調査地の景観・植物群落における面積比は著しく大きくはなく、面積が大きいだけでなく景観・植物群落の遷移機構において中心となりうる特殊な性質を持つと考えられる。樹林化前景観は、樹林化の予兆を把握するうえで良好な指標になると考えられる。

これらの結果は、ネットワーク中心性分析・樹林化前景観には、既往研究よりも、景観・植物群落遷移から樹林化への遷移経路を定量化し、有効性があると考えられる。同時に、河川管理の現場も効果的かつ効率化する可能性を持っている。本点については、3節で述べる。

(2) 樹林化前景観から樹林化・非樹林化を分ける物理環境特性

樹林化前景観から樹林化前景観に遷移したルートと樹林化前景観から樹林群落へ遷移したルートを分けたのは、流向、流速変化、粒径 220mm、440mm程度の土砂フラックスであると考えられる。

Route1、Route2及びRoute3は、ともに河川堤防沿いの高水敷上にある。Route 1が存在する10 km下流、9.6 km上流部、一部の流向がそれらの区域に向いている。一方、Route2及びRoute3が混在する9.6 km下流、9.4 kmには、大部分の流向が向き、強い流体力の発生が推定される(図-8)。この特性に対応し、流体力に強い樹林群落に遷移した結果と考えることができる。Route 4は、

8.6km 湾曲部, 9.0 kmの水際部の流れが剥離し流速が比較的小さい区域に存在し, Route4 についても流向の関連性があると考えられた. Route5 は, 8.6km 湾曲部内岸側の微低地に存在し, 流向が向き, 一定以上の流体力が生じるが, 主流部よりも流速が高くないため, 220 mm以上の砂礫の流下が少なく (図-9), 樹林生育までいたらなかったと考えられる. Route6 は, 流速が急激に変化し, 砂礫通過・堆積する区域に樹林群落が入り込んだと考えることができる (図-7, 図-8).

樹林化前景観から樹林化前景観に維持された区域, 樹林化前景観から樹林群落に遷移した区域を分けたのは, 流れの内岸側等の河道の平面形状の特性と, 平面形状・縦断形状に対応する流向, 流速及び土砂フラックスと考えることが出来る. Route1, Route2, Route4, Route 5のような樹林群落にならない区域を創出・維持するには, 流向の集中やそれに起因する 220 mm, 440 mmの砂礫の通過, 流速の急激な変化に伴う土砂堆積が生じない平面計画が必要となる.

(3) ネットワーク中心性分析の一般性と樹林化前景観の河川管理への応用

本研究において, 実施したネットワーク中心性分析は, 既存の河川管理データである水国, 定期横断測量, 解析ソフトウェア活用により可能であり, 全国の直轄河川で適用可能なものである. 今後, 全国の河川で適用が進み, 樹林化の予防保全への適用が期待される.

樹林化前景観が抽出できた場合, 河川巡視での活用や新たな監視技術への発展の可能性が考えられる. 河川巡視においては, 河川巡視員が注視すべき景観・植物群落として樹林化前景観を指定することで, 植物に関する調査経験が少ない巡視員の省力化・効率化が期待される. また, UAV・AI等を活用し, 樹林化前景観を自動的に抽出できるようになれば, 斎藤らが提案する方法をより高度なものに発展させることが可能になる¹⁴⁾.

5. 結論

本研究では, 梯川水系梯川において, 過去約 25 年間の景観・植物群落の遷移をネットワーク分中心分析で評価し, 樹林化の予兆となる樹林化前景観を特定した. その結果, ススキ群落, 開放水面及びツルヨシ群集を樹林化前景観として抽出した. 樹林化前景観から樹林群落に至る遷移と樹林に至らない遷移を分ける物理環境特性は, 出水時流向, 縦断方向の流速変化, 粒径 220mm, 440mmの土砂フラックスであると推定された. ネットワーク中心性解析及び樹林化前景観の適用により, 樹林化の管理が定量化し, 効果的・効率的な管理が可能となると考えられる.

謝辞: 国土交通省北陸地方整備局金沢河川国道事務所に梯川における各種資料の提供にご協力いただいた. ここ

に謝意を表する.

参考文献

- 1) 藤田光一・李参照・渡辺敏・塚原隆夫・山本晃一: 扇状地礫床河道における安定植生域消長機構とシミュレーション, 土木学会論文集, No.747, II-65, 42-60, 2003.
- 2) 佐貫方城・大石哲也・三輪準二: 全国一級河川における河道内樹林化と樹木管理の現状に関する考察, 河川技術論文集, Vol.16, pp.241-246, 2010.
- 3) 宮本仁志, 赤松良久, 戸田祐嗣: 河川の樹林化課題に対する研究の現状と将来展望, 河川技術論文集, Vol.19, pp. 441-446, 2013.
- 4) 道奥康治・宮本仁志・神田佳一・大池洋平・阿部一穂・盛岡淳二・魚谷拓哉・吉田一光・吉村敏: 樹林が繁茂した加古川中流部における出水時流況と樹林損壊に関する調査・解析, 土木学会論文集B1 (水工学) Vol. 67, No. 4, I_1087-I_1092, 2011.
- 5) 阿部一穂・道奥康治・神田佳一・魚谷拓矢: 河道の経年変化からみた樹林化要因分析と持続的な河川管理のための方策, 土木学会論文集B1 (水工学) Vol. 68, No. 4, I_1745-I_1750, 2012.
- 6) 八木澤順治・田中規夫・福岡捷二: 河道内植生の洪水による破壊および破壊規模に応じた再生・拡大過程を考慮した植生動態モデルの開発, 河川技術論文集 Vol. 19, pp. 393-398, 2013.
- 7) 宮本仁志・盛岡淳二・神田佳一・道奥康治・魚谷拓哉・大池洋平・阿部一穂: 流域変動のインパクトを考慮した河道内樹林動態の確率モデル, 土木学会論文集B1 (水工学) Vol.67, No.4, I_1405-I_1411, 2011.
- 8) 兼頭淳・大石哲也・萱場祐一: 高水敷切り下げ後の樹林化抑制に向けた草本植物の早期回復に関する研究, 河川技術論文集, Vol.24, pp.179-184, 2016.
- 9) 岩井久・傳田 正利・窪 宗昭・平林 亮・本多信二・小川明宏・萱場祐一: 旧流路部を活用した水路掘削と平面掘削の併用による砂礫河原再生手法の提案, 河川技術論文集 Vol.23, pp.513-518, 2017.
- 10) 一般社団法人 iRIC-UC: <https://i-ric.org/> (2019. 3.31確認).
- 11) R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria., URL <https://www.R-project.org/> (2019年3月29日確認).
- 12) 国土交通省金沢河川国道事務所: <http://www.hrr.mlit.go.jp/kanazawa/kakehashi/plan-p.html> (2019年3月29日確認).
- 13) 鈴木努: Rで学ぶデータサイエンス ネットワーク分析第2版, pp. 57, 共立出版, 2017.
- 14) 齋藤正徳・市川健・湧田雄基・天谷香織・那須野新 小田嶋健太・池内幸司・石川雄章: UAV写真測量における多時期計測データを用いた河道管理手法の検討, 河川技術論文集, Vol.24, pp.257-pp.262, 2018年.

(2019. 4. 2受付)