

植物を介した土壤栄養塩動態モデルを付加した 河道地形変動予測モデルの開発

MODELING OF RIVER CHANNEL GEOMORPHOLOGY BASED ON NUTRIENT
BUDEGTES, VGETATION COMMUNITY AND PHYSICAL PROCESSES

平生昭二¹・浅枝隆²・坂本健太郎³
Shoji Hirao, Takashi Asaeda and Kentaro Sakamoto

¹正会員 工修 株式会社 建設技術研究所河川部 (〒330-0071 埼玉県さいたま市浦和区上木崎1-14-6)

²正会員 工博 埼玉大学大学院理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

³正会員 工博 株式会社 建設技術研究所環境部 (〒330-0071 埼玉県さいたま市浦和区上木崎1-14-6)

Vegetation of a river channel has an extremely large effect on the channel morphology. It develops basically following the primary succession of vegetation. Therefore, the sequential processes of nitrogen dynamics and the development of vegetation community are essential in the establishment of the channel morphology. An numerical simulation model was developed to predict the geomorphology of sediment bars and riparian area. The model is composed of the processes of the growth of trees and herbaceous vegetation associated with nitrogen dynamics, which are then reflected to the prediction of geomorphological changes of the channel. The model was applied to the observation results conducted at a sediment bar at the midstream of Arakawa River.

Key Words : *Nitrogen dynamics, Growth model of vegetation and trees, biomass, Spill
Resistance change, Geomorphology of sediment bars*

1. はじめに

河道内の樹林化に関して草本類や樹木群の生長・エリア拡大は、洪水時の抵抗増加要因であり、流下能力不足や偏流発生など、河道の量的・質的安全度低下を引き起こす。この草本・樹林化の促進と拡大には、土壤中の栄養塩も主要因の一つで、草本類や落ち葉の分解など、植生を介した生長過程における土壤栄養塩の循環が大きく寄与していると考えられる。河川の治水安全度の確保・向上（流下能力、既設構造物や河岸の安全度等）、及び良好な河川環境の保全・復元（ハビタット、礫河原再生等）を図るためには、河道内の植生・樹木群の生長・遷移を踏まえた河道整備・管理を行うことが重要である。

現在、河道内の草本・樹林化が問題となっている河川では、構造物の設置や河川改修等の人為的インパクトに起因する「洪水流量低下と流量平準化による滞水の固定化、及び植生流失頻度の低下」、「過剰な栄養塩の流入と土壌への堆積」、「堆積土砂の細粒化による水分や栄養塩供給能の改善」、「砂利採取停止による攪乱の減少」、「樹木伐採停止」等の直接的な原因が単独若しく

は複合的に寄与している。

近年、植生の消長・生長プロセス¹⁾については、数多くの研究が行われている。藤田ら²⁾は、平面二次元河床変動解析モデルと植生の遷移機構モデルを組合せ、河道流量の変化による河床変動と植生の遷移・流出機構を再現している。また、八木澤ら³⁾は、洪水によって破断・倒伏した破壊形態が植生遷移を遅らせる効果を取り入れた植生動態モデルを構築し、植生の破壊・回復・拡大現象を再現している。しかしながら、物理機構の解明が対象となっており、植生の生理機構の導入や草本類の生長を考慮するまでには至っていないのが現状である。

本論文では、効率的な河道維持管理に資するツールとして、草本・樹木の生長過程における栄養塩循環を考慮した植生生長モデルを提案し、さらに草本・樹木群生長・拡大を反映した河道地形変動予測モデルの開発を目的としている。そして、開発した解析モデルの検証は、著者らが継続的に観測⁴⁾⁵⁾を実施している荒川熊谷地区の砂州を対象に、大規模洪水時の流況・河床変動、及び長期的な流況に対する植生・樹木群の繁茂状況の再現を試みている。

2. 解析モデルの開発

(1) 解析モデルの概要

植物を介した土壌栄養塩動態モデルを付加した河道地形変動予測モデルは、「平面二次元河床変動解析モデル（混合粒径）」、「草本バイオマスモデル」、「樹木バイオマス」、「栄養塩循環」の4つから構成され、それらを結合したモデルである。具体的な計算の流れは、図-1に示すように、毎年、融雪期、洪水期の期間に対し、各モデルの計算を実施し、その結果を平面二次元河床変動解析へ反映させるものである。

各解析モデルの概要を表-1に示す。平面二次元河床変動解析モデル（混合粒径）は、草本・樹木群の生長・拡大、流失による抵抗変化が洪水時の流況や河床変動へ与える影響を解析可能なモデルとした。栄養塩循環モデルは、対象とする土壌内で、降雨、樹木及び草本の内部の含有率や分解を考慮した窒素(TN)収支モデルであり、草本バイオマスモデルはこの窒素収支モデルで算出される土壌TNに対応したバイオマス計算モデルであり、著者らが実施した既往現地調査結果から経験的に構築した^{4)~6)}。また、樹木バイオマスモデルは、生長モデルを用いることも可能であるが、本論文では草本と同様に調査結果から得られた生長の経験式（アロメトリー式）を用いる⁶⁾。

(2) 植物を介した栄養塩循環

a) 栄養塩循環モデル

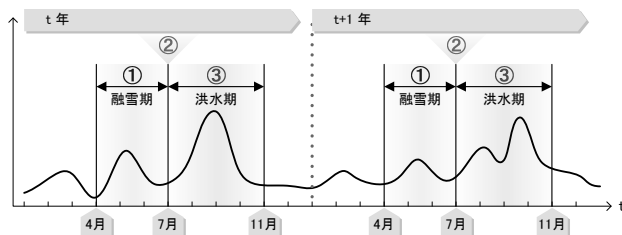
植物を介した栄養塩循環を模式的に表したものが図-2である。植物は根圏の深さの栄養塩を吸収し、枯死後のリターは地表面に堆積分解されることから、植物を介した栄養塩の循環は、地表面近傍で供給されて、根圏の深さで消費される。また、ニセアカシア等の窒素固定による大気からの吸収、洪水による供給もあり、これらを表現するモデルを開発した。計算手順を以下に示す。

〔樹木を介した循環〕

- ・樹木生長モデルにより、根及び幹、枝等の年間のバイオマス増加量を、樹齢ごとに算出する。
- ・上記に組織別の栄養塩濃度を掛けて、木本部に貯蔵される年間の栄養塩量を算出する。
- ・年間の葉の生産量を算出する。
- ・年間の葉の生産量に葉に含まれる栄養塩濃度を掛けて、樹木が吸収した栄養塩のうち、葉に配分され、落葉とともに土壌表面に堆積する量を算出する。
- ・葉の分解速度より、土壌中に回帰される栄養塩量を算出する。

〔草本類を介した循環〕

- ・土壌窒素濃度より見積もられる年間の最大草本バイオマス量を算出する⁷⁾。
- ・土壌粒径、隣接する樹木の影等によるバイオマス量の校正を行う¹⁾⁵⁾。



- ① 木本類の侵入エリア(地帯の遷移)設定
(平水位・融雪洪水水位等を基準とした草本・木本類侵入エリアの設定)
- ② 栄養塩収支計算(計算間隔:1年間)
(土壌TN収支、草本・木本類の生長計算)
- ③ 平面二次元河床変動解析(混合粒径)
(流況・河床変動、草本・木本類の生長による抵抗増、草本・木本類の流失)

図-1 河道内地形変動予測モデルと土壌栄養塩動態モデルの結合

表-1 解析モデルの概要

項目	細目	内容
水理計算	手法	一般座標系平面二次元不定流計算
	植生の抵抗	植生高さと水深の比、倒伏状態に応じて設定 (植生再繁茂・生長に伴う粗度係数変化への対応)
	樹木群の抵抗	樹木諸元から透過係数を算出し、粗度係数へ換算 (樹木生長・流失に伴う抵抗変化への対応)
	植生・樹木群の侵入	平水位、融雪洪水水位からエリア設定
	植生・樹木群の流失条件	河床洗掘による流失、河床堆積による枯死を考慮 (1年目と2年目以降で判定基準を設定)
河床変動計算 (混合粒径)	限界掃流力	Egiazaroff式(芦田・道上による修正式)
	掃流砂量	主流方向: 芦田・道上式、横断方向: 長谷川式
	浮遊砂量	Lane-kalinske式
	沈降速度	Rubey式
	河床変動計算	流砂の連続式
離散化手法等	河床材料の粒度分布	平野による交換層の概念を発展させた芦田・道上・劉による方法(鉛直方向: 表層と下層の粒度構成を設定)
	数値解析	有限体積法
栄養塩収支計算	時間積分	Adams-Bashforth法
	土壌栄養塩	植生・樹木の栄養塩摂取量、供給量、分解量及び大気、洪水を踏まえた栄養塩収支計算
	植生バイオマス	栄養塩、生長、影、河床粒度の影響を考慮したバイオマス量の計算
	樹木バイオマス	・アロメトリー式を介した樹木生長計算 ・栄養塩摂取量、供給量、分解量の計算 (窒素固定有無の考慮)

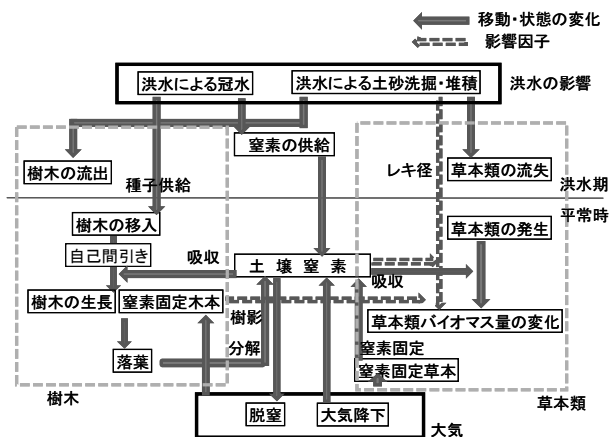


図-2 植生モデルを介した栄養塩循環

- ・地上部と地下部に分離し、地上部バイオマス量を算出する。なお、地下部の寿命は2~3年程度である¹⁾。
- ・地上部が枯死後、分解係数を掛けることによって土壌中に回帰される栄養塩量を算出する。

b) 草本バイオマスモデル

著者らが実施した既往の荒川等の観測結果について、土壌TN濃度と地上部バイオマスとの関係を求めると図-3のように表される。推定される草本バイオマス AGB (gDW/m^2) は (大型イネ科植物では図中破線, 他の植物では一点鎖線), 土壌中TN ($\%w/w$) の関数として, 以下のように表される。ただし, AGB_{max} は, 十分な土壌TN濃度の下でのバイオマスであり, 大型イネ科草本の場合は $1,500gDW/m^2$, 他の植物の場合は, $400gDW/m^2$ である¹⁾。

$$AGB = AGB_{max} [TN^{2.5} / (TN^{2.5} + 0.042^{2.5})]^2$$

また, 粗い粒径に覆われている程, バイオマス量が低下する⁴⁾ こと, 樹木の陰影による律速を受けることを考慮し, 以下の係数を AGB に乗じる。

$$\text{粒径の影響: } GE = EXP\{-(2.0 + \log_{10} \cdot DR_{60}) / 2.6\}$$

$$\text{影の影響: } SH = (1 - 0.6 B_{Leaf} / A_{tree})^{0.7}$$

$$\text{生長の影響: } GR = Age^{4.0} / (Age^{4.0} + 2.0^{4.0})$$

ここに, DR_{60} : 60%粒径, B_{Leaf} : 葉のバイオマス, A_{tree} : 樹冠面積, Age : 草本年である。なお, 草本バイオマス量から植生高さへの換算は, 0.003 を乗じて行う。

c) 樹木バイオマスモデル

樹木の組織別バイオマスは, 計算時間短縮のため, 計算対象となる砂州において得られた生長の経験式 (アロメトリー式)⁵⁾ を用いる。すなわち, 地上部バイオマス, 地下部バイオマス, 葉バイオマス, 樹高, 樹冠幅について, 胸高直径 DBH を用いたアロメトリー関数 (経験式) を作成し, 樹齢に応じた生長諸元を算出する。

以上の栄養塩循環モデルを用いて, 裸地状態からヤナギと草本が進入し, 生長し続けた場合 (洪水未発生) に起こる窒素量の変化と, それに伴う草本バイオマス量変化を計算した結果を図-4に示す。土壌中の窒素量は, 植生侵入後, 数年間は樹木摂取量が大きく減少するが, 草本バイオマス量は樹木の陰影による影響が小さいため, 増加する。しかし, 樹木がある程度生長した段階では, 窒素摂取量 < 窒素供給量で土壌中の窒素量は微増するが, 樹木生長による自己間引きがあるものの, 生長した樹木の陰影等の影響により, 草本バイオマス量が減少する。

このように, 年々の草本・樹木群の生長諸元, 及び相互の影響を栄養塩循環モデルにより表現が可能となる。

(3) 洪水時の植生・樹木群抵抗変化のモデル化

a) 植生抵抗のモデル化

洪水中の植生抵抗は「植生の生長・遷移による植生高さの変化」, 「洪水期間中の水深と植生高の比の変化, 倒伏状態」により変化する。

これをモデル化するため, 図-5に示すように, 各メッシュで各時刻の水理量と植生高から抵抗を算出する方法を採用した。これにより, 洪水上昇期, 下降期における高水数粗度係数の変化が流況解析へ反映可能となる。

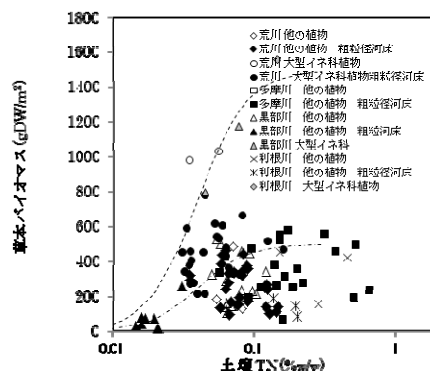


図-3 土壌TN濃度と草本バイオマスとの関係

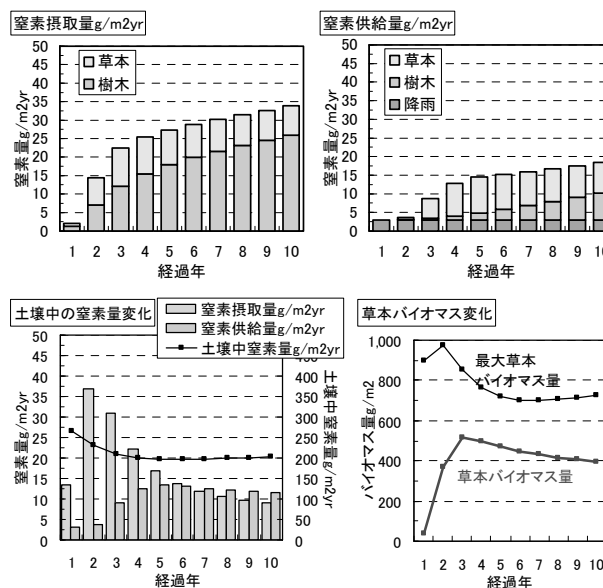


図-4 窒素量と草本バイオマス量の変化 (ヤナギ, DR_{60} 0.2mm)

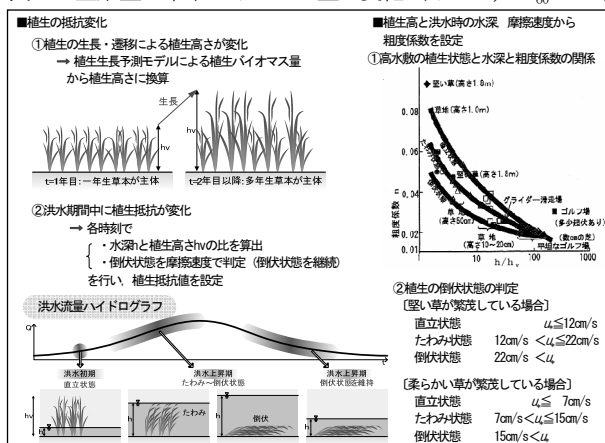


図-5 植生の抵抗変化モデルの概要

b) 植生・樹木群の侵入・遷移

植生・樹木群の侵入・遷移は, 基本的に『裸地→草本 (一年生草本が主) →草本 (多年生草本が主)』, 『裸地→草本+幼木→樹木生長 (自己間引きあり)』の流れで生じると考えられる。本解析モデルでは, 洪水による攪乱がなければ, 生長・遷移するとして各年の草本・樹木群の生長を解析する。

草本・樹木群の侵入条件は, 荒川熊谷地区の砂州での

観測結果等を踏まえ、平水位、融雪期水位、洪水水位をもとに設定する（表-2参照）。なお、高水敷が人為的な維持管理（グラウンド、ゴルフ場等）により植生遷移することが困難なエリアについては、現状維持とし、他の地被タイプに遷移しないものとする。

c) 植生・樹木群の流失・枯死

植生・樹木群は、洪水時の河床変動（洗掘・堆積）によって流失・枯死すると考えられる。本解析モデルでは、根の張り具合が異なるパイオニア的植生（一年生草本類が主体）と多年生草本で、流失条件を変更するモデルとする。なお、この洗掘深・堆積厚は、再現計算から最適値を設定するものとする。

樹木群については、浅枝らの荒川熊谷地区の砂州における樹木群調査結果⁴⁶⁾より、洗掘深と樹木群密度に一意的な関係が得られていることから、本検討モデルでは、洗掘深に応じた樹木群密度の減少をモデルに組み込むこととする。

3. 解析モデルの検証

(1) 対象地区の概要

荒川の熊谷大橋付近にある左岸砂州は、河口からおおよそ80k付近に位置し、河床勾配は約1/400、代表粒径は約30mmのセグメント1に属する。

航空写真による比較を図-6に示す。H11年の大規模洪水でほぼ裸地状態にあった砂州上に、H18年には植生・樹木群が繁茂し、水辺に近いエリアにヤナギが、比高が高いエリアにニセアカシアが繁茂している（図-7参照）。これが、大規模なH19.9洪水により、全体的に植生・樹木群の面積が減少した。一方で、比高が高い80.0k～82.0k区間の左岸側や熊谷大橋直下の砂州上の植生域は流失していない。また、80.0k地点の砂州頂上部のニセアカシアをはじめとした木本類も流失していない。

本論文では、この「大規模なH19.9洪水を対象にした水面形、河床変動、植生・樹木の流失の再現（短期検証）」と「大規模洪水後の砂礫堆を対象に、その後の植生・樹木群の侵入・定着状況を再現（長期検証）」を行い、開発した解析モデルの検証を行った。

(2) 解析モデルの検証（短期）

a) 解析条件

解析モデルは78.0k～81.2k区間を対象に構築した。上流端には寄居流量観測所のH19.9洪水流量ハイドログラフ（ピーク流量約4,600m³/s）を、下流端には準二次元不等流計算によるHQ関係式を設定した。高水敷の草本等による抵抗は、表-2に示す地被タイプ別に植生高を設定し、洪水期間中における水深と植生高の比、及び倒伏状態から設定した。樹木群は、調査結果からヤナギとニセアカシアの平均的な諸元を設定し、地被状況の平面的な

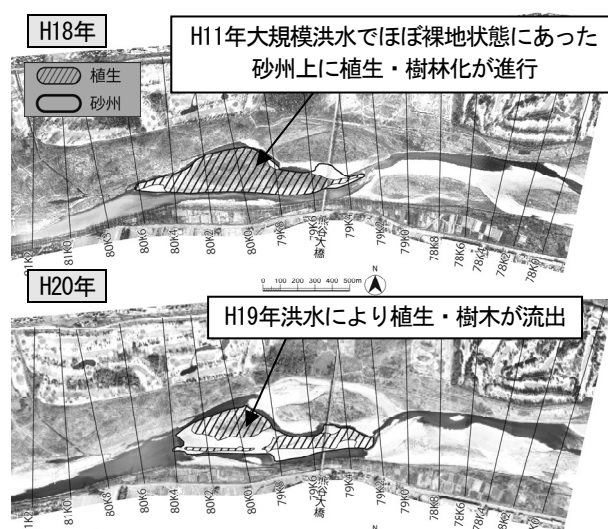


図-6 荒川熊谷地区砂州の経年的な変化



図-7 H19.9洪水前の木本類繁茂状況

表-2 砂州、高水敷の地被タイプの分類

分類	植生高さ・樹木諸元の生長	抵抗(粗度係数)	分類タイプ	植生・樹木侵入の条件
低水路	—	低水路粗度0.020	裸地	—
高水敷1 人工地 グラウンドゴルフ場	概ね0.1m未満 (現状維持)	0.025	人工地	人為的な維持管理により、現状維持 ※地被タイプ変化なし
高水敷2 田畑	概ね0.3m未満 (現状維持)	0.035	人工地	人為的な維持管理により、現状維持 ※地被タイプ変化なし
高水敷3 一年生草本 (低茎草本)	短期: 植生高0.45m 長期: 植生バイオマス量から換算	植生高と水深比、倒伏状態から設定	草地	平水位より上の河床に侵入 ※生固はTN、生長比率、日射、土壌条件による
高水敷4 多年生草本 (高茎草本)	短期: 植生高1.5m 長期: 植生バイオマス量から換算	植生高と水深比、倒伏状態から設定	草地	多年生草本エリアに遷移 ※生固はTN、生長比率、日射、土壌条件による
樹木1 ヤナギ	アロメトリ式で諸元設定	透過係数で設定	樹木	平水位～融雪洪水水位の水位間の河床に侵入
樹木2 ニセアカシア	アロメトリ式で諸元設定	透過係数で設定	樹木	前年の洪水ピーク水位～0.5mの河床に侵入

※植生・樹木群の生長、侵入は、短期検証では未考慮

分布をH18年航空写真から設定した。

検討ケースは以下の2ケースとし、植生・樹木群の流失が流況・河床変動に与える影響を検討した。なお、短期検証では、植生・樹木群の生長・侵入は未考慮である。

- ・ケース1：植生・樹木群の流失なし
- ・ケース2：植生・樹木群の流失あり

（洗掘・堆積による流失・枯死条件：0.15m）

b) 検証計算結果

図-8にH19.9洪水の計算ピーク水位と痕跡水位の比較図を示す。植生・樹木群流失がない場合（ケース1）、計算水位が痕跡水位よりも高く、再現性が劣る。一方、植生・樹木群流失を考慮した場合（ケース2）、計算水位がケース1よりも低くなり、痕跡水位と概ね一致する。

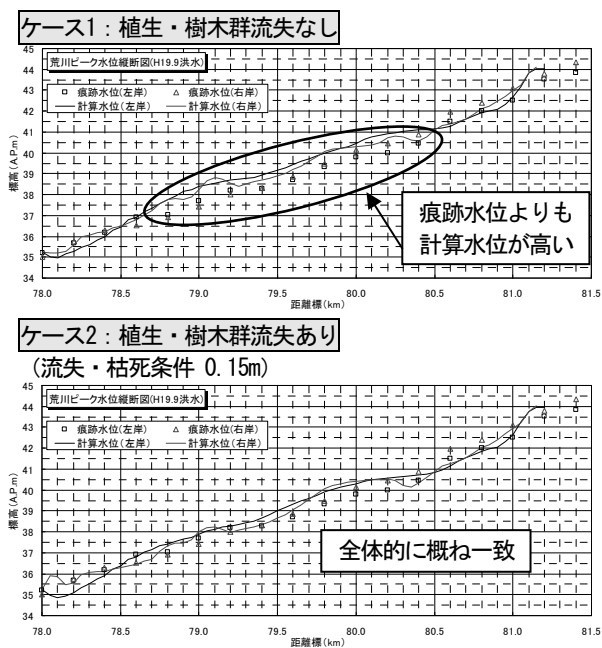


図-8 計算ピーク水位と痕跡水位の比較 (左右岸)

図-9に流速コンター図（ピーク流量時）を示す。植生・樹木群流失を考慮しない場合（ケース1），熊谷大橋上流の左岸砂州上に繁茂した樹木群等の抵抗により，砂州上の流速が減速され，低水路右岸に流れが集中している。また，熊谷大橋下流においても，右岸から左岸へ滯筋が変化する付近で流速が遅くなっている。一方，植生・樹木群流失を考慮した場合（ケース2），ケース1で流速が減速されていたエリアの植生・樹木群が流失したことで，流速が大きくなっている。

植生・樹木群の流失状況について，洪水ピーク時の粗度係数分布を図-10に示す。植生・樹木群流失については，熊谷大橋上流左岸の砂州上の植生・樹木群の流失や，熊谷大橋下流右岸砂州上の植生・樹木群の流失が再現できている。少し標高が高い熊谷大橋付近の左岸砂州上の植生・樹木群についても，実績と同様，計算結果は流失していない。ただし，砂州周辺においては，実績では流失（滯筋化）しているが，計算では植生・樹木群が残存している。これは，初期河床高作成において，砂州周辺の滯筋変化などの地形を精度高く作成できていないことが要因と考えられる。

以上のことから，植生・樹木群の流失を考慮した本解析モデルは洪水現象を再現できていると判断した。

(3) 解析モデルの検証（長期）

a) 解析条件

長期検証ではH12～H16年の流況を対象に，植生・樹木群の侵入・定着状況の再現を行った。洪水期の計算は，流量1,200m³/s程度以上を対象とし，植生・樹木群の侵入判定に使用する平水流量と融雪期流量は，それぞれ50m³/s，各年の4～5月最大融雪流量（ヤナギ種子散布時期を考慮）を設定した。

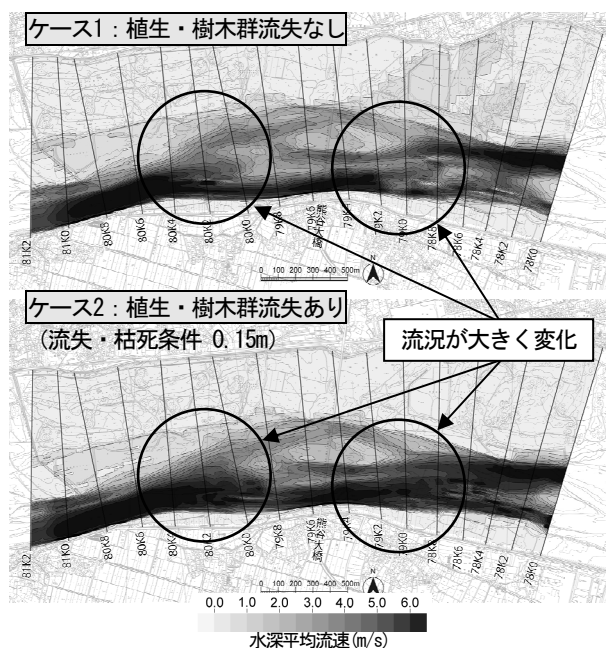


図-9 流速コンター図（ピーク流量時）

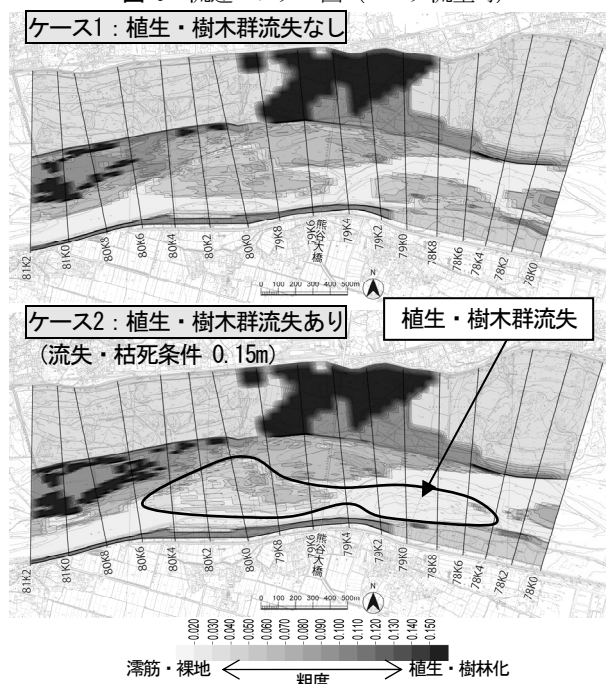


図-10 洪水ピーク時の粗度係数（草本類と木本類の流失状況）

砂州，高水敷地帯については，初期の平面的な地被タイプをH12年航空写真から設定した。その後の植生・樹木群の生長諸元，エリア拡大は，植生・樹木群生長計算による計算値を使用し，抵抗への換算は短期検証と同じ方法を用いた（表-2参照）。樹木群は，表-3に示すアロメトリー式⁶⁾から樹齢に応じた諸元を与え，栄養塩収支計算のパラメータは，現地観測結果をもとに得られた表-4に示す値を設定した。

検討ケースは，以下の3ケースである。

- ・ケース1：植生・樹木群の流失・生長なし
- ・ケース2～3：植生・樹木群の流失・生長あり
（洗掘・堆積による流失・枯死条件：0.15m）

表-3 樹木群のアロメトリー式

		ヤナギ	ニセアカシア	備考
胸高直径 (m)	A	0.0020	0.0009	樹齢との関係式 $DBH = A \cdot AGE^C$
	C	1.960	2.154	
樹高 (m)	A_H	7.257	13.364	胸高直径との関係式 $B = A \cdot DBH^C$
	C_H	0.328	0.380	
樹幹幅 (m)	A_B	19.419	15.527	
	C_B	0.814	0.609	
地上部バイオマス量 (kg)	A_{AG}	3.0126	3.2020	
	C_{AG}	2.073	2.003	
地下部バイオマス量 (kg)	A_{BG}	3.589.30	191.29	
	C_{BG}	2.40	1.34	
葉バイオマス量 (kg)	A_L	192.88	161.18	
	C_L	1.692	1.750	

表-4 栄養塩収支計算パラメータ

パラメータ	設定値
初期土壌中窒素量 (g/m ²)	275
降雨による窒素供給量 (g/m ² ・yr)	3.0
樹木内窒素含有率 (%)	地上部(葉以外) ヤナギ 0.364 ニセアカシア 0.584 地下部 0.891 1.362 葉 2.161 3.046
葉のリター分解率 (%)	0.24
初期草本バイオマス量 (g/m ²)	900
草本内窒素含有率 (%)	2.0
草本の分解率 (%)	0.33
草本バイオマス量を植生高さへの換算係数	0.003

b) 検証計算結果

長期検証計算結果について、草本類・木本類の侵入・拡大状況について、図-11に示す。

植生・樹木群の侵入・拡大状況は、水際部へのヤナギ繁茂は表現できているが、滞筋部において、実績よりも拡大傾向にあるため、今後、改善を図っていく必要がある。ニセアカシアは、実績において砂州上でも標高が少し高いエリアに繁茂している。計算結果も、熊谷大橋付近の左岸砂州上において、ニセアカシアが侵入・定着しており、繁茂エリアの再現は概ねできていると考えられる。

植生・樹木群流失・生長の有無による河床変動への影響について、長期検証後の河床変動量コンターを図-12に示す。栄養塩循環を付加し、植生・樹木群の生長・拡大を考慮した場合、熊谷大橋上流の右岸滞筋の河床低下や熊谷大橋付近の土砂堆積傾向が強く現れ、植生・樹木群流失・生長なしの結果よりも実績に近い結果である。

4. おわりに

植物を介した土壌栄養塩動態モデルを付加した河道地形変動予測モデルを開発し、草本・樹木群の生長・拡大が洪水流や河床変動に与える影響を解析した。また、植生拡大が進む砂州において、冠水するが草本が流失しないような出水が発生した場合は、栄養塩循環の観点から、樹林化が促進する可能性が示唆された。

しかしながら、現段階では、植生・樹木群の繁茂エリアの侵入・拡大に関する解析に課題があり、河床変動特性の再現性が劣る区間がある。今後は、樹木群流失条件、植生・樹木群の侵入・定着条件、土壌栄養塩収支に関わるパラメータ等の改良を行い、精度向上を図っていく。

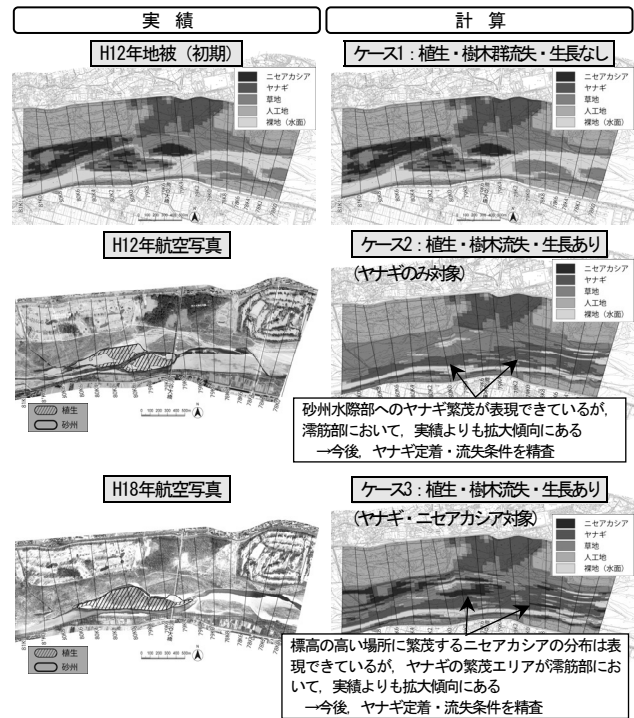


図-11 砂州上の地被タイプの再現結果(草本類と木本類の拡大)

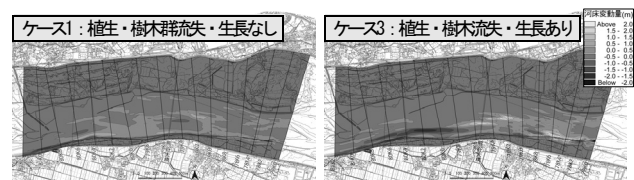


図-12 初期河床からの河床変動量コンター図(長期計算後)

参考文献

- 1) T.Asaeda, M.B. Baniya, & Md.H.Rashid : Effects of floods on the growth of Phragmites japonica on the sediment bar of regulated rivers: a modelling approach. International Journal of River Basin Management, Vol.9, pp.211-220, 2011.
- 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.20-33, 2003.
- 3) 八木剛嗣, 田中規夫: 河道内植生の洪水による破壊・再生を考慮した植生動態モデルの開発, 水工学論文集第53巻, pp.1171-1176, 2009.
- 4) T.Asaeda, P.I.A.Gomes, K.Sakamoto, & Md.H.Rashid : Tree colonization trends on a sediment bar after a major flood. River Research and Applications. Vol.27, pp.976-984, 2011.
- 5) Asaeda, T., Siong, K., Kawashima, T., & Sakamoto, K. : Growth of Phragmites japonica on a sandbar of regulated river: Morphological adaptation of the plant to low water and nutrient availability in the substrate. River Research and Applications. Vol.25, pp.874-891, 2009.
- 6) T.Asaeda, P.I.A.Gomes, & E.Takeda : Spatial and temporal tree colonization in a midstream sediment bar and the mechanisms governing tree mortality during a flood event. River Research and Applications, Vol.26, pp.960-976, 2010.
- 7) T.Asaeda, Md.H.Rashid, S.Kotagiri, & T.Uchida : The role of soil characteristics in the succession of two herbaceous lianas in a modified river floodplain, River Research and Applications, Vol.27, pp.591-601, 2011.

(2012. 4. 5受付)