

流量変動を考慮した確率過程モデルによる河道内樹林の消長解析

神戸大学大学院 学生員 ○盛岡淳二, 正会員 宮本仁志  
 明石工業高等専門学校 正会員 神田佳一, 学生員 魚谷拓矢  
 神戸大学大学院 フェロー会員 道奥康治, 学生員 大地洋平, 阿河一穂

1. はじめに

河道内の過度の樹林化は、出水時の通水能低下に伴う水位上昇や流木被害の原因になり、治水上の様々な障害をもたらす。一方、樹林は沿川の生態系の生息空間としての環境機能も有する。河川の治水・環境機能のバランスに留意した適切な樹林管理が必要である。本報では、流量の確率過程と樹木の生長特性を考慮した河道内樹林の消長モデルを構築し<sup>1)</sup>、流量変動に伴う樹林帯の動態変化を解析した。

2. 河道内樹林の動態予測モデル

図1に時刻  $t$  における樹径  $d$  の樹木分布密度  $n(d,t)$  を記述する数理モデルを示す。樹木の成長、種子散布による新規参入、出水による樹木の倒伏を考慮することにより、分布密度  $n(d,t)$  の経時変化が次式のように定式化される<sup>1),2)</sup>。

$$\frac{\partial n}{\partial t} = - \frac{\partial(g \cdot n)}{\partial x} + Jd_{min} - D \cdot n \quad (1)$$

ここで、 $g$  : 樹径  $d$  毎の平均成長速度、 $Jd_{min}$  : 稚樹新規参入フラックス、 $D$  : 樹木死亡率である。本報では、植生観測を実施中の加古川試験区間で繁茂するヤナギ類を対象としている。

樹木死亡率  $D$  は出水による倒伏モーメント  $M$  の制御関数として次式で与えられる。

$$D = \frac{M/M_C}{k + M/M_C}, \quad M = \frac{1}{2} \rho C_D h^2 v^2 \quad (2)$$

ここで、 $k$  : 死亡率制御パラメータ、 $M$  : 樹木に作用する倒伏モーメント(kN・m)、 $M_C$  : 樹木固有の限界倒伏モーメント(kN・m)、 $h$  : 水深(m)、 $v$  : 流速(m/s)、 $\rho$  : 流体密度(kN/m<sup>3</sup>)、 $C_D$  : 樹木の抗力係数(=1.2)である。樹木死亡率  $D$  は、日平均流量  $Q$  に関するショットノイズモデル<sup>3)</sup>から得られた流量時系列を利用して求める。モデルパラメータは加古川の当該区間における日平均流量の実績値を用いて同定された。得られた  $Q$  とマニ

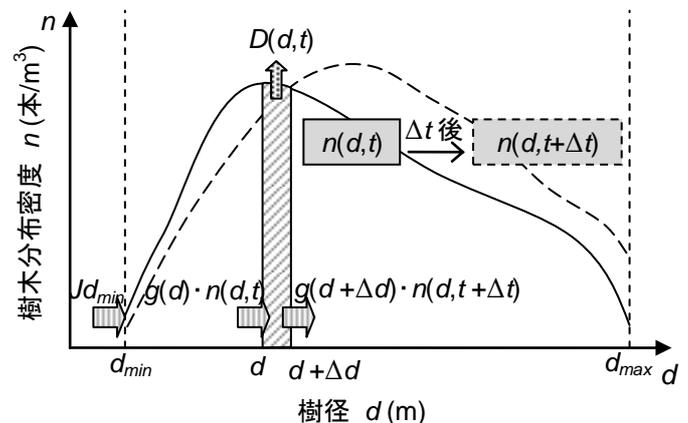


図1 動態予測モデルの概要

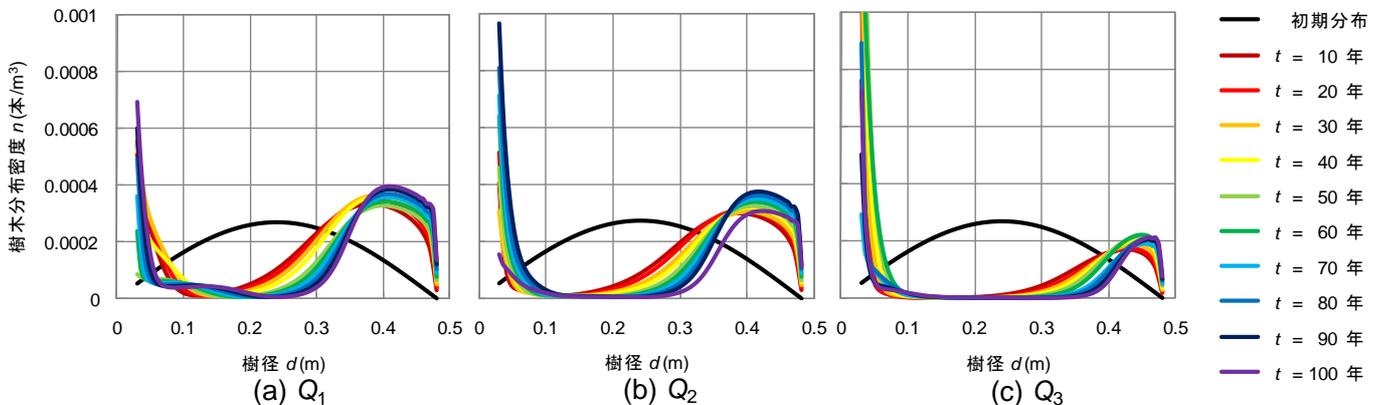


図2 樹林分布密度の経時変化(樹木死亡率のパラメータ  $k=6$ )  
 (a) :  $Q_1$ , (b) :  $Q_2$ , (c) :  $Q_3$

キーワード：河道管理, 樹林化, 消長解析, 流量変動, ポアソン過程, モンテカルロ法

連絡先：〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 宮本仁志 miyamo@kobe-u.ac.jp

ングの平均流速公式から水深  $h$ , 流速  $v$  を求め, 式(2)によって樹木死亡率  $D$  を算出する.  $M_C$  は過去の樹木引き倒し試験結果<sup>4)</sup>を参考にしいて求めた. 本報では, 式(2)のモデル定数  $k$  を変化させることによって樹林消長に対する死亡率の影響を感度分析するとともに, 流量規模を規定するパラメータを変化させて流量変動の影響を検討する. なお, 平均成長速度  $g$  と稚樹新規参入量  $Jd_{min}$  のモデル化に関しては前報<sup>1)</sup>に詳述している.

### 3. 解析結果および考察

図2に本モデルで得られた樹木分布密度  $n(d,t)$  の経時変化を示す.  $Q_1, Q_2, Q_3$  はショットノイズモデルで与えられる流量規模を実績値のそれぞれ 1.0, 1.1, 1.2 倍に設定したものである. 樹木分布密度の初期値は加古川の現地観測データを正弦関数で近似して与えた. 樹木死亡率の制御関数中の死亡率制御パラメータについては  $k = 6$  とした. 図2に示すように樹径の小さい樹木は出水による減少と新規参入・成長による増加を繰り返す. 一方, 太い樹木は流水耐荷力が大きいために出水においても流亡せず, 時間経過とともに平衡状態へと漸近する.  $Q_1$  から  $Q_3$  へ流量が増加すると, 樹木死亡率が大きくなり全体的に分布密度が小さくなる. また, 砂州上に空きスペースが頻繁に形成され新規参入が活発である.

次に, 樹木死亡率の制御パラメータ  $k$  を変化させて各  $k$  についてモンテカルロシミュレーションを行った. 図2に示すような樹林動態シミュレーションを  $k$  ごとに 5000 回実施し, 砂州上に占める樹林面積が  $r\%$  以下になる非超過確率  $P(r)$  を評価した. 図3に結果を示す. これより,  $k$  が減少すると  $P(r)$  が増加し, 樹木は出水のたびに流亡して定着しにくいいため裸地が形成される. 一方,  $k$  が増加すると  $P(r)$  が減少し, 樹林化の進行する確率が高くなる.  $P(r)$  の分布特性は  $r$  とともに変化し,  $r$  が大きいほど死亡率  $k$  に対する応答は低い. 以上より本報では, 樹林面積率  $r$  が 50% 以上になる場合を「樹林化」, 5% 以下になる場合を「裸地化」と定義し, 両者が平衡する確率を  $\Delta P = (P(50) - P(5))$  によって評価した.

図4に流量変動にともなう  $\Delta P$  の変化を示す.  $\Delta P$  が大きいほど出水攪乱と樹林成長がバランスし, 適切な河道環境を維持するための樹林管理は省力的になると考えられる. 図4より, 流量規模が  $Q_1$  から  $Q_3$  へと増加することによって  $\Delta P$  の最大値  $\Delta P_{max}$  とその分散がともに増加する. したがって, 流量規模が大きくなれば樹林/裸地のいずれにも偏らない環境平衡状態が実現する可能性が高まる. 一方, ダム・堰などの流量制御が樹林化の一因ともいわれており, ここでの検討からも流量規模の減少とともに  $\Delta P_{max}$  やその分散が減少して, 樹林/裸地に二極化する傾向が示される.

### 4. おわりに

本報では, 樹木死亡率や流量規模を変化させて河道内の樹林消長に関する確率評価を行った. 今後, 樹林抵抗をモデル化した流動解析を本報の樹林動態モデルに組み込み, 出水時水位と樹林消長を陽に評価可能な統合モデルを開発する予定である.

【参考文献】 1)盛岡他: 確率過程による河道内樹林の動態予測モデル, 平成22年度土木学会関西支部年次学術講演会, CD-ROM, 2010. 2)Takada, T. and Iwasa, Y.: Size distribution dynamics of plants with interaction by shading, *Ecological Modeling*, No.33, pp.173-184, 1986. 3)Weiss, G: Shot noise models for the generation of synthetic streamflow data, *Water Resources Research*, Vol.13, No.1, pp.101-108, 1977. 4)リバーフロント整備センター: 河川における樹木管理の手引き, 山海堂, 204p, 1999.

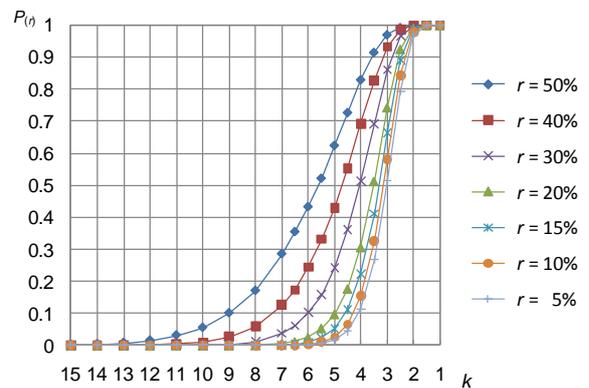


図3 樹林面積と死亡率の関係 (流量:  $Q_1$ )

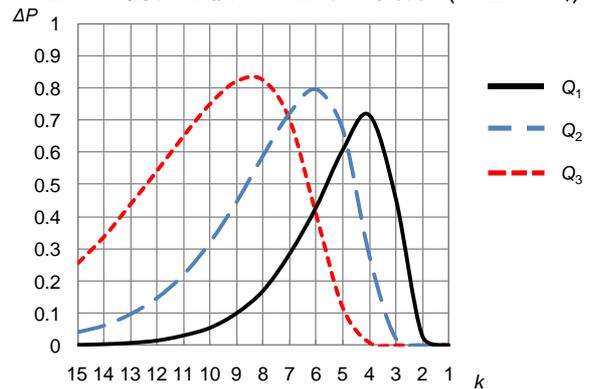


図4 流量変動による  $\Delta P$  の変化