

# 双台河口湿地（中国）の灌漑葦原における土壌塩分の季節変化

東京工業大学 石川忠晴、林倩、赤穂良輔  
大連理工大学 楊鳳林、張樹深

## 1. はじめに

渤海湾に注ぐ遼河の河口デルタにある双台河口湿地（128,000ha）は豊かな自然生態系を持ち国家自然保護区に指定される一方、80,000haに及ぶ葦原（世界最大）では地場の製紙産業の原料が採取されている。葦から作られるパルプは非木材パルプの中でも繊維質に富み、また再生も速いので、環境に優しい製紙資源といえる。このような湿地の利用と管理は、自然環境保全と地域経済発展を両立するモデルであると考えられる。ただし河口湿地では地下水に含まれる塩分が葦の成長を阻害するため、品質向上のために灌漑が必要となる。しかし現在の灌漑方法は多分に経験的であることから、筆者らは大連理工大学と共同して、現地観測と数値モデルシミュレーションにより、土壌塩分低下に必要な灌漑水量について考察した。



図-1 遼河河口の位置

## 2. 研究サイト

双台河口湿地は12月から4月まで凍結している。降水量は7月、8月に集中するが、葦の成長期は5月下旬から7月下旬であるため、前半の水量が不足気味となる。そこで4月の予備灌漑で表層土壌を融解した後、5月からの本灌漑により土壌塩分を低下させる。それ以降は、水田等の他の水需要を優先し、葦原の状態は降雨と蒸発散による自然任せとする。8月中旬に排水門を開き水位を低下させるが、8月～10月にはまだ降雨があるため地表は湿潤・乾燥を繰り返すので、葦の刈り取りは地表面が凍結する12月に行われる。

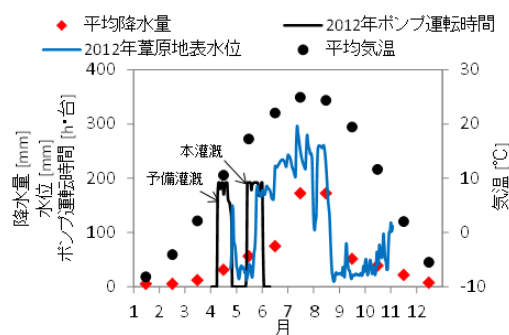


図-2 双台河口湿地の年間状態変化

## 3. 現地観測

(1) 葦原の1区画の隅に塩分計と水位計を設置し湛水の状態変化を記録した。(2) 8月の排水後に灌漑区域と非灌漑区域において葦の成長度を計量するとともに表層土壌を採取して塩分状態を分析し、両者の相関を調べた。(3) 湿潤・乾燥が繰り返される9月にSentek社製TriSCANにより土壌水分鉛直分布の変化を計測した。(4) 地盤が凍結する前に土壌カラムを採取し、粒度分布と葦の根茎の鉛直分布を分析した。

(2), (3), (4)の主要な結果を以下に示す。葦は土壌が高塩分になるほど成長しなくなるが、特に5~6%で急激に低下する(図-3)。地表面の乾湿による土壌水分量変化は、主に表層30cmで生じる(図-4)。土壌から水分等を吸収する毛細根は土壌の表層20cmに集中している(図-5)

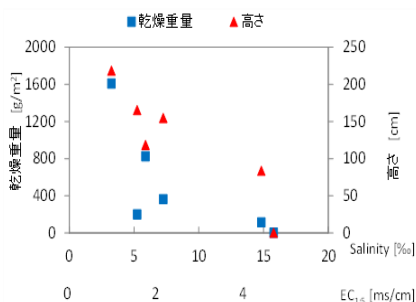


図-3 葦の成長への土壌塩分の影響

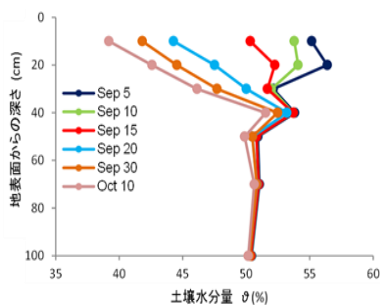


図-4 土壌水分変化の鉛直分布

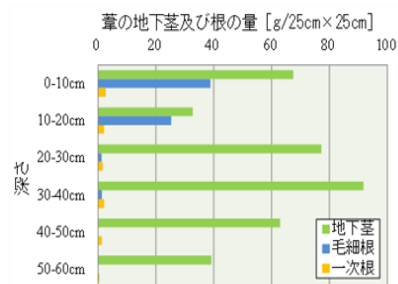


図-5 葦の毛細根の鉛直分布

#### 4. 塩分モデルの構築と検証

前頁の観測結果に基づき、土壌塩分変化について図-6に示す3層モデルを考えた。表層土壌 ( $0 < Z < Z_1$ ) の塩分は鉛直一様 ( $S_0$ ) と仮定し、その値は灌漑によって変化するとした。水分が移動しない深層 ( $Z > Z_2$ ) の塩分は一定 ( $S_i$ ) とし、中間層 ( $Z_1 > Z > Z_2$ ) では線形に変化すると仮定した。地表面での塩分の移動には表層水と土壌表層の塩分差 ( $S_w - S_0$ ) に比例する拡散成分と、葦の根茎の吸収により生じる移流成分 ( $q$ : 地表面から地中への浸透量に等しい) を考慮した。土壌及び表層水の水分と塩分の収支は以下の式で記述される。

$$\sigma_w = h \cdot S_w \quad (1) \quad d\sigma_w / dt = F_s - S_w Q_{out} - S_w q \quad (2)$$

$$d\sigma_s / dt = -F_s - q(S_0 - S_w) \quad (4) \quad F_s = \alpha(S_0 - S_w) \quad (5)$$

ここに  $h$  と  $\sigma_w$  は表層水の水深と総塩分量、 $Q_{out}$  は葦原単位面積当たりの排水速度、 $\sigma_s$  は変動領域 ( $0 < Z < Z_2$ ) の総塩分量、 $n$  は土壌空隙率、 $F_s$  は地表面塩分拡散の速度、 $\alpha$  は速度の次元を持つ経験定数、 $P$  は降雨強度、 $E$  は蒸発速度、 $r$  は葦の葉による降雨遮断率である。

図-7に  $\alpha = 1.2 \text{ mm/day}$ 、 $q = 0.6 \text{ mm/day}$  とした場合の表層水塩分の計算結果 (緑) と観測結果 (青) を比較する。降雨 (青棒) があると希釈により塩分は低下し、晴天日が続くと蒸発により濃縮される。計算値と観測値は概ね一致している。図中の赤線は初期の表層土壌塩分  $S_0$  を 6% と仮定した場合の  $S_0$  の減少傾向を示している。6月初旬に成長無害濃度である 5% 以下となっていることがわかる。

#### 5. 必要灌漑水量の検討

観測地近傍の盤錦市における12年間の降雨記録から、6月と7月の生起確率 1/10 (少雨)、1/2 (平年)、9/10 (多雨) の2か月降雨量を求め、現地観測を行った年の日降雨量を伸縮させ、前章のモデル検証と同じ方法により灌漑の効果を見積もった。

図-8は初期水位を基準とした水位変動の計算結果である。平年降雨の場合は初期水位がほぼ維持され、少雨の年でも水位低下量は 10cm 以内である。つまり水量的観点からすると、少雨の年でも 10 cm の灌漑初期水深で十分であると言える。

一方、土壌塩分低下という観点からすると、降雨量が増加する7月以前が問題となるので、灌漑初期水深と7月1日時点での表層土壌塩分の関係調べた (図-9)。初期水深が大きいほど土壌からの塩分溶脱が促進されるが、その程度は少雨、平年、多雨で大きく変わる。この計算結果から、少雨の年 (生起確率 1/10) でも 21 cm の灌漑初期水深があれば7月1日時点の塩分は 5% になると考えられた。

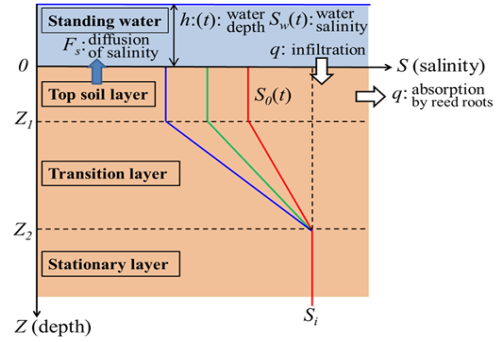


図-6 土壌塩分変化のモデル

$$\sigma_s = n[S_i Z_2 - 1/2(S_i - S_0)(Z_1 + Z_2)] \quad (3)$$

$$dh / dt = (1 - r)P - (E + q) - Q_{out} \quad (6)$$

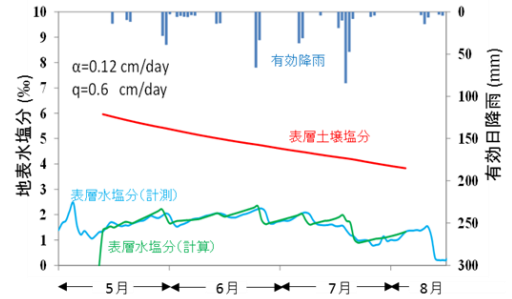


図-7 表層水塩分の観測地との比較

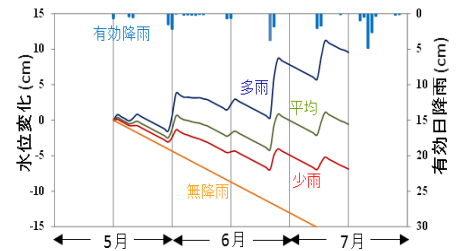


図-8 降雨条件による葦原の水位変化

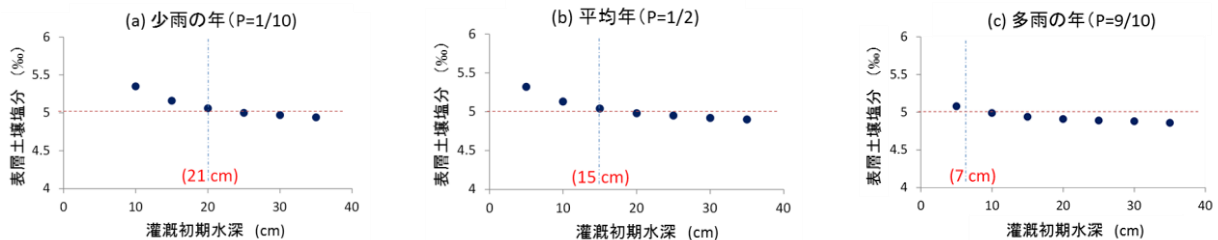


図-9 7月1日時点で表層土壌塩分が5%以下となるために必要な灌漑初期水深