

植生の繁茂を考慮した Tidal Creek の形成過程に関する研究

Numerical simulation of the tidal creek with vegetation growth

岩崎理樹*・清水康行**

Toshiki IWASAKI, Yasuyuki SHIMIZU

*学生会員 工学 北海道大学 工学研究科 北方圏環境政策工学専攻 (〒060-0813 札幌市北区北13条西8丁目)

**正会員 工博 北海道大学大学院教授 工学研究科 (〒060-0813 札幌市北区北13条西8丁目)

In this paper, eco-morphological model is proposed to simulate morphology at tidal environment with vegetation growth. Two numerical experiments such as vegetated scenario and unvegetated scenario were performed to clarify influence of vegetation on morphological evolution. This model was applied to a square tidal flat and calculations were conducted for 350 days. Computational results show that a complicated channel network is formed on tidal marsh and natural levees were appeared around the channel network in both cases. In addition, the vegetation propagated along the natural levees. In vegetated scenario, sediment deposition was enhanced by effect of vegetation on natural levee in comparison with unvegetated scenario. Therefore, these results indicated that tidal channels are formed more clearly due to vegetation.

Key Words : tidal creek, vegetation, sediment transport

1. はじめに

感潮域に位置する湿地帯には Tidal Creek と呼ばれる複雑な平面形状を有する水路が形成されることがある(例えば北海道野付半島湿原(図-1), フランスのアルカション湾(図-2))。このような湿地帯では, 水路の形成と合わせて植生が繁茂し, 独自の生態系を形成しているため非常に重要な環境資源であるといえる。Tidal Creek を含めた感潮域の地形変動は主に潮汐の影響によって支配されると考えられているが, 水路の形成過程については不明な点が多い。そのため, Tidal Creek が形成される湿地帯の環境を保全するためにも, 水路の形成過程を明らかにすることは重要な課題である。

このような背景から, Tidal Creek を含めた感潮域の地形およびその発達過程については, 多くの調査・研究などが行われている。D'Alpaos ら¹⁾は, 流れの方程式を簡略化したモデルを用いて, 感潮域の地形変動についての研究を行っているが, 物理的なモデルを用いて水路自体を再現する研究は少ないのが現状である。近年, 舩屋ら²⁾は河川の河床変動計算に適用されている2次元河床変動モデルを用いることで, 潮汐の影響のみで Tidal Creek が再現可能であることを示している。しかし, 図-1 のように感潮域の湿地帯のなかには, Tidal Creek の形成と合わせて植生が繁茂している場合があるため, このような湿地帯の地形変動について議論するためには, 植生の影響を考慮したモデルを構築することが必要となる。植生を考慮した感潮域の地形変動については, D'Alpaos ら³⁾が土砂堆積量に植生による土砂の Trapping と organic soil の生産を考慮することで, 植生を考慮したモデルを提案している。し

図-1 北海道野付半島湿原⁴⁾

かし, このモデルも流れの方程式は簡略化されており, 物理的なモデルとはいえない。また, ある固定された水路ネットワークを有する湿地帯についての計算でもあるため, 植生の繁茂が水路の形成過程に与える影響については検討されていない。

そこで, 本研究では舩屋ら²⁾によって提案させた数値モデルのうち流れのモデルに植生の影響を付加することで植生を考慮したモデルを構築する。また, ある基準高を超えた地点から植生要素を時間的に増加させることで, 同時に植生成長モデルを考慮する。この植生成長モデルと地形変動モデルを用いて, 植生の繁茂を考慮する場合と考慮しない場合の計算を行い, 植生の繁茂状態が Tidal Creek の形成過程にどのような影響をもたらすかについて考察することを目的とする。



図-2 フランス・アルカション湾 (Google Earth より)

2. 感潮域の特徴

潮汐の作用によって地形が周期的に冠水、露出を繰り返す感潮域では、潮汐による流れだけでなく風による吹送流や波浪、河川からの流入、コリオリの力など様々な力が重複して作用し、流れの場が形成されている⁵⁾。

一般に感潮域の地形変動は、その地形の特徴により主となる外力が異なり、砂浜の場合波浪の効果が、干潟の場合潮汐の効果が強く影響するとされている⁵⁾。Tidal Creek が形成されている湿地帯は図-2 に示すように外洋から区切られた内湾性の感潮域に位置しており、なおかつ上流からの河川流量の流入がないため、干潟と同様に地形変動の要因としては潮汐の作用が支配的だと考えられる。そこで本研究では、流れの駆動力として潮汐のみを対象とし、その他の作用を無視して計算を行うこととした。

3. 計算モデル

前節で述べたように、本研究では地形変動の主要因として潮汐を対象としているため、地形変動をシミュレーションするには潮汐を駆動力とした流れの計算及びそれにより生じる土砂輸送量の計算を行う必要がある。また、地形変動に対する植生の影響を明らかにするために、計算モデルに植生の影響を加える必要がある。そこで、本研究では流れのモデルに植生の影響を組み込みこんだ地形変動モデルを構築する。つまり、土砂輸送モデルに直接的に植生の影響を考慮するのではなく、流れに対する植生の抵抗力を考慮し流れが減速される効果で、植生の影響を考慮した土砂輸送量を間接的に評価する。そのため、植生の抵抗を考慮した流

れを計算する必要があるが、本来植生を考慮した流れは3次元性が強く、特に潮汐を対象とする場合、水深が時間的に大きく変動するため、植生が水没する場合がある。このような場合には、水深方向に植生層と非植生層が生じるため、現象を正確に再現するには3次元モデルを用いる必要があると考えられる。しかしながら、Tidal Creek を含めた感潮域の地形変動を再現するには、長期間の計算時間が必要となるため、計算が煩雑となる3次元モデルではなく、2次元モデルを採用した。基本となるモデルは舩屋ら²⁾が用いている2次元河床変動モデルである。

3.1 流れの方程式

本研究では、流れの基礎式に直交座標系における2次元浅水流方程式に植生の抵抗を考慮したものを用いる。以下に、連続の式および x, y 方向の運動方程式を示す。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = & -g \frac{\partial H}{\partial x} \\ & - \frac{\tau_x}{\rho h} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \frac{D^x}{\rho h} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = & -g \frac{\partial H}{\partial y} \\ & - \frac{\tau_y}{\rho h} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \frac{D^y}{\rho h} \end{aligned} \quad (3)$$

ここに、 h : 水深、 u, v : x, y 方向の水深平均流速、 g : 重力加速度 (9.8 m/s^2)、 H : 水位、 ρ : 水の密度 (1000 kg/m^3)、 ν : 動粘性係数 ($0.01 \text{ cm}^2/\text{s}$)、 τ_x, τ_y : x, y 方向の河床せん断抵抗、 D^x, D^y : x, y 方向の植生抵抗である。 τ_x, τ_y は平均流速公式に Manning 則を用いれば次式で求められる。

$$\tau_x = \frac{\rho g n_m^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (4)$$

$$\tau_y = \frac{\rho g n_m^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (5)$$

ここに、 n_m : Manning の粗度係数である。

運動方程式中の植生抵抗力 D^x, D^y を算出するには、植生をモデル化する必要がある。実際に Tidal Creek が形成されている野付半島湿原では、シバナ、ヨシ、ウミミドリなどの塩性植物が繁茂しているとされている⁶⁾。これらの植物は、柔軟で高密度に繁茂するという特徴を持っているが、本研究ではこれらを簡素な形でモデル化するために、植生は直立性で流れによってたわまないと仮定する。その結果、植生抵抗力 D^x, D^y は以下のように求められる。

$$D^x = \frac{1}{2} \rho C_{Da_s} \min[h, l] u \sqrt{u^2 + v^2} \quad (6)$$

$$D^y = \frac{1}{2} \rho C_D a_s \min[h, l] v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (7)$$

ここに、 C_D ：植生の抵抗係数、 l ：植生高さ、 a_s ：単位体積に占める植生の遮断面積である。

なお、これらの流れの方程式は高精度差分法の一つである CIP 法を用いて計算を行った。詳しい解法は成書 (例えば矢部⁷⁾) を参照されたい。

3.2 土砂輸送モデル

本研究で計算の対象としている感潮域は、河口もしくは沿岸部に位置していることから、地形の勾配は非常に緩いと考えられる。それゆえ、堆積している土砂は細粒分が多く、土砂の輸送形態としては浮遊状態が主となると考えられる。そこで、土砂輸送モデルとしては浮遊砂のみを考慮した 2 次元河床変動モデルを用いる。土砂輸送連続式は以下のように表される。

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} (q_{su} - w_f c_b) = 0 \quad (8)$$

ここで、 z ：河床高、 λ ：空隙率、 q_{su} ：河床からの土砂浮上量、 w_f ：土砂粒子の沈降速度、 c_b ：基準点浮遊砂濃度である。

また、浮遊砂の輸送は以下の浮遊砂連続式によって表されるとする。

$$\frac{\partial(ch)}{\partial t} + \frac{\partial(uch)}{\partial x} + \frac{\partial(vch)}{\partial y} = q_{su} - w_f c_b \quad (9)$$

ここに、 c ：水深平均浮遊砂濃度である。河床からの土砂浮上量は岸・板倉の式によって求める。

$$q_{su} = K \left(\alpha_* \frac{sgd}{u_*} \Omega - w_f \right) \quad (10)$$

ここで、 s ：土粒子の水中密度、 d ：土粒子の粒径、 u_* ：摩擦速度、 K ：0.008、 α_* ：0.14 である。また Ω は次式で求められる。

$$\Omega = \frac{\tau_*}{B_*} \frac{\int_{\alpha'}^{\infty} \xi \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-\xi^2) d\xi}{\int_{\alpha'}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-\xi^2) d\xi} + \frac{\tau_*}{B_* \eta_0} - 1 \quad (11)$$

ここで、 τ_* ：無次元掃流力、 B_* ：0.143、 α' ： $\beta_*/\tau_* - 1/\eta_0$ 、 η_0 ：0.5 である。限界摩擦速度は、岩垣の式によって求められる。また、基準点浮遊砂濃度には以下の式を用いる。

$$c_b = \frac{c\beta}{1 - \exp(-\beta)} \quad (12)$$

ここに、 β ： $w_f h/\varepsilon$ 、 ε ： $\kappa u_* h/6$ で、 κ ：カルマン定数 (0.4) である。なお、土砂の沈降速度は以下の Rubey の式により求める。

$$w_f = \sqrt{\frac{2}{3} sgd + \left(\frac{6\nu}{d}\right)^2} - \frac{6\nu}{d} \quad (13)$$

なお、土砂輸送モデルの数値解法には 1 次精度風上差分を用いる。また、浮遊砂の移流方程式を解くにあたり、保存性を確保するために CIP 法は用いずに 1 次精度差分としているが、今後は保存性を確保した高次元差分スキームの適用が課題である。

3.3 植生成長モデル

本研究の目的にあるように、植生の成長を考慮した地形変動を計算するためには、植生成長モデルを構築する必要がある。実際の植生の成長は栄養、地盤の湿潤状態や構成材料などによって左右されると考えられるが、これらを総合的に考えて植生の成長をモデル化するのはきわめて困難である。植生成長モデルとしては D'Alpaos ら³⁾が植生のバイオマス量を標高の関数として求め、これをもとに植生の本数、高さ及び直径などを決定するモデルを提案している。しかし、D'Alpaos らの計算は地形変動の時間スケールが植生の成長スケールよりもかなり大きな長期間 (100 年単位) の計算であるが、本研究で行う地形変動シミュレーションは用いている計算モデルと計算機能力からせいぜい数年程度が限度である。そのため、細かい時間スケールでの地形変動を議論するうえでは植生成長モデルは空間的な関数のみでなく、時間的な影響を考慮することが望ましいと考えられる。

そこで、本研究では竹林ら⁹⁾による方法を参考に簡単な形で植生の成長をモデル化した。まず、植生が成長するか否かの判定についてはある基準となる標高を決定し、標高がそれ以上となったときに成長を開始するとする。すなわち、開始条件は

$$z_{(i,j)} > \bar{z} \quad (14)$$

である。ここで、 $z_{(i,j)}$ ：地点標高、 $\bar{z}$ ：植生成長開始標高である。このときの時間および標高をそれぞれ $T_{0(i,j)}$ 、 $z_{0(i,j)}$ とする。流れの計算に用いる植生要素は植生高さ l と植生の密生度 a_s であるから、成長限界における値を l_{max} 、 a_{smax} とし、成長開始時間から線形的に増加させる。

$$l_{(i,j)} = \frac{T_{(i,j)} - T_{0(i,j)}}{T_{max}} l_{max} \quad (15)$$

$$a_{s(i,j)} = \frac{T_{(i,j)} - T_{0(i,j)}}{T_{max}} a_{smax} \quad (16)$$

ここで、 $T_{(i,j)}$ ：現在の時間、 T_{max} ：成長期間である。なお、植生成長開始からの経過時間が T_{max} に達した後の l 及び a_s は、それぞれの成長限界値をとるものとする。また、植生が消滅する機構については河床低下によるものとし以下のように定義する。

$$z_{(i,j)} < z_{0(i,j)} \quad (17)$$

すなわち、植生成長開始時の標高よりも標高が低くなった場合に植生が消滅したと判定する。なお、実際には

植生が成長する段階で根が発達し、植生が消失しづらくなると同時に、地盤がさらに強固なものになると考えられる。そのため、河床低下による植生の消失を正確に見積もるには、根の影響を考慮する必要があるといえる。また、図-1 をみると植生は特に水路沿いに発達しており、成長条件が標高の関数のみではなく、湿潤条件や季節的な変動となることが予想されるが、ここではそれらの影響を数値的にモデル化するのに必要なデータや知見が不足していることから、これらの影響を無視することとした。そのため、今後より詳細な植生成長・消失モデルや植生の根による地盤強化の影響などを組み込む必要があるといえる。

4. 計算条件

4.1 計算領域と境界条件

前節までに示した数値モデルを用いることで、植生の成長を伴う感潮域の地形変動についてシミュレーションする。計算領域は図-3 に示すような岸沖方向 400m、それに直角方向に 200m の長方形領域を対象とする。また、地形勾配や河床材料については、現地の観測データがないため、実現象に沿った値を設定することができない。そこで、河口域の勾配が緩やか (1/5000 以下) であることや、河床材料に細粒分が多いという一般的な知見^{5),8)}から河床勾配を 0、河床材料の粒径を 0.05mm、マンニングの粗度係数を 0.035、空隙率を 0.4 と設定した。なお、図-3 に示す A 点では Tidal Creek の形成のきっかけとして、河床高を 0.1m 低下させている。

境界条件としては、下流端で水位を潮位とし、浮遊砂は流出を自由流出とする。また、下流端から流入する土砂については、未知であるため流入浮遊砂量をなしとした。また、その他の 3 境界については水、土砂の流出入はともになしとする。潮位条件としては、野付半島湿原に程近い根室花咲港における潮位データ¹¹⁾を参考に図-4 のように振幅を 0.8m、周期を 12 時間とした。この振幅はおおよそ大潮と中間潮の中間の値であるが、Tidal Creek の形成を促進させる上でこの値を設定した。なお、冠水・露出を繰り返す地形を想定して、平均海水面を初期河床高に一致させるように設定した。

4.2 計算格子と計算時間間隔

計算を行うにあたり、格子間隔は $\Delta x, \Delta y$ を 5m にとり、時間刻み Δt は次式により時間ステップごとに最適値を求める。

$$\Delta t = C_t \min \left[\min \frac{\Delta x}{|u_{i,j}| + \sqrt{gh_{i,j}}}, \min \frac{\Delta y}{|v_{i,j}| + \sqrt{gh_{i,j}}} \right] \quad (18)$$

ここで、 C_t : クーラン数で 0.8 とした。

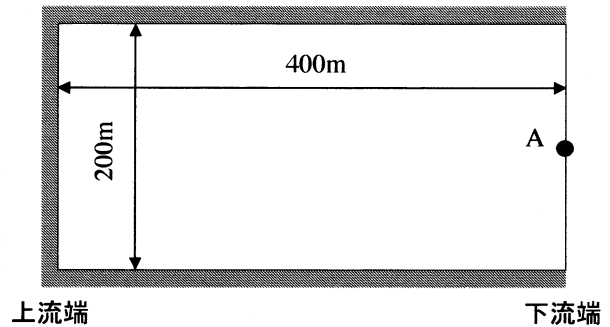


図-3 計算領域

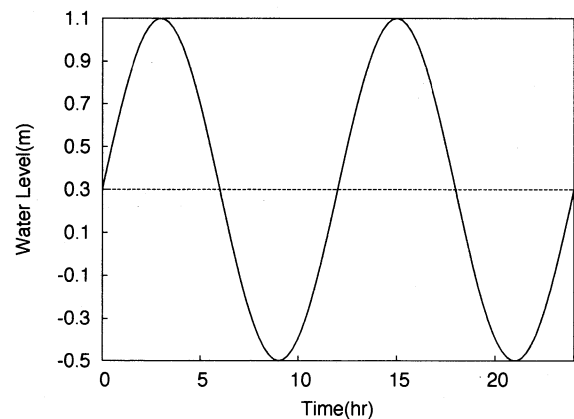


図-4 下流端水位条件

4.3 植生に関するパラメータ

植生に関する条件については、いくつかのパラメータを設定しなければならないが、実際に繁茂している植生についてのデータが不足していることから、仮想的な値を組み合わせで決定する。

まず、成長限界密度 a_{smax} および植生高さ l_{max} については野付半島湿原に繁茂するとされているヨシを対象として、他の地点で調査されたデータから $l_{max} = 2\text{m}$ 、 $a_{smax} = 0.202/\text{m}$ とする。また、ヨシは冠水・露出を繰り返す地形上においても生育でき、中間潮程度の水位であれば成長することができるとされている¹²⁾。そこで、植生成長開始標高を平均潮位とし、そこから時間の経過とともに線形的に a_s 及び l を増加させる。なお、植生成長期間 T_{max} については、対象とする植物をヨシとする場合、100 から 200 日程度の値となる。しかし、ここでは外力の主要因となる潮位差を Tidal Creek の形成を促進させる目的で大きめに設定している。そのため、再現される Tidal Creek の形成時間は実際のものよりも早く形成され则认为られるが、植生の繁茂が Tidal Creek の形成過程に与える影響を明らかにするには、地形変動と植生成長の時間スケールが同程度であることが必要である。そこで、植生を考慮しない場合の計算結果から地形変動の時間スケールを把握し、植生成長の時間スケールが同程度となるように植生成長期間 T_{max} を 25 日と設定した。

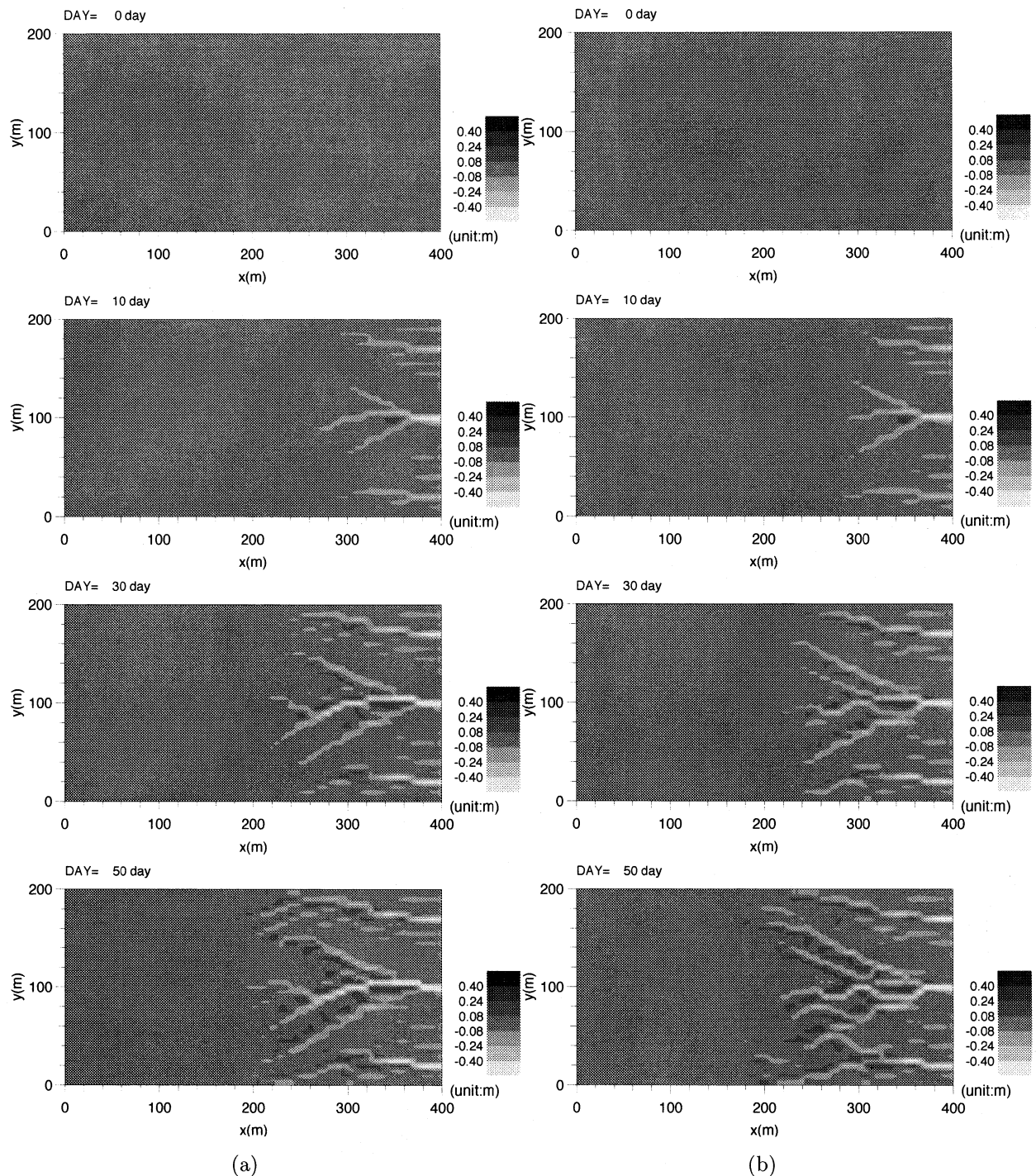


図-5 河床コンター図 (a) 植生を考慮しない場合 (b) 植生を考慮した場合

5. 計算結果

5.1 計算結果における Tidal Creek の基本特性

計算結果として植生の繁茂を考慮しない場合と考慮する場合の河床コンター図を図-5,6 に示す。また、植生の繁茂状態の変化について、密生度の時間変化を示したものを図-7 に示す。河床コンター図より、計算初期では A 点に設置したくぼみに潮汐流が集中する結果、中央部から分岐した水路が形成される。また、中央部に水路が形成されることにより、流れに乱れが生じ、下流

端の上下にもいくつかの細かい水路が形成され始める。この形成された水路が時間の経過と共に発達していき、計算開始から 350 日では網状の水路が形成される。

この計算結果と図-1 に示す野付半島湿原に形成される Tidal Creek を比較してみると、実際に形成される Tidal Creek は、計算結果のような網状水路ではないが、水路が蛇行していることや分岐しているなどの特徴は再現されていることがわかる。また、植生については、繁茂条件、成長時間を植生の繁茂を促進させるように設定させているので、350 日時点では、水路以外

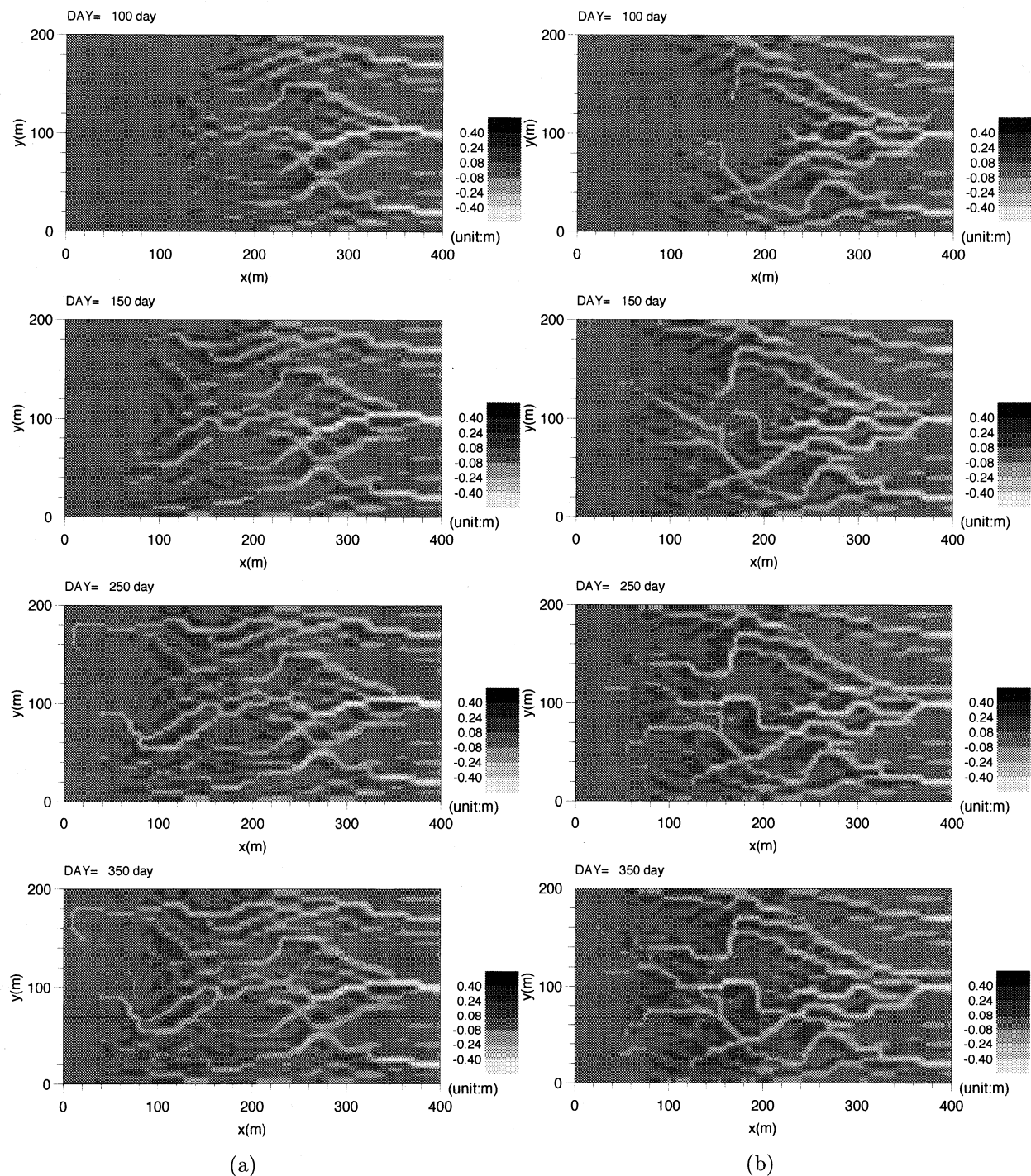


図-6 河床コンター図 (a) 植生を考慮しない場合 (b) 植生を考慮した場合

はほぼ植生で覆われているが、計算過程では水路沿いに形成される自然堤防上に植生が繁茂していることがわかる。このため、今後河床材料や水理条件などのパラメーターを変化させることで、これらが Tidal Creek の形成に及ぼす影響を検討すると同時に、実際に Tidal Creek が形成される湿地帯での条件などを明らかにする必要がある。しかし、本研究で提案した数値モデルを用いることで、Tidal Creek の特徴を持つ水路ネットワークが形成されることから、以下計算初期に中央部に形成された水路に着目して水路の形成過程について

考察していく。

5.2 植生の繁茂を伴う水路の形成過程

図-5 に示すように計算開始 10 日の時点で、実際の Tidal Creek でも見られるような分岐した流路が形成され始めていることがわかる。計算初期には、A 点をきっかけとして直線状の水路が形成され始めるが、満ち潮時に水路内部で発生した浮遊砂が上流側に輸送され堆積するため、下流端中央に形成される水路の上流部(計算領域における $x=350\text{m}$ 付近)に自然堤防のような地

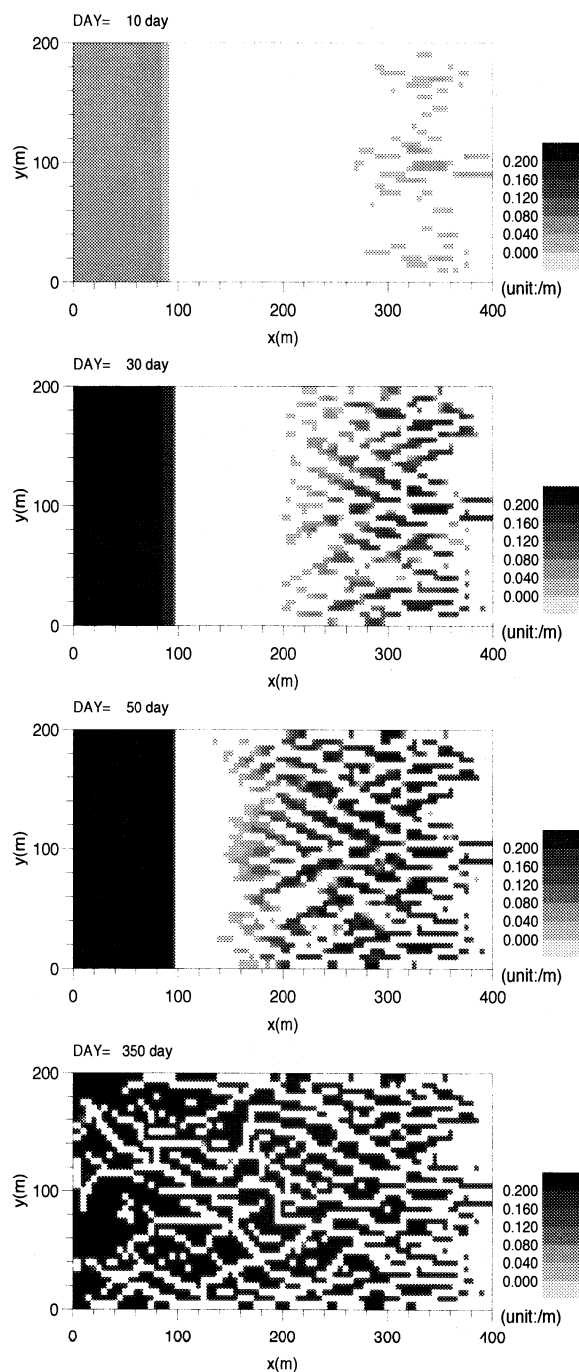


図-7 植生密度の時間変化

形が形成される。これにより、特に水深低下時に形成された自然堤防を避けるような流れが発生し、このような分岐された流路が発達していくと考えられる。また、上流側には満ち潮時に下流側から輸送される土砂の作用により、侵食より堆積が上回る。その結果、水路のまわりに形成される自然堤防上と計算領域の上流側 $x=0\sim90\text{m}$ の範囲では植生成長開始標高を上回り、図-7 に示すように、植生が繁茂し始める。

植生を考慮しない場合では、水路沿いに形成される自然堤防を避けるように分岐流路が発達していき、計

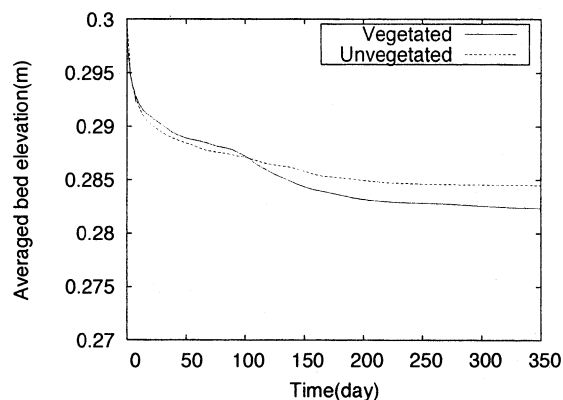


図-8 平均標高の時間変化

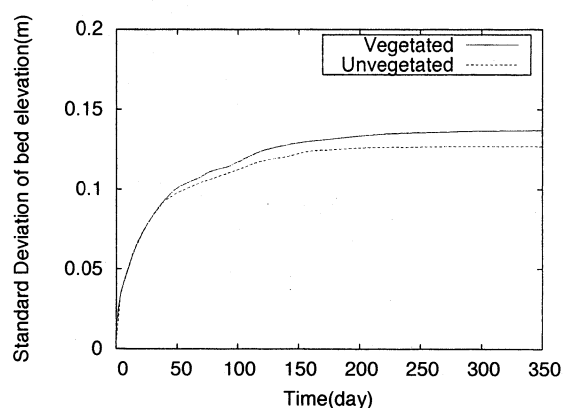


図-9 標高の標準偏差の時間変化

算開始 30 日時点で中央部に 1 本の水路が形成される。最終的には、細かく分岐した水路網が形成されている。一方、植生を考慮している場合では、中央に形成された水路から分岐した 2 本の水路が発達し始める。その後、植生を考慮しない場合と同様に、水路網が発達するが、植生を考慮した場合のほうが、水路網が広領域に発達していることがわかる。これは、自然堤防上に繁茂した植生によって、流れが阻害された結果、植生域への水路の形成が妨げられると同時に、非植生域への流れが強められ、分岐が大きく発達したと考えられる。このことから、植生の影響によって水路の分岐が促進されたといえる。

5.3 水路の発達に及ぼす植生の影響

計算結果より、計算初期に形成された水路は時間と共にさらに発達し、最終的には両ケース共に網状の流路が形成されるが、植生が繁茂する場合のほうがよりはっきりとした水路が形成されている傾向にあることがわかる。ここで、計算領域の平均標高と、標高の標準偏差の時間変化を表したものをそれぞれ図-8,9 に示す。図-8 より平均標高は 100 日以前では植生が繁茂する場合のほうが高くなっているが、100 日付近で両者が入

れ替わり、最終的には植生が繁茂しない場合のほうが平均標高が高くなっていることがわかる。また、図-9より、50日付近から植生が繁茂するほうが標準偏差が大きくなっており、河床高のばらつきが大きくなっていることがわかる。

図-7の植生の繁茂状態を見てみると50日の段階で植生の成長はほぼ限界点に到達している。これにより、植生上の流れが阻害される結果、形成された水路内部への流れが強められるため、土砂の移動量が大きくなり流出する土砂が増加し、図-8に示すように平均標高が低下したと考えられる。

このように自然堤防上の植生によって形成された水路の侵食が促進され、水路がより深掘れする。一方自然堤防上に植生があることにより流れが減速されるため、満ち潮時に水路内部からあふれ出す浮遊砂が堆積しやすくなり、自然堤防がより促進される。その結果、図-9に示すように水路標高のばらつきが大きくなり、水路がよりはっきりとした形に形成されたと考えられる。

6. 結論

本研究では、植生の繁茂を考慮した感潮域の地形変動シミュレーションを行うために、植生を考慮した数値モデルを提案した。また、植生要素を時間的に変化させることで植生成長モデルも合わせて構築した。これらのモデルを用いて、植生の繁茂を考慮する場合としない場合の2つの計算を行い、植生の繁茂が地形変動に与える影響について考察した。得られた結論を以下に示す。

- 1) 形成された網状流路の周りに、水路からあふれた土砂が堆積し、自然堤防が形成された結果、標高が高くなり、現地に見られるような植生分布が形成される。
- 2) 自然堤防上への植生の繁茂に伴い、植生を考慮しない場合と比較して周辺部への流れが強められ、水路の分岐が促進される。
- 3) 植生の効果により、水路内部での流れが強められることと、自然堤防上への浮遊砂の堆積が促進されることから植生を考慮する場合では、水路形状がよりはっきりとしたものとなる。

本研究では、以上のような結論が得られたが、この地形変動シミュレーションに用いている河床材料や水理条件、植生パラメーター等は、実際の観測によって得られたデータを用いているわけではない。

そのため、現地スケールの計算を行ううえでは、今後は現地調査を行うことが必要となる。また、提案された植生成長モデルは成長開始条件を標高のみとし、その後の成長過程も線形的な関数とする簡単なモデルとしてある。しかし、形成された水路に流れが集中することや、実際の潮位変動が規則波ではないことを考えると、成長モデルに冠水時間などを考慮するべきだと考えられる。このようなことから今後の課題として

- 1) 様々な計算パラメーターによる再現計算から、Tidal Creekの形成に及ぼす影響について検討する。
- 2) 現地調査を行うことで、より現地に近い計算を行い、計算モデルの再現性や妥当性を検討する。
- 3) 植生成長過程及び植生が地形変動に与える影響についての検討を行う。

などが挙げられる。

参考文献

- 1) A.D'Alpaos, S.Lanzoni, M.Marani: Tidal network ontogeny: Channel initiation and early development, *Journal of geophysical research*, Vol.110, F02001, 2005.
- 2) S.Masuya, Y.Shimizu, S.Giri: Simulation of morphology in the tidal environments, *River Coastal and Estuarine Morphodynamics*, RCEM2007, pp.755-762, 2007.
- 3) A.D'Alpaos, S.Lanzoni, M.Marani, A.Rinaldo: Landscape evolution in tidal embayments: Modeling the interplay of erosion, sedimentation, and vegetation dynamics, *Journal of geophysical research*, vol.112, F01008, 2007.
- 4) 辻井達一, 岡田操: 北海道の湿原, 北海道大学図書刊行会, 2003.
- 5) 内山雄介: 干潟のながれと地形変化, なかれ 24, pp.57-66, 2005.
- 6) 辻井達一, 橘ヒサ子: 北海道の湿原の植生, 北海道大学図書刊行会, 2003.
- 7) 矢部, 緒方, 滝沢共著: CIP法とJavaによるCGシミュレーション, 森北出版, 2007.
- 8) 土木学会: 土木工学ハンドブックII, 技報堂出版, 1989.
- 9) 竹林洋史, 江頭進治, 岡部健士, 寺岡充夫: 給水・給砂の非定常性と植生の繁茂を考慮した砂州及び流路の形成水理条件, *水工学論文集*, 第50巻, pp.973-978, 2006.
- 10) 淡海環境保全財団: 琵琶湖のヨシ再生に向けた植栽条件に係わる調査研究報告書, 日本財団図書館, 2001.
- 11) 気象庁: <http://www.dada.kishou.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/index.php>.
- 12) 栗原康, 山崎博道, 鈴木孝男: エコテクノロジーからみた浚渫汚泥の有効利用 -3. 人工汽水性湿原法-, 用水と廃水, vol.41, No.7, pp.22-26, 1999.

(2008年4月14日 受付)