

釧路湿原における水・土砂動態に対する 二次元洪水氾濫解析の適用

APPLICATION OF TWO DIMENSIONAL FLOOD ANALYSIS TO THE DYNAMIC OF WATER AND SEDIMENT IN THE KUSHIRO MIRE

林 誠二¹・村上正吾²・亀山 哲³・渡辺正孝⁴

Seiji Hayashi, Shogo Murakami, Satoshi Kameyama and Masataka Watanabe

¹正会員 工博 国立環境研究所水圏環境研究領域主任研究員 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

²正会員 工博 国立環境研究所流域環境管理プロジェクト総合研究官 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

³正会員 農博 国立環境研究所環境管理プロジェクト研究員 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

⁴正会員 Ph.D. 国立環境研究所水圏環境研究領域長 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

River channelization and agricultural development have been gradually shrinking the Kushiro Mire that is the largest wetland in Japan, mainly by supplying suspended sediment. The objective of this study is to develop and apply the two-dimensional flood model for wetland based on the shallow water theory, including fine suspended sediment transport process. The model was adapted to the part of Kushiro Mire where the Kuchoro River flows.

For both the spatial distribution of the inundated area and the suspended sediment concentration, the results simulated by the model showed the good agreement with the distributed maps obtained from the spectral mixture analysis using TM LANDSAT image. However, the digital elevation model used in this study probably has so low accuracy that the fluctuation of water level during flood was not simulated at the inside area located away from the river bank except for the peak value and timing of flood peak.

Key Words : two-dimensional flood analysis, leap-frog scheme, wash load, turbid water, hydraulic resistance

1. はじめに

湿原は水と物質の緩衝帯として森と海とを結ぶ役割をもち、高い生産性からも重要性が認識されている。一方、周辺域の開発は湿原域を巡る水・物質循環のバランスを崩し、その環境を破壊している。これは日本最大の湿原である釧路湿原も例外ではなく、1970年代に29,084haあった面積が、国立公園の指定を受けた1985年には18,290haにまで減少した¹⁾。この主要因として、これまでの湿原と周辺域を対象とした農地開発が挙げられる。現在、農地化事業は停滞しているものの、農地整備のために明渠排水路として直線化され、疎通能力の向上した湿原周辺域の河川が、今もなお、融雪時や台風による出水時に上流域で生産された土砂を湿原内部にまで運んでいる。このような土砂の流入と堆積は、植生分布にも大きな影響を与えていることが指摘されており²⁾、従来、ヨシやスゲが優占していた湿原内部にまでハンノキ林がその分布を広げ、乾燥化した河岸付近ではヤナギ類(*Salix* spp.)の侵入が顕著である。今後、土砂の流入によりさらに陸地化が進行する恐れがあり、湿原が保持している多様な機能を保全する手法が求められている。

これに対する具体的な手法の一つとして、湿原へ流入した水・土砂の動態を定量的に把握し得る、2次元洪水氾濫数値モデルの開発と適用が挙げられる。水系土砂動態モデルとの組み合わせにより、河川改修と湿原の乾燥化や植生遷移との因果関係をより明確に捉え得るとともに、上流部での砂防ダム建設や河川の再蛇行化等、保全対策の具体的な効果の事前検討が可能となる。2次元の洪水氾濫解析に関しては、堤外地での河床変動や、植生の流れへの影響等に関する研究^{3)~5)}、災害対策としての市街地を対象とした洪水氾濫に関する研究⁶⁾が行われており、多くの知見が集積されている。一方、湿原を対象として洪水氾濫解析を行った研究は、国内でほとんどなく、海外でも僅かにある程度である。また、洪水氾濫モデルを利用して、空間的な水位変動や土砂堆積と植生の変化を関係付ける試みも皆無に等しい。

以上より本研究では、釧路湿原において陸地化が最も顕著に生じたとみられる地域の一つである久著呂川湿原流入部を対象に、これまでの知見に基づいて出水時における水・土砂の2次元洪水氾濫現象のモデル化を行った。さらに、水位観測値や衛星データの解析値を用いて計算結果の検証を行ったので、ここに報告する。

2. 対象領域

(1) 概要

図-1 に、氾濫計算の対象となる釧路川水系久著呂（クチョロ）川下流の直線化部分とその下流に位置する釧路湿原を示す。図中の四角で囲まれた部分が計算の対象領域であり、その大きさは、タテ（南北方向）8.32km、ヨコ（東西方向）8.25km である。河川の直線化部分は湿原を農地へ転用するための開発事業の一環として1966年に設置された全長1.63kmの明渠排水路である。この排水路末端部の河道閉塞に起因する氾濫が主に融雪期と台風時に確認されており、氾濫に伴い湿原内部への土砂流入・堆積により生じた土壌環境の変化が、湿原植生の遷移を引き起こしている、と指摘する報告もされている⁷⁾。

(2) 領域の数値化

対象領域の数値標高データは、国土地理院発行（1992年）の2万5千分の1地形図、図名「下久著呂」、「細岡」を基に北海道地図株式会社で作成した10mメッシュ標高データを用いた。なお、氾濫水域境界部分で生じる水深の打ち切り誤差による影響の抑制と計算時間の短縮との兼ね合いから、このメッシュサイズを選択した。明渠排水路及び湿原内河道網については、地形図からディジタイザーで読み取った位置情報のベクターデータを、地理情報システムArc/Infoにより10mメッシュのグリッドデータに変換して用いた。河道断面は便宜的に矩形とし、河床高については、明渠排水路取付け作業時の記録や亀山による観測結果⁸⁾ならびに上記の標高データを基に設定した。また、流路幅は踏査結果を基に、明渠排水路及び排水路末端部下流約600mまでの区間を20m、それ以降の区間を10mとした。

3. 2次元濁水氾濫モデル

(1) 洪水氾濫モデル

事前に行ったオーダー解析結果を踏まえ、洪水氾濫数値計算の支配方程式として、以下に示す浅水長波の式を用いる。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial (uM)}{\partial x} + \frac{\partial (vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial (z_b + h)}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial (uN)}{\partial x} + \frac{\partial (vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial (z_b + h)}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} \quad (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

$M(=uh)$, $N(=vh)$: x, y 方向の単位幅流量フラックス,
 u, v : x 方向, y 方向流速, t : 時間, h : 水深, z_b : 河床高,
 τ_b : 底面せん断応力, g : 重力加速度, ρ : 水の密度である。
 摩擦による抵抗項は Manning の抵抗則を用いて表示する。上式において変数は staggered スキームで配置する。移流項の離散化は一次精度の風上差分とし、時間に関し

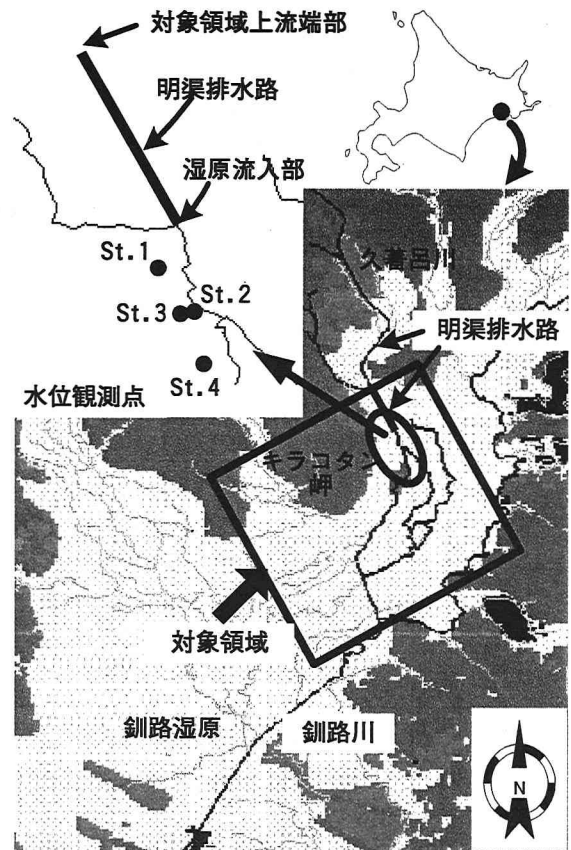


図-1 対象領域（釧路湿原久著呂川流入部）

ては前進差分を用い、leap-frog 的に計算を進める⁹⁾。

(2) Wash load の流下過程

Nakamura¹⁰⁾の現地観測から、年間を通じて対象領域への流入土砂成分の90%以上が wash load であることが示された。よって、ここでは wash load のみを対象とし、濁水中の微細粒子の拡散、堆積過程の検討を行う。なお、wash load は河床との交換がない流砂と定義されるが、本研究で対象としている流れが滞留しているほぼ水平な下流区間、湿原においては路床に堆積している微細粒子との交換を考慮する必要があることから、以下に示す移流拡散方程式及び河床連続式を用いる。

$$\frac{\partial (\bar{c}h)}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{c}uh)}{\partial x} + \frac{\partial (\bar{c}vh)}{\partial y} = P_m - w_0 k \bar{c} + \frac{\partial}{\partial x} \left(h D_x \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h D_y \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} (P_m - w_0 k \bar{c}) = 0 \quad (5)$$

ここで、 $\bar{c}$: 水深平均化された微細土砂濃度,

D_x, D_y : x 方向及び y 方向の移流分散係数 ($=5.86hu^*$),

u^* : 摩擦速度, P_m : 単位時間当たりの河床からの飛出量,

w_0 : 砂粒子の沈降速度, k : 底面濃度分布補正係数,

λ : 空隙率である。

微細粒子の代表粒径については、図-2 に示した出水時の明渠排水路末端部で採取した wash load と、出水後の

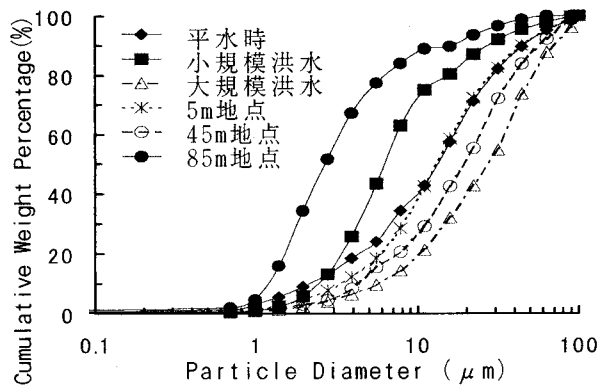


図-2 河川水中の浮遊砂および河川横断方向における堆積土砂の粒度分布（観測点：河川明渠排水路末端部、横断断面方向末端部より150m下流点）

河岸堆積土砂、それぞれの粒度分布を参考に、本計算では $d_{50}=20\mu m$ を採用した。また、河床への沈降フラックスに関わる底面濃度は Lane-Kalinske 型分布を仮定し、水深平均値と式(6)で関係付け、砂の沈降速度 w_0 は Rubey の式で評価した。

$$k = \beta / (1 - \exp(-\beta)) \quad (6)$$

$$\beta = 15 \cdot w_0 / u_* \quad (7)$$

河床からの巻き上げフラックスの算定方法については、bed material load を対象に様々な評価式が提言されているが、本研究で対象としている $d_{50}=20\mu m$ 程度の巻き上げ量についての知見はない。対象とする微細土砂は、通常滞留域に含水比が大きく、液性限界を越した状態で存在しており、湖沼やダムに堆積した底泥の巻き上げ量として評価するのが適当と判断される。単位時間当たり、単位面積当たりの河床から巻き上がる底泥の質量 P_m の算定方法については、Otsubo ら¹¹⁾が提案した理論式を近似した以下の式より求めた。

$$P_* = \frac{\eta}{\rho_0 d_0 \tau_b} P_m \quad (8)$$

$$= 0.75 [1 - 0.35 / (\tau_b / \tau_{c2})]^{3.0}$$

ここで、 P_* :底泥の無次元飛び出し率、

τ_{c2} :底泥の破壊限界 (N/m^2)、 $\rho_0 d_0$:飛び出し時の底泥の代表密度及び代表粒径、 η :底泥の粘度 ($Pa \cdot s$) である。

なお、本研究では微細土砂濃度を重量濃度として取り扱った。

(3) 湿原域における粗度の推定

氾濫原である湿原域における植生は氾濫水の流れに対する抵抗力となるだけでなく、流送土砂の挙動にも大きな影響を及ぼす。対象領域では、前述の通りハンノキ林の広範囲にわたる分布が確認されているが、新庄ら⁷⁾の調査からその密生度は $1m^2$ 当たり 0.1 個体、平均胸高直径 0.13m 程度であり、流体の単位体積当たりに占める植生の流れへの投影面積 γ は $0.012 (m^2/m^3)$ と小さく、流れに対して大きな抵抗力をもつとは考え難い。一方、林床の植生は、流路に近接する部分でヨシ群落が発達し、湿原内域では

発達したスゲ類叢株が分布するヨシースゲ類群落が優占している。対象領域ハンノキの林床部で測定されたヨシの密生度は約 $100 \text{ 本}/m^2$ と高く、対象域での流れに対する抵抗力として林床の草本植物の影響が大きいと考える。また、ヨシやスゲ等の草本植物は冬期に倒伏、あるいは立ち枯れするため、同じ規模の出水であっても融雪期と秋期の台風によるものとは、湿原内へ氾濫した水・土砂の流動は大きく異なることも予想される。このような植生の季節変化を流れに対する抵抗力として考慮する必要性から、植生の空間分布、季節変化を Manning の粗度係数の時空間変化として表す手法を用いた。植生の空間分布に関しては、対象域についての詳細なハンノキ林床部の植生分布が明らかでないことから、ヨシ群落を代表植生とした。時間的変化については、融雪期 (3月~5月) と非融雪期の二つに大きく分けて、融雪期については、立ち枯れや倒伏した草本植物が不規則に分布する状態を粗度として数値化する手法を現時点で見出せなかったため、Chow¹²⁾が作成した資料を基に $n_t=0.05$ を使用した。非融雪期については福岡ら^{5), 13)}が提案した以下の式を用いて植生効果を含む湿原域の粗度係数を求めた。

$$n_t = \sqrt{n_b^2 + \frac{C_D}{2g} \gamma^{4/3}} \quad (9)$$

ここで、 n_t :植生効果を含む粗度係数、

n_b :地表面粗度を表す Manning の粗度係数、

C_D :バルクの抗力係数、 $\gamma (=D/s^2)$:単位体積当たりの植生の流れへの投影面積、 D :ヨシの直径 ($=8mm$)、

s :隣合うヨシの中心間隔 ($=0.1m$) である。

本研究では、地表面粗度として融雪期の値と同じく $n_b=0.05$ とした。また、ヨシ単体を剛体と見なし、流れに伴う変形による振動や揺動の影響は考慮していない。抗力係数 C_D に関しては、ヨシ群落全体が流れに与えるバルクの値を与える必要がある。Nepf¹⁴⁾は植生を剛体と見なした場合、単位体積当たりの植生の流れへの投影面積 (γ) と植生直径 (D) の積の増加に伴い、バルクの抗力係数が低下することを実験的に示した。本研究ではヨシの分布を格子状と仮定し、この結果に基づき設定した γ と D からバルクの抗力係数 C_D を求めた (直径 $8mm$ 、密生度 $100 \text{ 本}/m^2$ の場合、 $C_D=1.10$)。

(4) モデルの検証

a) 氾濫水域分布

出水による実際の湿原内の冠水域分布を抽出するために、山形ら¹⁵⁾が開発した植生-土壌-水指数 (VSW: Vegetation Soil Water Index) による水域の抽出手法を用いた。衛星画像データの各ピクセルについて、赤バンドにおける反射率を横軸に、近赤外バンドにおける反射率を縦軸にプロットすると、通常、三角形の領域が現れる。この手法は、三角形の各頂点は植生、土壌、水のエンドメンバーに対応すると仮定し、各ピクセルについてプロットした点から三角形の各辺に下ろした垂線の長

さ線分をそれぞれ植生、土壌、水の指数と定義することによって、ピクセル毎に3情報を同時に抽出する。本研究ではこの手法の適用に当たり、計算グリッドとの対応から衛星画像の空間分解能は高いほうが望ましいと判断し、ランドサット TM (空間分解能約 30m) を選択した。

なお、本手法による冠水域分布計算結果の検証は、下記の水位観測を行った 1997 年に同期させて実施することが望ましかったが、晴天時とランドサット TM の周期が合致せず解析に見合う画像データが取得出来なかった。このため、晴天時の画像データが取得できた 1994 年 5 月 17 日 10:00 を対象に、別途氾濫計算を実施し画像解析より求めた冠水域分布との比較を行った。

b) 水位変動

筆者らは対象領域における水位変動を把握するため、図-1 (拡大図) に示した 4 地点にそれぞれ水位計 (RMD-5225A, 離合社) を設置し、冠水深の連続測定を行った。St.1 は最上流に位置し右岸横断方向に約 120m の地点に設けた。St.2 は右岸より横断方向に約 10m の地点に設けた。また、St.2 の延長上で河岸より約 80m の地点に St.3 を設置した。St.4 は最下流に位置し、右岸横断方向に約 100m の地点に設置した。測定期間は 1997 年 5 月 22 日から同年 10 月 29 日までで、測定間隔は 10 分間である。各水位計設置時に GPS から求めた緯経度情報と GIS を用いて、各設置点に対応する計算領域のグリッドを抽出し、水位算定結果と観測値との比較を行った。

c) 濁水分布

Kameyama¹⁶⁾らは湿原の氾濫状況を把握することを目的とし、衛星画像解析を用いた氾濫濁水濃度指数 (WTI: Water Turbidity Index) を作成した。これは、衛星画像の 1 ピクセルに対して、その中に含まれる地上構成要素 (エンドメンバー) のスペクトル情報を基にピクセル内の混合スペクトルを分解し、個々のエンドメンバーの存在量を算出する Spectral Mixture Analysis を用いた方法である。ここでは、エンドメンバーを湿原植物 (ハンノキ, ヨシ) 濁水 (高濃度濁水, 低濃度濁水) の 4 つとした。WTI は、最高濃度濁水 (485ppm) エンドメンバーの存在量 (a_{max}) と、最低濃度濁水 (10ppm) エンドメンバーの存在量 (a_{min}) を用いて $WTI = a_{max} / (a_{max} + a_{min})$ と定義し、エンドメンバー画像値を基に算出される。WTI と計算値との比較は、氾濫水域分布の比較と同様に 1994 年 5 月 17 日 10:00 を対象とした。

(5) 計算条件

a) 計算期間

1997 年の水位変動に関する計算は、観測期間中の各出水時を対象として行った。氾濫水域と濁水の各分布に関する計算は、1994 年 5 月 15 日から 5 月 18 日の間に発生した大規模な融雪出水を対象として行った。

b) 初期条件

基礎的な検討段階である本計算では、河道を除き初期状態の氾濫域における水深をゼロとした。

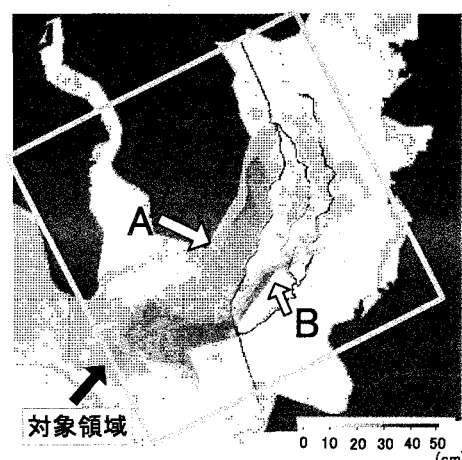


図-3 モデルによる氾濫分布再現計算と TM 画像より抽出された冠水域との比較 (1994 年 5 月 17 日 10:00)

c) 境界条件

境界条件として、対象領域上流端の明渠排水路 (図-1, 湿原流入部より 1.6km 上流地点) に与えた単位時間当たりの流入水量及び水深は、北海道開発庁釧路開発建設部が久著呂川下久著呂観測所 (上流端より約 5.6km 上流) で測定した水位と流量の時間データを上流端条件として、対象領域上流端までの 4km の区間に対して一次元拡散波近似モデルを適用して得られた計算値を用いた。流入浮遊砂濃度は、亀山¹⁰⁾の観測結果を基に作成した以下の式から算定した。

$$C_m = 0.483 \cdot Q^{2.20} \quad (10)$$

ここで、 C_m : 流入浮遊砂濃度 (g/m^3), Q : 流入水量 (m^3/s)

一方、下流端条件は水・微細流砂ともに自由透過として、流入部を除く全対象領域境界部に適用した。また、対象領域の氾濫現象に直接的に影響を与えられと考えられるキラコタン岬 (図-1) からの降雨時の表面流出を、流域水文モデル Stanford Watershed Model^{17), 18)}を用いて算定し、対応するグリッドに流入水量として与えた。なお、本計算では降雨による直接的な影響 (湛水等) は考慮していない。計算時間間隔は上流端の流量、水深に応じて $\Delta t = 0.25 \sim 1.0$ 秒とし、微細流砂の計算は $10 \Delta t$ を用いた。

4. 結果及び考察

(1) 氾濫水域の推定

図-3 は 1994 年の 5 月 17 日 10:00 における数値モデルおよびランドサット TM の画像解析、それぞれによって求められた氾濫水域分布を重ね合わせた結果を示している。グレイスケールで表した部分がモデルによって算定された氾濫域を示しており、表示色の濃淡は水位の高低に対応している。また、ドットで表示した部分は、画像解析から推定された冠水域を表している。計算上、洪水時に明渠排水路末端部下流側の河川が分岐する手前で河川水が溢れ出し、キラコタン岬に沿って広がり、更には岬を越えて南西の方角に対象領域一杯まで到達する結果

を得た(図中Aに対応)。この部分は画像解析から抽出された冠水域と良く対応している。一方、明渠排水路末端部左岸側領域に見られるように、計算結果が実際の冠水域に対応していない部分も見られた(図中Bに対応)。この原因として、この領域は過去における洪水時土砂流入に伴い、右岸に比べ乾燥化が進んでいることが現地踏査により確認されているのに対して、使用した数値標高データ上でその差異が反映されていないことが挙げられる。このように改善の余地を残すものの、モデルは洪水発生時における対象領域での全体的な氾濫水域の広がりについて、ある程度の再現性を有していると考えられる。なお、植生を考慮した場合についても同様に計算を行ったが、氾濫水域の広がりについて植生を考慮しない場合と比べて顕著な差が見られなかった。

(2) 湿原内での水位変動の再現計算

ここでは、1997年6月に観測された短期間に連続して発生した規模の異なる2回の氾濫現象を対象に、モデルの水位変動についての再現性を検討する。St.1では、観測値、計算値ともに冠水が生じなかった。図-4及び図-5は、河岸沿いに設置したSt.2と湿原内部に設置したSt.4での各水位観測結果とそれぞれに対応する領域の水位変動計算結果を示している。また、計算値は植生の効果を考慮した場合としない場合、両方を示している。観測結果は、河岸沿いと湿原内部では氾濫水の流動が異なることを示している。これに対して河岸沿いであるSt.2に関してモデルは、2回の氾濫のピーク発生時期と1回目の規模の小さい氾濫時のピーク水位値は、ある程度の再現性を示した。また、St.2の設置地点周辺は、河岸沿いの土砂堆積が著しくヨシ等の植生の繁茂が観られなかったことから、植生を考慮しない計算結果が考慮した場合に比べて観測値に近いことは妥当であると考えられる。一方、湿原内部のSt.4に関してモデルは氾濫の規模が大きかった2回目について、St.2と同様にピーク発生時期とピーク水位値をある程度再現したが、1回目の氾濫時のピーク水位を著しく過小評価する結果となった。これに関しては、同じく内部に設置したSt.3においても同様の結果が得られた。また、氾濫水の流動特性について、いずれの地点でもピークの形状および水位の通減過程ともに計算値は観測値と異なる結果となった。特に、観測値はSt.3及びSt.4の両地域が期間中はほぼ冠水状態にあったことを示しているに対して、図-5に示すようにモデルは、両地域とも出水に伴う氾濫時以外に冠水が生じない結果を示した。

また、粗度として植生の流れに及ぼす影響を検討するため、各水位観測点に対応するグリッドにおいて、最も規模の大きい出水時に、ヨシ密生度の観測値を基に設定した場合と植生を考慮しない場合を比較し、前者は水位を50%程度増加させることを示した。一方、水位の通減過程について顕著な差異は生じず、植生の抵抗による水位の通減時間の延長効果を確認出来なかった。

以上の氾濫水域分布や局地的な水位変動計算結果の比

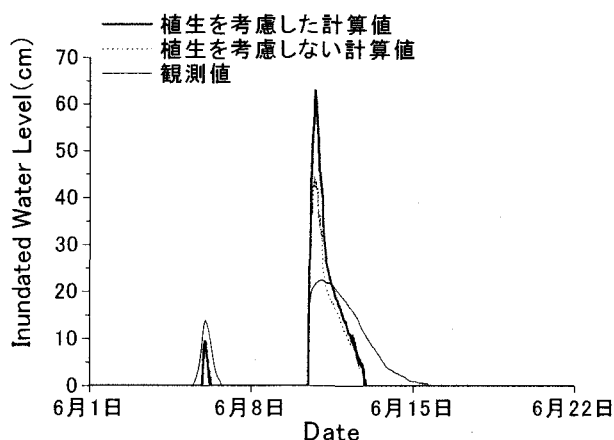


図-4 St.2を対象とした氾濫時の水位変動再現計算結果

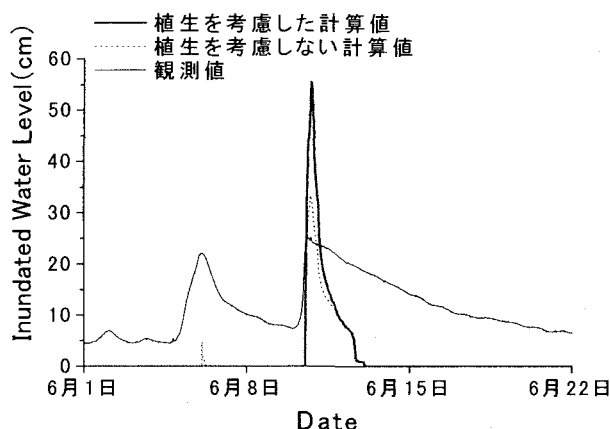
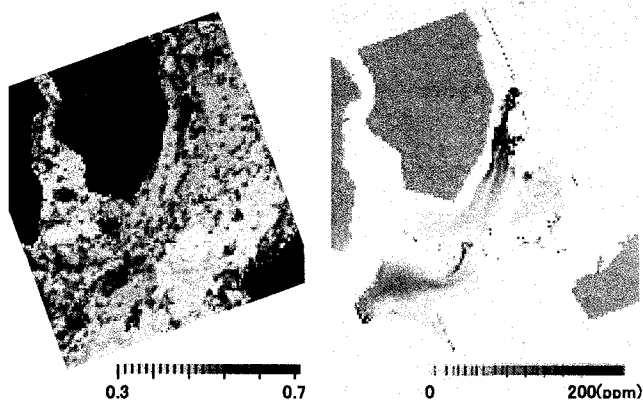


図-5 St.4を対象とした氾濫時の水位変動再現計算結果

較検証から、モデルが全体的な氾濫現象をある程度再現出来るものの、局地的な流動状況を十分に再現出来ていないことが明らかとなった。この主要因として、計算に使用した数値標高データの精度の低さが挙げられる。数値標高データは、数的には不十分ながらも湿原内の標高点を基に高次のスプライン関数を用いて作成されている。このため、対象領域の全体的な地形特性はある程度表現されていることから、計算から求められる氾濫水域の広がりも実際のそれと極端に異ならないと考えられる。一方、氾濫水の局地的な流動状況は微地形変化に強く規定されるため、使用した微地形変化に関する数値標高データの精度が計算結果に強く反映される。St.3、St.4での観測から得られた水位の通減特性や滞留状態から、2地点に対応する領域の勾配は極めて小さく、実際には平坦な地形が形成されていると推測される。しかしながら、使用した数値標高データ上においてこの領域は、東あるいは南方向に1/125程度の下り勾配を有している。したがって、このため、計算上ではこの地形勾配の影響を強く受けることによって、河川から供給された氾濫水はこの領域を速やかに通過し、その供給が無くなれば冠水状態が維持されず、計算上、水位はゼロとなる。よって、図-5に示されるようにSt.4での計算結果は氾濫時以外に冠水を生じないと考えられる。また、同様に地形勾配の影響で支配方程式における重力項が、植生や底面の摩擦による抵抗項を水位ピーク形成から通減過程において



(a)WTI による濁水分布 (b)モデルによる計算値

図-6 TM ランドサット画像解析より求めた濁水分布 (WTI) とモデル計算値との比較(対象時間:1994 年 5 月 17 日 10 時)

大きく上回るため、St.3 ならびに St.4 周辺において、水位の増加に伴い生成する植生による抵抗が、計算上で水位の逓減特性に与える影響は小さいと考えられる。以上は、特に湿地のような極端に平坦な場を対象とする洪水氾濫計算において、局地的な流動を論ずる場合の数値標高データ精度の重要性を強く示すものである。データの精度向上が、対象領域への 2 次元氾濫数値モデルのパフォーマンス向上のための重要な課題と言える。

(3) 濁水分布の再現計算

氾濫時の対象領域における濁水分布について、TM ランドサット画像データを基に作成した濁水濃度指標 WTI とモデルによる再現計算結果をそれぞれ図-6(a)及び(b)に示した。なお、図中の WTI はその値が高いほど、高濃度の濁水が分布していることを意味している。両図の比較から、上記の冠水域分布の比較結果と同様に、明渠排水路末端部分から左岸側領域でのモデルの再現性が低い一方で、全体的な南東方向への濁水分布の広がりについては、画像解析結果と同様な分布を示した。具体的には、明渠排水路末端部からやや下流の右岸側の洪水発生域で最も高濃度である点、キラコタン岬に沿って高濃度部分が帯状になり次第に濃度が低下している点、更に、岬の先端より東側で再び濃度が増加し湿原内部にまで高濃度な部分が広がっている点が、モデルにより得られた計算値と画像解析値(WTI)とで定性的ではあるが一致する結果を得た。一方、空間的に対応する各グリッドの計算値の WTI に対する正の相関は十分には見られなかった。これについては、氾濫水の局所的な流動特性が十分に再現されていない現状では、当然の結果と考えられる。

5. まとめ

釧路湿原内を対象領域として、浅水長波の式を支配方程式とした 2 次元氾濫数値モデル適用を試みた。融雪出水時を対象とした衛星画像解析とモデルによる計算結果の比較から、モデルは全体的な氾濫水の動態についてある程度の再現性を有することが示された。また、氾濫時

の詳細な水位変動特性に関する再現性は、ピーク発生時期やピーク水位値がある程度再現できたことを除いて低かった。濁水分布についても、モデルは氾濫時の全体的な分布の特徴を良く再現しているが、より詳細な局所的な濃度分布を精度良く再現するには至らなかった。これらの要因として、本計算に用いた数値標高データが、より詳細な水・土砂動態の再現計算のために十分な精度を有していないと考えられる。今後は数値標高データの精度向上を図るとともに、年間を通じた水・土砂動態の再現計算に取り組む予定である。

謝辞：本研究で使用した 2 次元洪水氾濫モデルは IUGG/IOC の TIME PROJECT より提供を受けた。また、釧路湿原のヨシ分布密度に関するデータは、国立環境研究所生物環境研究領域野原精一生態系機構研究室より提供を受けた。記して両者に謝意を表します。

参考文献

- 1) 環境庁：釧路湿原保全対策緊急調査, 252pp., 1984.
- 2) 新庄久志：ハンノキ林に見る釧路湿原の変容, (財) 自然保護功成基金 1994・1995 年度研究助成報告書, pp. 223-229, 1997.
- 3) 例えば、芦田和男, 江頭進治, 足立幸郎：蛇行水路における河床変動に関する研究, 京都大学防災研究所年報, 第 31 号 B-2, pp. 1-17, 1988.
- 4) 日野幹雄, 歌原英明：水草のある流れの水理学的研究, 土木学会論文報告集, 第 266 号, pp. 87-94, 1977.
- 5) 福岡捷二, 藤田光一：洪水流に及ぼす河道内樹木群の水理的影響, 土木研究所報告, 第 180 号, pp. 129-192, 1990.
- 6) 例えば、佐藤 智, 今村文彦, 首藤伸夫：洪水氾濫の数値計算および家屋被害について -8610 号台風による吉田川の場合-, 第 33 回水理講演会論文集, pp. 331-336, 1989.
- 7) 新庄久志, 辻井達一：釧路湿原におけるハンノキ林 V ーチワツルナイ川, クチヨロ川, ヌマオロ川-, 釧路市立博物館誌要, 第 20 輯, pp. 23-29, 1996
- 8) 亀山 哲：湿原域の濁水氾濫と植生変化に係わる衛星画像解析手法に関する研究, 118pp., 北海道大学学位論文, 1999.
- 9) IUGG/IOC TIME PROJECT: NUMERICAL METHOD OF TSUNAMI SIMULATION WITH LEAP-FROG SCHEME, UNESCO, 1997.
- 10) Nakamura F., T. Sudo, S. Kameyama and M. Jitsu : Influences of channelization on discharge of suspended sediment and wetland vegetation in Kushiro Marsh, northern Japan, *Geomorphology*, vol. 18, no. 3-4, pp. 279-289, 1997.
- 11) Osubo K. and Muraoka K.: Resuspension rate function for cohesive sediments in Stream, *J. Hydro. Hydraul. Eng.*, Vol. 3, No. 2, pp. 1-13, 1985.
- 12) Chow, V.T.: Open-Channel Hydraulics, McGraw Hill, 1959.
- 13) 福岡捷二, 藤田光一, 平林 桂, 坂野 章：樹木群の流水抵抗について, 第 31 回水理講演会論文集, pp. 335-340, 1987.
- 14) H.M. Nepf: Drag, turbulence, and diffusion in flow through emergent vegetation, *Water Resources Research*, vol. 35, No. 2, pp. 479-489, 1999.
- 15) 山形均志樹, 杉田幹夫, 安岡善文：植生・土壌・水 (VSW) 指数アルゴリズムの開発とその応用, 日本リモートセンシング学会 Vol. 7, No. 1, pp. 54-64, 1997.
- 16) Kameyama S., Y. Yamagata, F. Nakamura and M. Kaneko : Development of WTI and turbidity estimation model using SMA - Application to Kushiro Mire, eastern Hokkaido, Japan, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 77, pp. 1-9, 2001.
- 17) Crowford, N.H. and R. L. Linsley: Digital simulation in hydrology: Stanford Watershed Model IV, *Stanford Univ. Dept. Civ. Eng. Tech. Rep.* 39, 1966.
- 18) 林 誠二, 村上正吾, 渡辺正孝：Stanford Watershed Model の流出特性に関する検討, 水工学論文集, 第 44 巻, pp. 133-138, 2000.

(2002. 9. 30 受付)