

# 植物群落と物理環境を基準とした景観区分とその遷移過程-セグメント2河道を対象として-

## PROPOSAL OF A NEW LANDSCAPE INDEX BASED ON PLANT COMMUNITY AND PHYSICAL ENVIRONMENT AND TRIAL OF ABSTRACTION ON COMPLEX VEGETATION COMMUNITY SUCCESSION PROCESSES

田頭直樹<sup>1</sup>・片桐浩司<sup>2</sup>・傳田正利<sup>3</sup>・大石哲也<sup>4</sup>・萱場祐一<sup>3</sup>

Naoki TAGASHIRA, Koji KATAGIRI, Masatoshi DENDA, Tetsuya OHISHI and Yuichi KAYABA

<sup>1</sup>正会員 工修 (独) 土木研究所 水環境研究グループ 河川生態チーム  
(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

<sup>2</sup>正会員 博士 (農学) (独) 土木研究所 水環境研究グループ 河川生態チーム (同上)

<sup>3</sup>正会員 博士 (工学) (独) 土木研究所 水環境研究グループ 河川生態チーム (同上)

<sup>4</sup>正会員 博士 (工学) (独) 土木研究所 水環境研究グループ 自然共生研究センター  
(〒501-6021 岐阜県各務原市川島笠田町)

This study proposed a new index “plant community cluster” which can be applied to middle landscape scale between plant community scale and land cover scale such as grassland and woodland. The new index classified plant communities based on physical environment using cluster analysis. In the results, the new index combined the plant communities existing on similar physical environment, and could clarify the relationships between plant community and physical environment. In addition, the new index could simplify complex vegetation succession processes and could abstract main paths from the processes. The results indicated that we could apply the new index, “plant community cluster” on river environment assessment, vegetation management and vegetation succession forecasting.

**Key Words :** *Vegetation succession, landscape, plant community, index on vegetation management, river environment assessment.*

### 1. はじめに

現在, 多くの河川で, 樹林化や礫河原の減少等が進行し, 治水面, 環境面で問題となっている. このような河道内植生の質的变化が生じているなかで, 適切な河川管理を行うには, 河道内植生の動態を明らかにし, その予測を可能にする必要がある<sup>1)</sup>と指摘されている. そのためには, 対象とする場に対して, 空間的な単位 (景観区分) を定め, それらの経年変化や物理環境との関係把握が効果的であるが, 景観区分は, 対象スケールによって変化するため, 適切なスケールの設定が重要となる<sup>2)</sup>.

河川工学分野の既往研究<sup>3)4)5)</sup>では, 植物が生育する場の物理環境を水理計算モデルにより算出し, 長期的, 広域的な分析を可能としている. ただし, 対象とする景観区分は, 草地や樹林といった地被スケールの景観区分 (以下, 地被景観という) が多く, 生物学的な情報が乏しい. 一方, 生物学・生態学の既往研究<sup>6)7)</sup>は, 図-1の詳

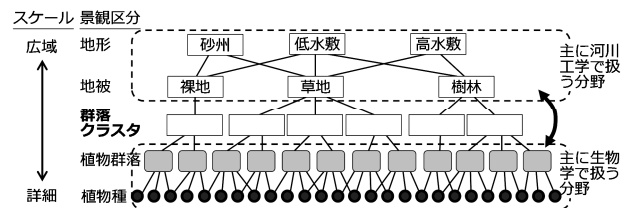


図-1 河川の陸域景観のスケールと階層性

細スケールに該当する植物種や植物群落を対象とし, 主に現地調査により得られた物理環境との関係を分析している. しかし, 現在の河川工学では, この詳細スケールの物理環境を精度よく予測することは極めて難しく, 河道内植生の動態を把握する上で大きな障害となる.

そこで, 本研究では, 景観が有する階層性<sup>8)</sup>に着目し, 植物種や植物群落と, 地被景観の中間的な景観区分 (以下, 群落クラスタという) を提案する (図-1). 提案する群落クラスタを用いて, 植物群落の複雑な遷移過程を簡略化し, 河川管理における実用性を検証した.

## 2. 群落クラスタ

### (1) 群落クラスタ導入の目的

本研究で提案する群落クラスタを導入する目的は、以下の2点である。

- 目的1：植物群落と物理環境に関連した景観区分設定
- 目的2：主要な遷移系列の抽出と遷移過程の簡略化

### (2) 目的1の背景と対応方法

従来の河川管理で用いられる地被景観では、同じ草地でも異なる環境に生育する草本群落が生息する。このような状況では、植物群落の有する生物学的情報を反映しても、情報のばらつきが大きくなり、種の多様性管理などに用いることが難しい。一方、植物群落と物理環境の関係をみると、現在の河川工学の技術で予測し得る物理環境では、説明力が十分ではなく、植物群落間で分布範囲が重複することが想定される。これは、一定の物理環境を与えられても、決定論的に成立する植物群落が規定されず、同一な物理環境に複数の植物群落が成立し得ることを意味する。そこで、植物群落との関連性を担保しつつ、物理環境との関連性が高くなるように、物理環境を用いて、植物群落を統合した。

### (3) 目的2の背景と対応方法

植物群落は、同じ物理環境下でも、時間的変化に伴い極相に向かう遷移を生じる。従って、植物群落の成立には、物理環境のみならず、遷移前の植物群落が、次の遷移に影響するという状態の順位性、すなわち遷移過程が重要と考える。ただし、植物群落の遷移過程は複雑であり、数理モデルで表現するためには、簡略化が必要になる(図-2)。しかし、簡略化は、生物学的な情報を損失させるおそれがある。例えば、主要な群落の遷移過程のみ抽出した場合、その系列に含まれない種は、予測不可能となる。そこで、群落クラスタを用いて遷移過程を簡略化し、簡略化された系列の妥当性を検証した。

### (4) 群落クラスタの設定に用いる物理環境

植物の生理機能として、光合成、水分の吸収、栄養塩の吸収がある。これらを植物の生育を規定する化学的要因として位置付けた。また、河道内は、洪水による攪乱の影響を受け、他種との種間競争によって植物の立地が決定される。これらを模式図にしたものが図-3である。化学的要因は直接観察や計測することが難しいため、これらと関係が深いと考えた平水位からの比高、水際からの距離と、洪水による攪乱強度を示す洪水時の掃流力を、群落クラスタを設定するための物理環境指標とした。なお、光合成に影響を及ぼすと考える種間競争は、ここでは考慮していない。

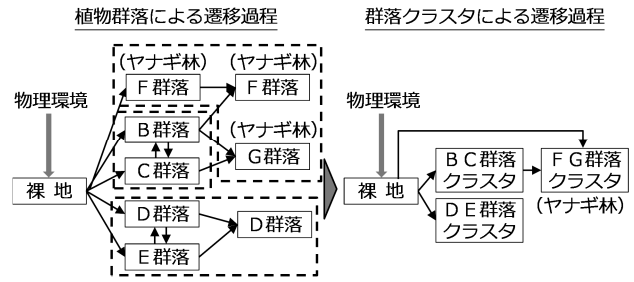


図-2 群落クラスタによる遷移過程の抽象化イメージ

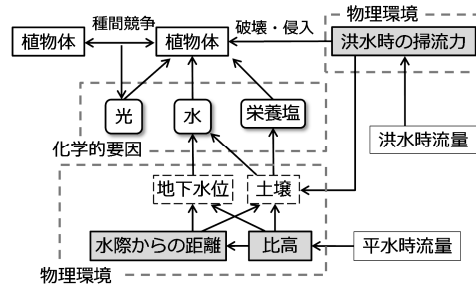


図-3 植物を規定する要因

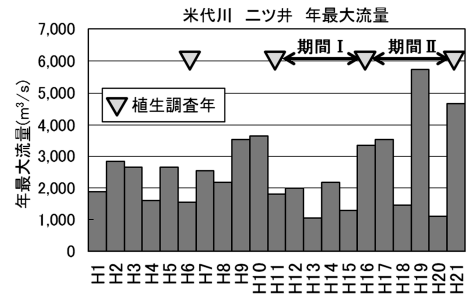


図-4 米代川 二ツ井 年最大流量

## 3. 研究の方法

### (1) 調査地の概要

調査地の米代川は、秋田県能代市において日本海に注ぐ幹川流路延長136km、流域面積4,100km<sup>2</sup>の一級河川である。平成19年9月に、戦後最大級であった昭和47年7月洪水に次ぐ大出水があり、二ツ井水位観測所(河口から29.97km)では、既往最高水位を記録した(図-4)。米代川では、河川水辺の国勢調査により、平成6年、平成11年、平成16年、平成21年に植生図が作成され、本研究では、出水規模が異なる平成11年～平成16年、平成16年～平成21年の2時期を分析の対象とした。対象区間は、近くに流量観測所(6km上流)があり、大きな流入支川がない河口から10km～23kmのセグメント2-1(河床勾配1/1,500～1/2,300)とした。

### (2) データ解析

#### a) 空間データの作成

GISを用いて対象範囲をカバーする5m×5mのメッシュデータを作成し、各メッシュに平成11年、平成16年、平

成21年の植物群落と同期間の物理環境指標（比高，水際からの距離，掃流力）を格納した。植物群落は，調査年によって植物群落の凡例名が異なる場合がある。そのような場合は，2カ年にわたる植物群落の生育場所の一致性や種組成などを勘案し，明らかに同一と思われる群落について，群落名の統一を行った。

物理環境指標は，対象範囲内のDEM（数値標高モデル）を作成し，平面二次元流況解析により求めた水理量を用いて算出した。DEMは，上下流の横断測量データを内挿補間して作成した。比高と水際からの距離は，平水流量時の水位を基に計算した。掃流力は，過去5カ年の毎年の年最大流量を与え，計算した。ただし，比較した植生図は5年間隔であったため，洪水発生年から植生調査年までの経過年数によって，洪水時の外力が異なる。そこで，過去5カ年の掃流力に，植生調査年までの経過年数に1/10を乗じた値の最大値を植生調査年の掃流力とした（式1）。ここでは，掃流力によるインパクトが10年でゼロになると仮定している。これは，河川敷の大部分は，1年や数年の短期間で変動し<sup>9)</sup>，河道内生態系の特徴である多年生草本の生存年限が一般的に10年とされることによる。なお，掃流力は，現地調査から把握した表層土壌の粒度組成から粒径(d)を20mmとして無次元化した。

$$\tau' = \text{Max} \left( \tau_1 \times \frac{y_1}{10}, \tau_2 \times \frac{y_2}{10}, \dots, \tau_5 \times \frac{y_5}{10} \right) \quad (1)$$

$\tau'$ ：植生調査年までの経過年数で補正した掃流力

$\tau_i$ ：植生調査から*i*年前の年最大流量の掃流力

$y_i$ ：洪水発生から植生調査年までの経過年数

## b) 群落クラスタの区分

群落クラスタは，平成16年と平成21年の2時期のメッシュデータを統合し，草本群落（自然裸地含む）と木本群落（植林地除く）に分類した後，それぞれについてクラスタ分析（Ward法）により区分した。ただし，人為的な影響を除外するため，過去5カ年に河道掘削および樹木伐採が実施された範囲は除外して解析を行った。クラスタ分析の説明変数は，群落別の物理環境指標とした。具体的には，メッシュデータに格納した物理環境指標を，群落ごとに集計し，25%値，50%値，75%値を求め，それらを指標別に標準化し，説明変数として与えた。25%値，50%値，75%値を与えた理由は，各群落が立地する生育条件には幅があり，生育条件の代表値とその幅の目安を示すためである。

クラスタ分析の結果から，植物群落およびそれらを結合したクラスタ間の結合距離が小さいものから順次統合し，結合した植物群落間の生態的特性が類似していると考えられるレベルで，群落クラスタの分割値を設定した。区分した群落クラスタは，立地環境や優占する植物群落名に関連した名前を付けた。

## c) 遷移過程分析

遷移過程は，調査年の異なる2カ年の植生図を比較し，

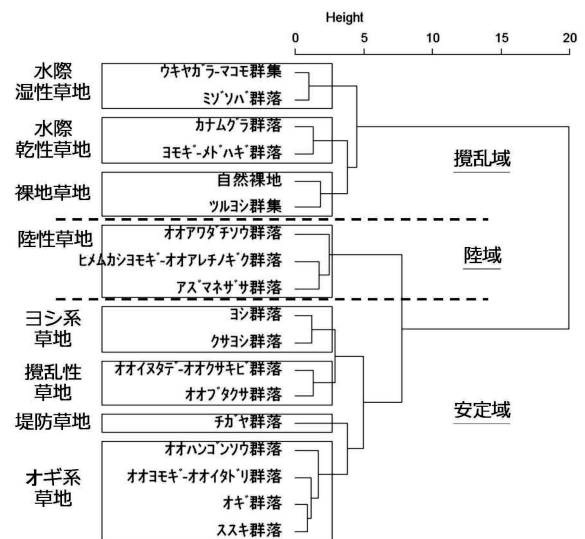


図-5 自然裸地・草本群落のクラスタ分析結果

遷移前の群落クラスタごとに，遷移後の群落クラスタに変化するメッシュ数の割合を算出して分析した（式2）。

$$RB_{II}A_I = \frac{NB_{II}A_I}{NA_I} \quad (2)$$

$RB_{II}A_I$ ：群落クラスタAからBへの変化割合

$NA_I$ ：遷移前の群落クラスタAのメッシュ数

$NB_{II}A_I$ ：遷移前が群落クラスタA，かつ遷移後が群落クラスタBであったメッシュ数

具体的には，平成11年～平成16年と平成16年～平成21年の2時期を対象に，5m×5mのメッシュデータに格納した群落クラスタを用いて，同一メッシュの群落クラスタを比較した。比較には，クロス集計を用いて，式2で得られた変化割合が10%以上となる系列を抽出した。植物群落による遷移過程と比較するため，植物群落を対象に同様の解析を実施した。

## 4. 結果

### (1) 群落クラスタの区分

#### a) 自然裸地と草本群落の群落クラスタ

クラスタ分析の結果，自然裸地を含む18個の草本群落を8個の群落クラスタに統合した。区分するレベル（図-5の横軸）をさらに大きくし，低水路など比高が低い「攪乱域」，低水路から高水敷にかけてより比高の高い「安定域」，水際より遠い「陸域」に区分した（図-5）。攪乱域は，裸地，湿性，乾性環境を好むタイプに整理できたため，それぞれ裸地草地，水際湿性草地，水際乾性草地とした。安定域は，攪乱後に出現しやすい一年生草本が優占するグループ，やや比高の低くヨシ群落が優占するグループ，やや比高が高くオギ群落が優占するグ

グループ、堤防など比高が非常に高い箇所に生育するグループに分類し、それぞれ攪乱性草地、ヨシ系草地、オギ系草地、堤防草地とした。陸域は1つしか区分されず、陸性草地とした。

**b) 木本群落の群落クラスタ**

クラスタ分析の結果、7個の木本群落を3個の群落クラスタに統合した(図-6)。草本群落と同様に、区分するレベル(図-6の横軸)をさらに大きくし、攪乱域、安定域、陸域に区分した。攪乱域はヤナギ類、安定域と陸域は、落葉広葉樹林で構成され、攪乱域のグループをヤナギ林、安定域のグループを河畔林、陸域のグループを陸性樹林とした。

**c) 群落クラスタの分布範囲**

群落クラスタ別に比高、水際からの距離、無次元掃流力を集計し、その25%値~75%値の範囲を示したものが図-7、図-8である。群落クラスタは、草本群落と木本群落別に、比高と水際からの距離、無次元掃流力に応じて、区分されていた。

**(2) 群落クラスタによる遷移過程分析**

**a) 平成11年から平成16年にかけての遷移過程**

植物群落による15系列の遷移過程(他の植物群落への変化)は、8系列に集約された(図-9)。大規模な出水がなかった当期間は、類似した立地環境の群落クラスタ間で変化が生じていた。攪乱域ではヤナギ林へ、安定域~陸域では陸性樹林に向かう遷移過程が確認された。オギ系草地は陸性樹林へ、ヨシ系草地はヤナギ林へ遷移していた。

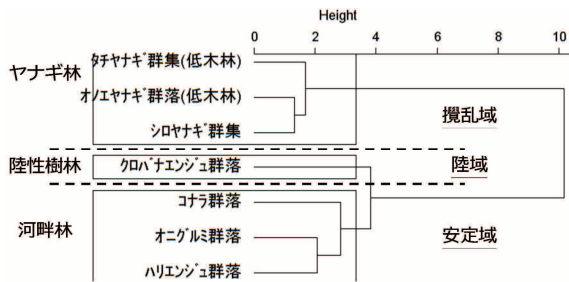


図-6 木本群落のクラスタ分析結果

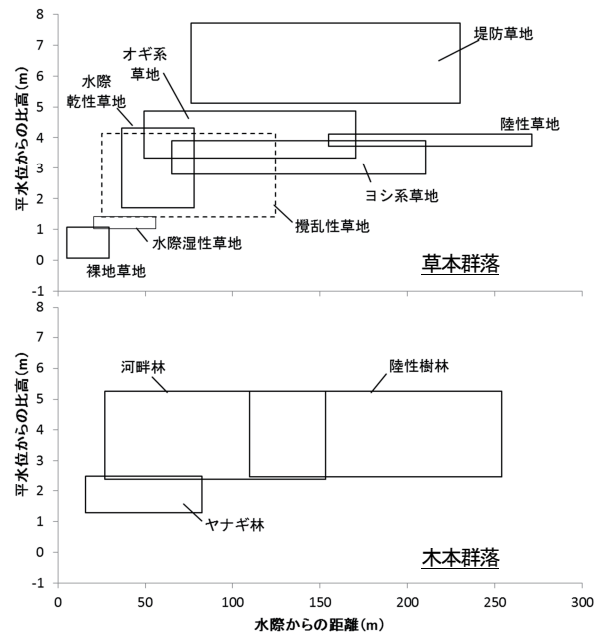


図-7 群落クラスタ分布範囲 (25%値~75%値) (比高~水際距離)

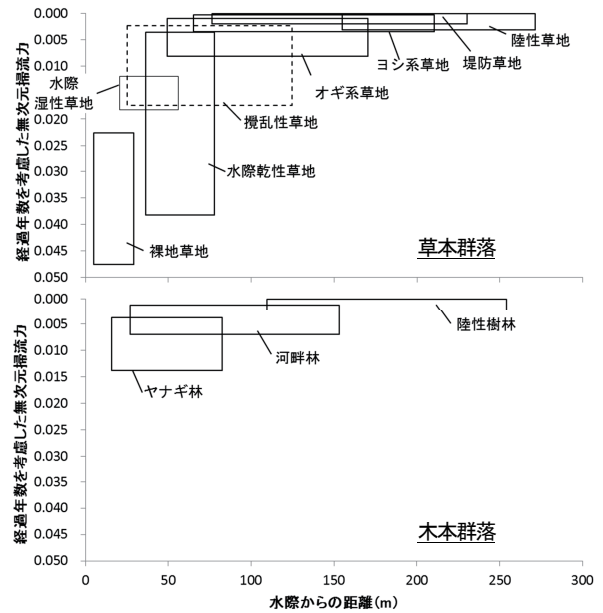


図-8 群落クラスタ分布範囲 (25%値~75%値) (無次元掃流力~水際距離)

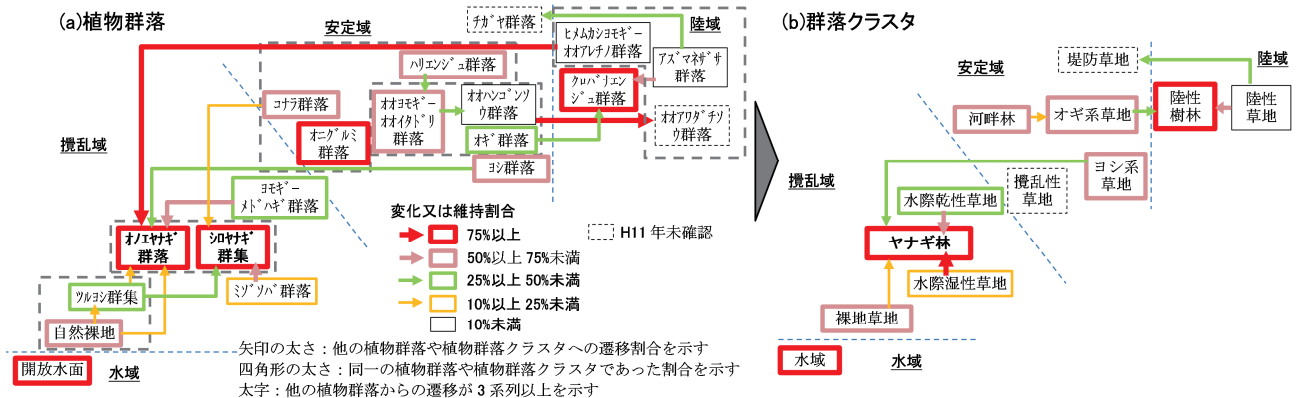


図-9 植物群落および群落クラスタによる遷移過程 (平成11年⇒平成16年)

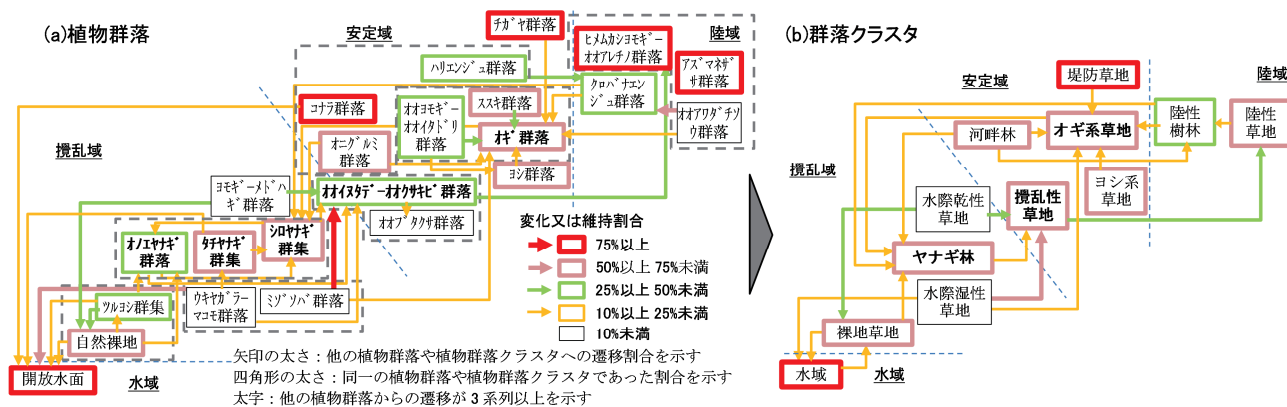


図-10 植物群落および群落クラスタによる遷移過程（平成16年⇒平成21年）

b) 平成16年から平成21年にかけての遷移過程

植物群落による35系列の遷移過程（他の植物群落への変化）は、19系列に集約された（図-10）。大規模な出水のあった当期間は、植物群落および群落クラスタともに、陸域・安定域から攪乱域への変化が見られた。

5. 考察

(1) 群落クラスタの有効性

(a) 植物群落の生態的特性との連関性

草本群落では、例えば、河川水際やワンド・たまりなどの湿性的な環境下で生育する<sup>9)</sup>ウキヤガラマコモ群落とミゾソバ群落が同じ群落クラスタに含まれた（図-5）。木本群落では、ヤナギ類が全て同じ群落クラスタに統合された（図-6）。本研究で与えた物理環境のうち、比高<sup>6)</sup>や水際からの距離<sup>7)</sup>は、生物学的な研究においても植物群落との関係性が指摘されており、同じく既往研究で関係性が指摘される表層土壌の粒径<sup>6)</sup>も、本研究で与えた掃流力と一定の関係があると考えられる。これらが、類似した生態的特性を有する植物群落同士が統合された要因であり、本手法の一定の有効性を示せたと考えられる。

ただし、本研究では、比高、水際からの距離、掃流力で植物群落の物理環境を説明しており、これらに該当しない環境条件が支配的な場合は、類似性が低い植物群落同士が統合される可能性があると言える。例えば、オオイヌタデ-オオクサキ群落とオオブタクサ群落が該当する（図-5）。植物群落による遷移過程（図-10）から、洪水後の裸地部に侵入したオオイヌタデ-オオクサキ群落の一部が、オオブタクサ群落に短期的に置き換わったと推察できる。これは、両群落が、空間的な棲み分けではなく、時間的な棲み分けが行われていると考えられ、このような一過性の植物群落とそうではない植物群落の区分は、現在の手法では十分ではないと考える。

(b) 物理環境との連関性

図-11は、図-7と同じ方法を用いて、草本群落の分布範囲を水際からの距離と比高の25%値～75%値で示した。

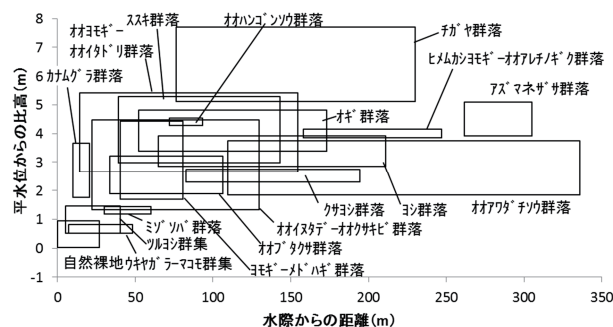


図-11 草本群落分布範囲（25%値～75%値）  
（無次元掃流力～水際距離）

図-11では、植物群落ごとの分布範囲が広く重複している。これは、植物群落の生育条件は、本研究で設定した物理環境では、十分説明できないことを意味する。本研究で与えた物理環境指標は、現在の河川工学の技術で一般的に予測可能な指標を設定した。本研究で対象としたスケールを想定した場合、河川工学で予測し得る物理環境から、植物群落の動態予測を行うことは難しいことを示唆すると考える。一方、群落クラスタは、類似する物理環境を有する植物群落を統合するため、群落クラスタと物理環境の連関性が高くなっている（図-7, 8）。ただし、攪乱性草地については、他の群落クラスタと異なり、広い範囲に生育地が分布していた（図-7, 8）。これは出水による攪乱に乗じて攪乱依存性の群落の生育地が広いためと思われる、このような群落クラスタについては、連関性が低くなることがわかった。

(2) 群落クラスタによる遷移過程の簡略化

群落クラスタを導入することで、植物群落の遷移過程が、平成11年から平成16年では、15系列から8系列に（図-9）、平成16年から平成21年では、35系列から19系列に（図-10）減少した。2時期のヤナギ類への変化（図-9, 10）や、平成16年から平成21年のオギ群落への変化（図-10）など主要な遷移過程は、群落クラスタを用いても正しく表現されたと考える。なお、平成16年から平成21年の水域から裸地草地への遷移過程（図-10）のよ

表-1 遷移系列減少パターンの内訳

遷移系列減少要因	H11～H16	H16～H21
①同一群落クラスタ遷移	2	8
②群落クラスタによる系列集約	2	4
③群落クラスタによる系列消失	3	5
合計	7	17

※H16年～H21年は、35系列から19系列に集約されているが、群落クラスタにより1系列増えているため、実際には17系列が減少している。

うに、群落クラスタのみで抽出された系列もあった。これは、分析期間よりも実際の遷移が短期間で生じ、植物群落のスケールでは抽出されなかったためと考える。

次に、系列が減少した要因を整理すると、①同一群落クラスタ内への遷移、②群落クラスタ統合による系列の集約、③群落クラスタ統合による系列の消失であった。3つの要因のうち、①と②では、遷移系列としては、他の系列や群落クラスタ内に統合されるため、情報は消失していない。遷移系列の情報が消失するのは、③である。③は、対象とする植物群落の面積が小さく、面積が大きい他の植物群落と統合された場合に、相対的に割合が小さくなることで発生する。各期間の遷移系列減少要因の内訳は、表-1のとおりである。2時期で減少した計24の遷移系列のうち、③の要因に該当するのは、8系列であった。該当する植物群落の遷移前の面積が、全体面積（解析対象の全植物群落の遷移前面積）に占める割合は、最大で平成16年のオオヨモギーオオイトドリ群落の0.91%であった。以上のとおり、群落クラスタ導入によって消失した遷移系列の情報は少なく、かつ遷移過程の簡略化が出来たと考える。

### (3) 河川管理への適用

#### (a) 河川環境評価

群落クラスタを導入することで、物理環境との関連性を高めることができ（図-7, 8）、今回用いた物理環境指標は、河川管理の管理対象として活用できると考える。例えば、既に4巡目を終了した河川水辺の国勢調査の植生図を用いて、群落クラスタの変遷から、河川環境の変化を物理環境と関連して分析できると考える。また、過去の物理環境を横断測量等から再現することで、過去の群落クラスタの分布状況を推定することも可能である。ただし、本研究では、河道掘削や樹木伐採を行った箇所は解析対象外であり、これらの範囲については適用範囲外となる。

#### (b) 樹林化や種の多様性に配慮した植生管理

ヤナギ林など樹林化の原因となる群落クラスタと競合する他の群落クラスタを把握することで、樹林化抑制に効果的な植生管理が期待できる。また、植物群落の生物学的情報を蓄積することで、群落クラスタの生物学的な評価が可能になると考える。ただし、同じ植物群落でも調査地点間では異なる種組成など生物学的な情報を有するため、これらの適用限界を示すことが重要と考える。

### (c) 植生動態の予測

本研究では、河川工学で予測可能な物理環境を用いて、植物群落を統合する群落クラスタを提案した。これは、河川工学的なアプローチで物理環境の将来変化が予測できれば、応答する群落クラスタの変化を予測可能なことを示唆する。ただし、群落クラスタと物理環境との関係は、植物群落と比較して関連性が高くなったと考えるが、その分布範囲は依然重複する（図-7, 8）。従って、群落クラスタによる将来予測は、確率論的なモデルになると考えられる。また、群落クラスタは、複雑な遷移過程から主要な遷移系列を抽出した。群落クラスタが抽出した主要な遷移系列は、植生動態のトレンドを示し、中長期的な植生動態の予測、戦略的な植生管理への発展が期待される。ただし、本研究では米代川のみを対象としており、今後他河川への適用を行い、本手法の汎用性について検証することが必要である。

謝辞：本研究を進めるにあたって、国土交通省東北地方整備局能代河川国道事務所並びに国土交通省技術政策研究所河川研究室より、貴重なデータをご提供頂いた。水理計算では、(株)建設技術研究所の稲葉氏、横山氏にご協力頂いた。ここに記して謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 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/II-65, pp.41-60, 2003.
- 2) 中越信和, 原慶太郎監訳: 景観生態学: 生態学からの新しい景観理論とその応用, pp.46, 文一総合出版, 2004.
- 3) 杉尾哲, 傳田正利, 坂本正巳: 植被指数の定量解析による河川敷の植生管理の検討, 河川技術論文集, Vol.19, pp.453-458, 2013.
- 4) 宮本仁志, 盛岡淳二, 神田圭一, 道奥康治, 魚谷拓矢, 大地洋平, 阿河一穂: 流量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, pp.I-1405-I\_1410, 2011.
- 5) 酒井紀誓, 戸田祐嗣, 辻本哲郎: 河道内植生の種間競争・拡大を考慮した砂州地形及び植生変化の数値解析, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.69, pp.I-1357-I\_1362, 2013.
- 6) 石川慎吾: 揖斐川の河辺植生 I. 扇状地の河床に生育する主な種の分布と立地環境, 日生態会誌, Vol.38, pp.73-84, 1988.
- 7) 堀毛一秀, 島野光司: 信濃川の河畔植生とその立地環境, 日本生態学会誌, Vol.62, pp.121-142, 2012.
- 8) 辻本哲郎: 砂州景観保全を河川生態工学からどう意義づけるか, 河川技術論文集, Vol.10, pp.43-48, 2004.
- 9) 奥田重俊, 佐々木寧編: 河川環境と水辺植物—植生の保全と管理, pp.3, ソフトサイエンス社, 1996.

(2014. 4. 3受付)