

# 新たな空間指標「群落クラスタ」を用いた 植生動態の再現・予測手法の開発

THE METHOD OF VEGETATION DYNAMIC MODEL  
USING NEW SPATIAL INDEX “PLANT COMMUNITY CLUSTER”

田頭直樹<sup>1</sup>・傳田正利<sup>2</sup>・萱場祐一<sup>2</sup>

Naoki TAGASHIRA, Masatoshi DENDA and Yuichi KAYABA

<sup>1</sup>正会員 工修 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  
(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

<sup>2</sup>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(同上)

This paper aimed to verify accuracy of vegetation dynamics model with field survey data observed at a low frequency. We developed four rule-based vegetation dynamic models by changing the combination of “mizukoku” vegetation data which was surveyed by national census on river environment.

As the result of study, it revealed that “mizukoku” vegetation data was valid for the definition of succession rule, and using recent 5 years interval data from the past was important for the improvement of the model accuracy.

**Key Words :** *vegetation dynamics, model, physical environment, succession, retrogression*

## 1. はじめに

現在, 多くの河川でみられる樹林化や礫河原の縮小は, 治水面及び環境面で河川管理上の大きな課題である<sup>1)</sup>. これらの課題に対し, 効率的で戦略的な河川管理を行うためには, 物理環境に応じて植生変化を記述するモデル(以下, 「植生動態モデル」という)が必要である<sup>2)</sup>.

我が国の植生動態モデルに関する萌芽期の研究では, 植生を静的に捉え, 物理環境のみで植生動態を記述していたが<sup>3)</sup>, 藤田ら<sup>2)</sup>は, 植生遷移や洪水による裸地化等の過程(以下, 「更新」という)に着目し, 物理環境変化に応じて, 植生が時系列的に状態変化するモデルを示した. これらのモデルは, 物理的外力による植生破壊・再生長等に進展がみられる<sup>4)</sup>.

しかし, これらの研究は, 樹林化等の治水面に着目し, 1つの砂州を対象に, 単純な遷移過程を前提としたものが多く, 広域に多様な草地や木本の分布を記述するには至らず, 環境面に配慮した研究としては十分ではない.

一方, 近年, 海外でも植生動態モデルの研究が進み<sup>5)</sup>, より環境面に配慮したモデルも提案され, 一例として CASiMiR-vegetation<sup>6)</sup>(以下, 「CA-V」という)が挙げられる. CA-Vでは, 遷移段階ごとに類似する植物群落

をまとめたvegetation typeという空間指標を用いて, より実態に即した植生遷移を仮定し, 比高や掃流力などの物理環境に応じた植生動態を時系列的に記述する.

一般的に, 河道内植生は, 気候や河道特性により異なるため<sup>7) 8)</sup>, 植生動態を記述する空間指標及びその変化ルールは, 個々の河川の実証データに基づき設定されることが望ましい. しかし, CA-Vでは, 空間指標の設定や変化ルールを文献や類似する複数河川の現地データから推定しているため, 課題が残る. この課題の解決には, 個別河川を対象に, 同一手法による植生動態の連続観測が必要となるが, その実施はコスト的に困難である.

ところで, 我が国では, 河川水辺の国勢調査<sup>9)</sup>(以下, 「水国」という)が, 全国一級水系の直轄管理区間を対象に, 1990年より継続的に実施され, 植生動態モデルを構築するための極めて貴重なデータになり得る. 筆者らは, 水国を活用し, CA-Vのvegetation typeに類似した空間指標「群落クラスタ(PCC: Plant Community Cluster)」を提案した. さらに, PCCの推移分析から, 遷移・更新(以下, 「変化」という)の2方向の経路(以下, 「系列」という)からなるPCCの変化ルールの定義手法を提案し, 空間的不均質性が極めて高い植物群落とその複雑な変化ルールを要約した<sup>10)</sup>. 現在, 開発しているPCCとその変化ルールを用いた植生動態モデル(以下, 「PCC

動態モデル」という)は、対象河川の水国データを活用するため、当該河川の特徴を反映でき、その手法は水国を有する全国河川に適用可能である。

しかし、PCCに用いる水国は、5年に1度観測される離散的なデータであり、連続的に変化する植生動態をどの程度記述できるかについては未検討である。

以上を踏まえ、本研究では、低頻度で観測されるデータを用いたモデルの再現性を検討するために、期別の水国データの組合せ(以下、「PCC形成用データ」という)を変えて、群落クラスタ動態モデルを作成し、PCC形成用データの違いが、(イ) PCC、PCC変化ルール及び変化ルールに基づく再現結果に及ぼす影響を明らかにし、

(ロ) 水国データの実用性を植生動態モデル作成の視点から考察することを目的とする。

## 2. PCC動態モデル等の概要

### (1) PCC (群落クラスタ) の概要

PCCとは、植物群落を、立地する場の物理環境の類似性に基づき類型化した空間単位である。

図-1にPCCの作成イメージを示す。PCCは、解析グリッドに、水国植生図の植物群落と比高、水際からの距離、掃流力(以下、「基本物理指標」という)を格納し、植物群落別に集計した基本物理指標(50%値等)を用いて、クラスタ分析により作成される。基本物理指標は、植生調査から過去5カ年の平水流量と毎年の年最大流量、横断測量を基に平面二次元流計算で算出している。掃流力は、最も影響があると推定した年(最大影響年)の年最大流量で計算した掃流力を用いている(図-2)。最大影響年の推定は、ある年の掃流力の影響は10年でゼロになると仮定し、過去5カ年の年最大流量を1/10ずつ漸減させ、植生調査年時に最大となる年とした。10年とした理由は、対象河川の降水量に20年の周期性がみられ<sup>11)</sup>、出水の影響は最大でもその半周期と仮定したことによる。また、河川敷の植生の多くが数年程度の間隔で変動していること<sup>12)</sup>も考慮した。

### (2) PCC変化ルールの概要

変化ルールは、図-3に示すとおり、あるPCCを始点とした遷移・更新系列ごとに、比高など変化を規定する変数の頻度分布を表-1に示す確率密度関数で表し、その相

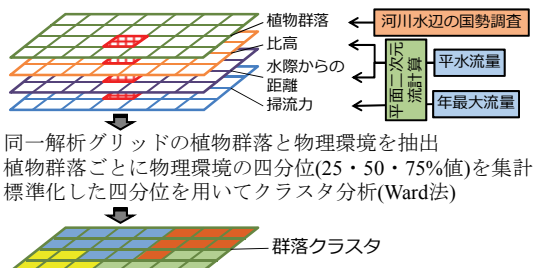


図-1 群落クラスタ(PCC)の作成イメージ

対値から、変数に応じた遷移・更新確率を導き、各変数の確率の合計値が最大となる系列に変化している。

遷移系列は、同一解析グリッドの2時期のPCCをクロス集計し、遷移方向の系列を抽出して設定する。遷移・更新の区分は、掃流力の大きい箇所(に生育するPCC)への変化を更新方向とし、それ以外を遷移方向と定義する。ただし、河畔林からヨシなど更新方向への変化も、図-2の最大影響年の洪水により一旦裸地化しヨシへ遷移したものと考え、裸地からヨシへの変化に変換して、遷移系列として抽出している。また、微細な系列を除くため、各PCCを始点として、3%未満の系列は棄却する。

更新系列は、各PCCを始点として、裸地化有・無の2値の系列で与える。裸地化有・無の判断は、裸地化した箇所を裸地化有、同一のPCCで維持された箇所を裸地化無とする。ただし、更新系列のデータが少ない範囲(掃流力が極端に小さい、又は極端に大きい範囲)では、掃流力が小さくなると更新する確率が高くなる関係が一部で見られたため、そのような場合は、更新確率と掃流力が非負の関係になるよう補正している。

### (3) PCC動態モデルの概要

図-4にPCC動態モデルの状態変化のイメージを、図-5に計算フローを示す。モデルは、5年を1ステップとし、解析グリッドごとに計算する。現在のPCCに基本物理指

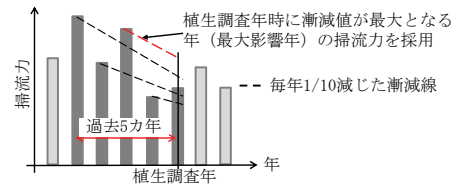


図-2 経過年数を考慮した掃流力の設定

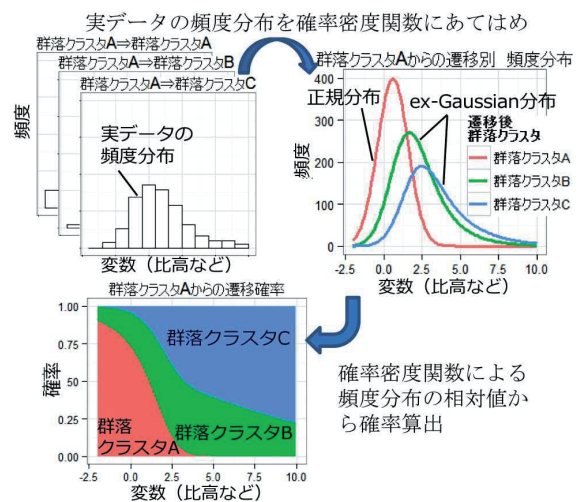


図-3 遷移・更新確率の設定手順

表-1 変化ルールを規定する変数と確率密度関数

系列	始点PCC	比高	水際からの距離	無次元掃流力	経過年数
遷移系列	裸地	$n/e^1$	$n/e^1$	$n/e^1$	b
	裸地以外	$n/e^1$	$n/e^1$	$n/e^1$	-
更新系列	-	-	-	$n/e^1$	-

n: 正規分布, e: ex-Gaussian分布<sup>2)</sup>, b: 二項分布, -: 変数として使用しない  
1: 至度<0(右裾広がり)の場合はex-Gaussian分布, それ以外は正規分布を適用  
2: ex-Gaussian分布は指数分布と正規分布を畳み込み積分した分布

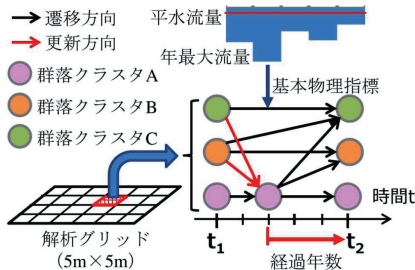


図-4 PCC動態モデルの状態変化イメージ

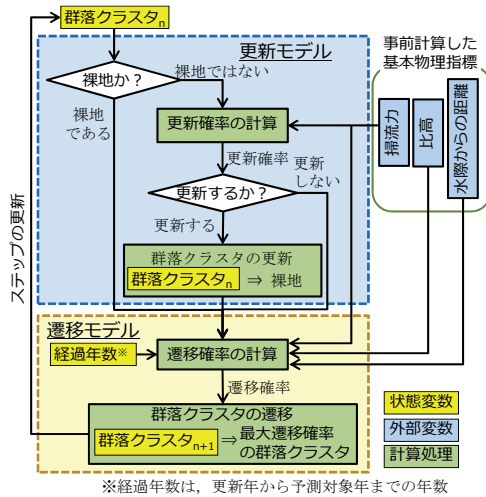


図-5 モデルの計算フロー

標と更新年から次ステップまでの経過年数（以下、「経過年数」という）を与え、更新モデル、遷移モデルの順に適用し、次ステップのPCCを決定する（図-5）。基本物理指標は、「2(1)PCCの概要」と同様の方法で、現在から将来の5カ年の流量を用いて計算している。

### 3. PCC動態モデル等の検証方法

#### (1) 調査地および対象データ

本研究は、信濃川水系千曲川の長野県境から67km～82kmの区間（河床勾配1/1060）を対象とした。同区間は、澗筋の変化などが比較的小さいセグメント2-1区間であり、植生遷移に着目できること、区間の上流端に杭瀬下観測所（82.5km付近）があり、支川流入がなく対象区間を同一流量で評価できることから対象とした。

千曲川では、1994年、1999年、2004年、2008年、2013年に水国の植生調査が実施され、これらの植生データと同年代の横断測量および流量データを用いた。

#### (2) PCC形成用データ別PCC動態モデルの作成と再現

対象データを、1994年～2004年と2004年～2013年に分割し、前者をPCC及びPCC動態モデル作成用、後者をPCC動態モデルの再現結果の検証用とした。変化ルール作成のため、PCC及びPCC動態モデル作成用データは、2時期以上のデータを基本とし、表-2に示す4ケースとした。作成した4つのPCC動態モデルを用いて、2004年～2008年、2008年～2013年の植生動態を再現した。なお、

表-2 モデル別使用データ一覧

model	1994 (H6)	1999 (H11)	2004 (H16)	2008 (H20)	2013 (H25)
A	●	●		○	○
B		●	●	○	○
C	●		●	○	○
D		●	●	○	○

●：PCC及びPCC動態モデル作成用，○：再現結果検証用

本研究では、PCC形成用データのの違いに着目するため、基本物理指標を算出する際の平面二次元流計算では、河床変動は計算せず、計算年近傍の横断測量を用いた。また、掃流力は粒径20mmで無次元化した。

#### (3) 検証方法

##### a) PCCの検証

5時期（1994年～2013年）の植生データで作成したPCC（以下、「5時期PCC」という。）を正とし、4つのモデルで作成されるPCCの種類と植物群落の構成について、その相違を比較した。なお、筆者らは、5時期PCCを現地確認し、表層土壌材料の類似性等の視点からその妥当性を確認している<sup>13)</sup>。

##### b) 変化ルール

変化ルールに用いる遷移系列は、主要な系列が抽出され、かつ段階的に遷移する過程が表現されることが望ましい。従って、モデル別に、遷移系列数と1系列あたりの平均遷移値を比較した。平均遷移値は、遷移先までの最短経路（隣接PCCへの遷移）を経由した場合の経路数（例えば、2つ隣りのPCCへの遷移は2とする）の累計値を系列数で除して算出した。

##### c) PCC動態モデル

モデル別の2008年及び2013年の再現結果と、同年の水国の実績データを比較検証した。具体的には、実績と再現結果の群落クラスターの面積を、裸地、草地、樹林面積（以下、「景観面積」という）に換算し、 $\chi^2$ 検定を行った。また、PCCごとに、モデルの再現面積と実績面積の差分を実績面積で除して、割合に応じてスコア化し（0～25%：1点、25～50%：0.5点、50～75%：0.25点、75%以上：0点）、比較した。

### 4. 結果

#### (1) PCC形成用データがPCCに及ぼす影響

モデル別のPCCを表-3に示す。5時期PCCと同じ種類のPCCが作成されたのは、モデルCとDであり、モデルAは堤防草地が、モデルBは河原系草地が作成されなかった。各PCCを構成する植物群落について比較すると、5時期PCCと構成植物群落の相違数が最も少なかったのは、モデルD、B、C、Aの順であった。

#### (2) PCC形成用データがPCC変化ルールに及ぼす影響

##### a) 遷移系列

モデル別の遷移系列を図-6に示す。系列数は、モデルCとDが多く、平均遷移値は、モデルAとDが少なかった。

b) 遷移・更新確率

頻度分布と遷移確率の一例として、裸地草地を始点とする系列の遷移確率を図-7に示す。全モデルで、比高及び水際からの距離と、自然裸地の遷移確率が負、ヨシ・オギ系草地への遷移確率が正の関係を示した。掃流力は、

ヤナギ林への遷移確率と正の関係を示した。経過年数は、モデルC以外は、ヨシ・オギ系草地と正の関係を示したが、モデルCは、裸地草地と正の関係のみみられた。

次に、ヨシ・オギ系草地、安定草地、ヤナギ林、河畔林の更新確率を図-8に示す。安定草地を除くPCCでは、無次元掃流力が大きくなって更新確率が1にならない場合が見られた。また、モデルCのヤナギ林は、他モデルと比較して、更新する確率が高い結果となった。

表-3 モデル別 群落クラスタ

大区分	群落名	model			
		A	B	C	D
草本群落	自然裸地	G1	G1	G1	G1
	ツルシ群集				
	シタダレスクガヤ群落	G3	G3	G3	G3
	カラヨモギ-カラハハコ群落	G2	G5	G2	G2
	オアシダケ-オウチキビ群落		G3	G3	
	ヨシ群落	G3			G3
	セリクサヨシ群集				
	クス群落				
	ナギ群落				
	かまくら群落		G4		
	セイカアワダチ群落				
	メシハ-エノコログサ群落				G4
	ヨモギ-トハギ群落	G2		G2	G2
	アサギ群落			G4	G4
	かまかや-オアワカエリ群落	G3		-	
	ヒムカシヨモギ-オアレナギ群落	G4		G4	
メマツイグサ-サマハヤズ群落					
ホウシクサ群落	G3	G5	G5	G5	
木本群落	クサヤナギ群集	F1	F1	F1	F1
	カヤナギ群落				
	コノメヤナギ群落	F2	F2		F2
	オグル群落				F2
	ハコシジ群落				
5時期PCCとの相違数		7	4	6	3

G1: 裸地草地, G2: 河原系草地, G3: ヨシ・オギ系草地, G4: 安定草地  
G5: 堤防草地, F1: ヤナギ系樹林, F2: 河畔林, -: 出現なし  
※点線区分は、5時期PCCの区分を示す

(3) PCC形成用データがPCC動態モデルに及ぼす影響

a) PCC構成比

モデル別PCCの再現結果を図-9に示す。モデルAは、裸地草地と推定した面積が実績よりも大きかった。モデルBは、ヨシ・オギ系草地と推定した面積が実績よりも大きかった。モデルCでは、ヤナギ林と推定した面積が実績よりも多かった。モデルDは、ヨシ・オギ系草地と推定した面積が実績よりも多かった。

実績とモデル再現による裸地、草地、樹林の面積比を、 $\chi^2$ 検定で比較した結果を表-4に示す。モデルAとCは、p値が0.05未満となり実績と再現結果では有意な差が認められたが、モデルBとDは、p値が0.05を上回り、実績と再現に有意な差は認められなかった。

PCC別の実績と再現の乖離を表-5に示す。PCC別では、河原系草地在適切に再現されず実績と乖離が大きかった。モデル別では、モデルBとDのスコアが良かった。年代別では、2008年～2013年の方が、平均スコアが高かった。

b) PCCの分布状況

モデルによるPCC平面分布再現結果の一部を図-10に示す。2004年実績では、裸地草地やヤナギ林が分布しているが、2008年実績では、ヨシ・オギ系草地在分布し、モデルによる2008年再現結果においても、ヨシ・オギ系草地在の分布が確認された。ただし、河原系草地在やまばらに分布するヤナギ林などは、再現出来ていなかった。

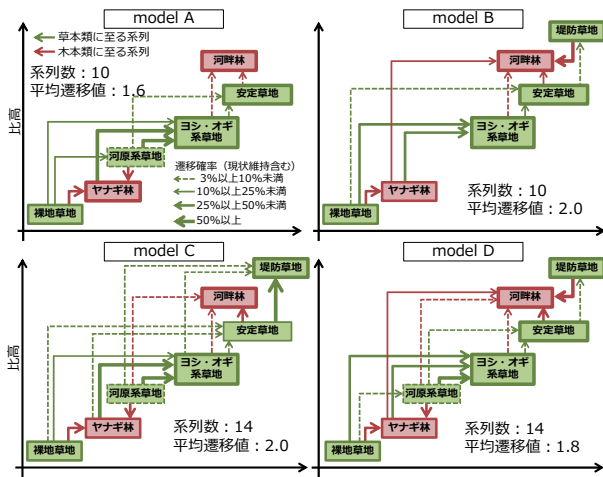


図-6 モデル別 遷移系列

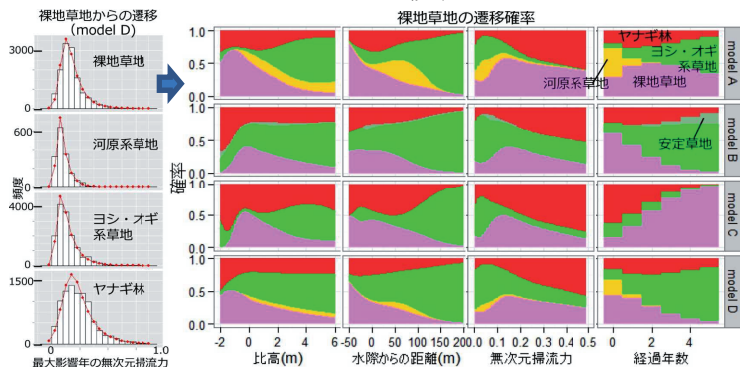


図-7 頻度分布(例)と裸地草地の遷移確率

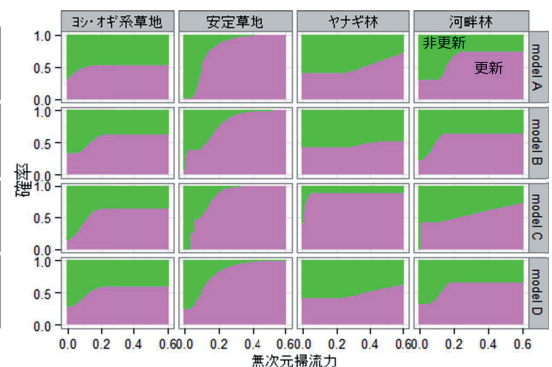


図-8 主要群落クラスタの更新確率

5. 考察

(1) PCC形成用データがPCCに及ぼす影響

モデルBは、河原系草地在が類型化されなかった(表-

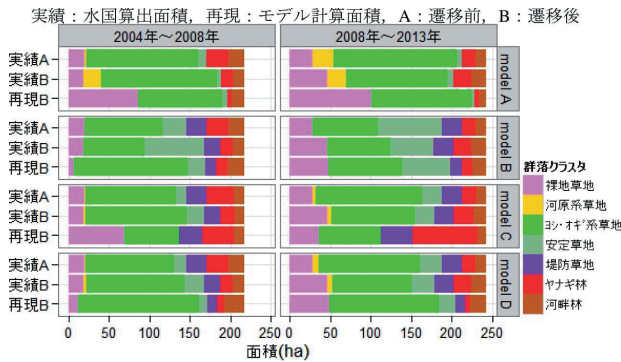


図-9 群落クラスタ構成比

表-4 裸地・草地・樹林面積の実績と再現の $\chi^2$ 検定

予測対象年	model			
	A	B	C	D
2008年	<0.001**	0.064	<0.001**	0.459
2013年	<0.001**	0.441	<0.001**	0.158

\*\* :  $p < 0.01$ , \* $p < 0.05$

表-5 群落クラスタ別実績と再現の乖離

群落クラスタ	2004年～2008年				2008年～2013年			
	A	B	C	D	A	B	C	D
裸地草地	×	△	×	○	×	◎	◎	◎
河原系草地	×	-	×	×	×	-	×	×
ヨシ・オギ系草地	○	×	○	◎	◎	◎	◎	○
安定草地	△	△	×	△	○	◎	×	○
堤防草地	-	○	○	○	-	○	△	○
ヤナギ林	△	◎	×	○	×	○	×	△
河畔林	◎	○	◎	×	○	◎	○	◎
モデル別スコア	2.0	2.5	2.0	2.8	2.0	5.0	2.8	3.8
年代別平均	2.3				3.4			

(モデルによる再現面積・実績面積)/実績面積

◎ : 0%～25%・1点, ○ : 25%～50%・0.5点,

△ : 50%～75%・0.25点, × : 75%以上・0点

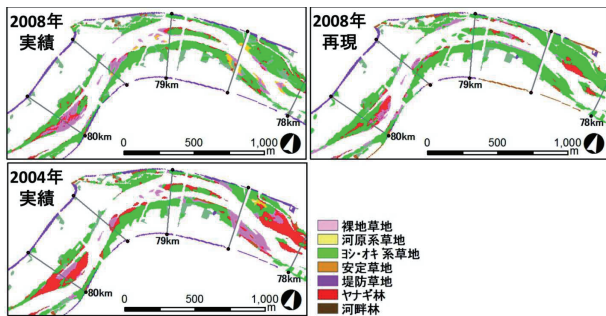


図-10 群落クラスタ分布状況 (model D)

3) . これは、モデルBが、河原系草地が多く残存していた1994年データを含んでいないためと考えられる。また、モデルAは、堤防草地が類型化されなかった。これは、調査年が古いモデルAのデータは、調査範囲が狭く、堤防草地が十分調査されていないためと思われる。

## (2) PCC形成用データがPCC変化ルールに及ぼす影響

### a) 遷移系列

モデルAとBは、系列数が他のモデルよりも少なかった(図-6)。これは、PCC形成用データが2時期であったことが要因と思われる。一方、同じ2時期のデータを用いたモデルCは、3時期のデータを用いたモデルDと同

じ14系列数が抽出されたが、平均遷移値はモデルDよりも高かった。これは、モデル作成に用いたデータの調査間隔が10年と長いことが要因と思われる。

### b) 遷移・更新確率

裸地草地からの遷移確率は、比高が高く、水際から遠くなるほど裸地化する確率が低下し、ヨシ・オギ系草地となる確率が上昇するなど、全体的に実態と合致する傾向を示した(図-7)。しかし、モデルCの経過年数に応じた遷移確率が他のモデルと大きく異なっていた。これは、モデルCに用いたデータが10年間隔であるため、更新が発生した現象を適切に捉えられず、更新年からの経過年数が実態と乖離していた可能性が考えられる。

また、モデルCのヤナギ林の更新確率が他のモデルより高い傾向を示した(図-8)。これは、モデルCに用いたデータが10年間隔であるため、攪乱域に生育するヤナギ林の更新実態を十分把握できていない事が考えられる。

## (3) PCC形成用データがPCC動態モデルに及ぼす影響

モデルAとCの再現精度が低かった(表-4・5)。モデルAは、経過年数による裸地草地への遷移確率がモデルBやDよりも高く(図-7)、実際よりも裸地草地箇所が多くなったことが精度低下の要因と考えられる。モデルCは、モデル作成に用いた植生データの間隔が10年であるため、遷移確率及び更新確率の精度が悪かったことが要因と考えられる。モデルBとDの再現精度は、モデルAとCに比べて良かったが、モデルBは2008年と2013年で再現精度の差が大きかった(表-5)。これは、PCCの精度によると考えられる。モデルBでは、他のモデルでヨシ・オギ系草地に属する一部の植物群落が安定草地に属するため(表-3)、ヨシ・オギ系草地が拡大する傾向にある2008年は、適切な再現がなされなかったと思われる。モデルDは、他のモデルと比較して再現精度が良かったが、2008年と2013年の再現において、実績よりもヨシ・オギ系草地が過大、ヤナギ林と堤防草地が過小という共通の傾向を示し、これらの遷移系列の状態遷移に改良の余地があることが示唆される。

## (3) 植生動態モデル作成からみた水国データの実用性

遷移については、水国データから作成したPCCの変化系列を使用し、実態に合致した遷移確率の傾向が得られ、遷移方向の変化ルールを定義することに対し、水国データは有効と考える。一方、更新については、水国データ等から得られた更新確率は、更新確率と掃流力に負の関係がみられるなど実態と合致しない部分があった。これは、5年間隔の水国データでは、洪水による植生破壊状況を十分に観察できていないことが理由の一つと考えられ、更新方向の変化ルールの定義に水国データを用いる際は留意する必要があると思われる。

次に、水国データの違いがPCC動態モデルに及ぼす影響について述べる。モデル作成に用いた水国データが

表-6 モデル間の総合評価

model	データ調査年			PCC		変化ルール		PCC動態モデル	
	1994	1999	2004	種類	植物群落構成	系列数	平均遷移値	景観面積構成比	PCC別面積比
A	●	●		×	×	×	○	×	×
B		●	●	×	○	×	×	○	○
C	●	●	●	○	×	○	×	×	×
D	●	●	●	○	○	○	○	○	○

●：モデル作成に使用，○：上位2モデル，×：下位2モデル

異なるモデル間の総合評価結果を表-6に示す。古い年代から2時期を用いたモデルAは、PCC、変化ルール、PCC動態モデル全ての項目において精度が悪かった。水国データの精度が良い新しい年代から2時期を用いたモデルBは、PCC動態モデルの再現結果は良かった。しかし、過去の希少なデータがなく、河原系草地の類型化がなされなかった。10年間隔のデータを用いたモデルCは、平均遷移値が大きい、すなわち大きな変化を捉えてしまい、PCC動態モデルの再現結果が良くなかった。3時期を用いたモデルDが最も総合評価が高かった。これらは、水国データを用いて、PCCおよびPCC動態モデルの精度を向上させるためには、過去のデータや近年のデータのみならず、過去から近年のデータを5年間隔で蓄積し利用することが重要であることを示唆するものとする。

#### (4) PCC動態モデルの課題

##### a) 更新確率の設定

前述のとおり、5年間隔の水国データでは、更新状況を十分に観察できていない可能性がある。先行研究<sup>2)14)</sup>では、現地の河床材料の限界掃流力を用いて植生破壊を定義しており、これら先行研究の知見を踏まえた更新確率の設定に改善の余地がある。

##### b) 遷移確率の算出方法

本研究では、複数の変数による確率を単純に加算し遷移確率とした。しかし、PCCごとに重要な変数が異なる可能性があり、遷移確率の算定式に改善の余地がある。

##### c) 小面積PCCへの対応

本研究のモデルでは、いずれのモデルでも河原系草地を適切に再現することができなかった。河原系草地は変化が短期間で生じること、占有面積が小さいことが要因と考えられる。これらを表現するためには、予測・再現する時間ステップをより短期にすることや、確率論的な状態遷移などを行うことが必要と思われる。

## 6. まとめ

本研究では、低頻度で観測されたデータで構築した植生動態モデルの再現性を検証するため、水国データの組合せを変えて、物理環境に応じた変化ルールに基づく植生動態モデルを作成した。その結果、水国データは遷移方向の変化ルールを定義することに有効であり、モデルの精度向上のためには、過去から近年のデータを5年間隔で蓄積し利用することが重要であることがわかった。

謝辞：本研究を進めるにあたって、国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所より、貴重なデータをご提供頂いた。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 宮本仁志, 赤松良久, 戸田祐嗣: 河川の樹林化課題に関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.
- 2) 藤田光一, 李參熙, 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.
- 3) 古東哲, 岸本崇, 岡部健人, 鎌田磨人: 砂州上の植物群落分布の再現モデル, 環境システム論文集, Vol.29, pp.171-178, 2001.
- 4) 八木澤順治, 田中規夫: 洪水時における砂礫州上の土砂堆積とそれに応じた植生遷移を考慮した植生動態モデルの開発, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.70, No.3, pp.71-81, 2014.
- 5) Camporeale, C., E. Perucca, L. Ridolfi, and A. M. Gurnell: Modeling the interactions between river morphodynamics and riparian vegetation, Rev. Geophys., Vol.51, pp.379-414, 2013.
- 6) Benjankar, R., Egger, G., Jorde, K., Goodwin, P., Glenn, N. F.: Dynamic floodplain vegetation model development for the Kootenai River, USA, Journal of Environmental Management, Vol.92, pp.3058-3070, 2011.
- 7) 石川慎吾: 河川植物の特性「河川環境と水辺植物-植生の保全と管理」奥田重俊・佐々木寧(編), pp.116-139, ソフトサイエンス社, 1996.
- 8) 山本晃一: 河道特性としての生態系「構造沖積河川学-その構造特性と動態-」, pp.459-490, 山海堂, 2004.
- 9) 国土交通省: 河川環境データベース河川水辺の国勢調査 (<http://mizukoku.nilim.go.jp/ksnkankyo/index.html>) .
- 10) 田頭直樹, 片桐浩司, 傳田正利, 大石哲也, 萱場祐一: 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-, 河川技術論文集, Vol.20, pp.115-120, 2014.
- 11) 千曲川工事事務所: 千曲川犀川 三十年の歩み, pp.367-384, 山海堂, 1980.
- 12) 佐々木寧: 河川環境の特質「河川環境と水辺植物-植生の保全と管理」奥田重俊・佐々木寧(編), pp.3, ソフトサイエンス社, 1996.
- 13) 田頭直樹, 傳田正利, 片桐浩司, 中西哲, 萱場祐一: 千曲川における植生管理のための空間単位「群落クラスター」とその実用性に関する研究, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.72 No.4, pp.I\_1069-I.1074, 2015.
- 14) 田中律夫, 八木澤順治, 福岡捷二: 樹木の洪水破壊指標と流出指標を考慮した砂礫州上樹林地の動態評価手法の提案, 土木学会論文集B, Vol.66 No.4, pp.359-370, 2010.

(2015. 4. 3受付)