

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360209

研究課題名(和文)水路網を伴う河口デルタの形成と干潟の維持メカニズム

研究課題名(英文)The formation of river mouth deltas accompanied by channel networks and the preservation mechanism of tidal flats

研究代表者

泉 典洋(Norihiro, Izumi)

北海道大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10260530

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,900,000円、(間接経費) 3,570,000円

研究成果の概要(和文)：潮汐流によって形成されるタイダルチャンネルを実験によって再現し、その幾何学的特長を統計解析およびフラクタル解析を用いて定量化した。その結果、潮汐波形の違いが水路網形状に有意な影響を与えることが判った。また浸透流の影響を考慮した数値解析モデルを用いてタイダルチャンネル形成過程の数値シミュレーションを行った。その結果、浸透流が水路の分岐等に大きな影響を及ぼすこと、浸透流によって大規模な水路の間隔が大きくなることが判った。小規模な水路網は急勾配斜面上の水路網やロンボイドリルのように複列砂州と類似のものであること、大規模水路群は浸透流によって発生した表面流によって形成されることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：We reproduced tidal channels formed by tidal flow in an experimental flume, and performed statistic and fractal analyses to quantify geometrical features observed in the experiments. It is found from the analyses that the pattern of tidal fluctuation has a significant impact on the configuration of tidal channels. We performed numerical simulation of the formation of tidal channels with seepage flow considered. It is found that seepage flow has a strong influence on channel bifurcation, and that seepage flow increases the scale of tidal channels. It is suggested that small scale tidal channels are analogous to multiple bars formed in rivers, as channels formed on steep slopes subject to rainfall and rhomboid rills formed by waves. The large scale tidal channels are formed by sheet flow created by seepage flow coming from underground due to tidal fluctuations.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：タイダルチャンネル 潮汐流 水路網 浸透流 河口デルタ 複列砂州 網状流路 水路群

### 1. 研究開始当初の背景

河口デルタは、地形学や地質学分野で古くから研究されてきたテーマであるが、近年になってその形成過程が力学的、土砂水理学的観点から取り扱われるようになり、基本的な形成プロセスが次々に明らかになっている。中でも河口デルタが形成される際、デルタ表面に形成される水路群がその形成プロセスに重要な役割を演じていることが実験によって明らかとなっている。このような研究の一環として潮汐流によって形成されるタイダルチャンネルの形成プロセスについて、線形安定解析や数値シミュレーションによる研究が進められているが、そのいずれもがタイダルチャンネルの幾何学的特長を十分には説明できておらず、その詳細については未だ良く判っていないのが現状である。

### 2. 研究の目的

研究代表者は、斜面上に生じた表面流が地表面を侵食することによって斜面上に形成される水路群の形成間隔について線形安定解析の観点から理論的研究を進めてきた。また、形成当初単純な幾何形状しか持っていない水路群が分岐を繰り返すことで複雑なチャンネルネットワークへと発達するメカニズムを二次不安定性の観点から明らかにしている。

本研究は、実験によってタイダルチャンネルの形成プロセスを再現し、その幾何形状の特徴を明らかにすると同時に、数値シミュレーションを用いてタイダルチャンネルの幾何形状を決定するパラメータを明らかにすると同時に、斜面上における水路群やチャンネルネットワークの形成機構解明の手法を援用して、潮汐流によって形成されるタイダルチャンネルや複雑な幾何形状を有するタイダルチャンネルネットワークの形成機構を明らかにすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1)タイダルチャンネルの形成実験

タイダルチャンネルの形成プロセスを現象面から明らかにするために、潮汐流発生装置を有する水槽を用いた実験を行った(図1)。浅水域にプラスチック粒子を敷き詰め干潟モデルとした。ポンプを用いて潮汐流を作り出し干潟モデル上にタイダルチャンネルやチャンネルネットワークが形成される様子を観察し、同時に写真撮影を行うことでタイダルチャンネルの幾何学的特長を記録した。またそれを定量化するために、統計解析やフラクタル解析の手法を用いて解析を行った。また、その結果を実際のタイダルクリークおよび数値シミュレーションによって再現されたタイダルクリークの解析結果と比較した。

#### (2)浸透流を考慮した数値シミュレーション 浸透流の影響を取り入れた数値モデルを

構築し、それを用いたタイダルクリーク形成の数値シミュレーションを行った。

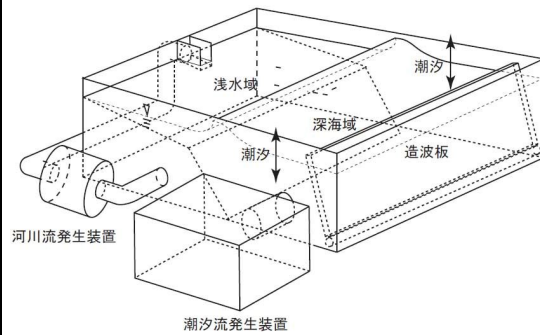


図1 実験水槽

#### (3)簡便な数学モデルを用いた理論解析

潮汐流によって生じるタイダルクリークの形成過程を簡便な数学モデルを用いて定式化した。この方程式系に現れる無次元パラメータを用いて実験結果を整理することでタイダルチャンネルの幾何形状を決定する物理量を明らかにした。

#### (4)急勾配斜面上の水路網形成実験およびロンボイドリルの形成実験

降雨によって地形変化を受ける急勾配斜面上における水路網の形成実験および波によって一瞬間に発生するロンボイドリルの形成実験を行うことで、タイダルチャンネル形成初期に見られる小規模パターンとの幾何学的類似性を基に形成機構の素過程について考察を行った。

### 4. 研究成果

#### (1)タイダルチャンネルの形成実験

実験で観察されるタイダルクリークを図2に示す。感潮域に形成される水路網の形状を評価するために、Strahlerの方法により水路網を位数毎に等級化し、各位数の水路長に対する統計解析を実施した。その結果、各位数の水路長の最頻値及び分散は位数の増加に伴い増加する一方、水路長の確率密度分布は位数に対する依存は小さく概ね対数正規分布の形状となることが確認された。また、異なる潮汐条件下に形成される水路網に対する統計解析により、水路長の確率密度分布が潮汐条件に依存することが明らかとなり、潮汐波形の違いが水路網形状に有意な変化を与えることが示唆された。一方、Box-Counting法によるフラクタル解析では以上で述べた水路網形状に対する潮汐条件の影響を評価しえない。実際の感潮域に形成されるTidal Creekの水路長分布に対する解析により、空間スケールが変化しても各位数の水路長が持つ統計的性質が変化しない。二次元浅水流方程式と地形勾配の影響を考慮した平衡流砂量式を組み合わせた移動床計算モデルにより計算された水路網は、小スケール水路の形成を再現していない。予測精度

を向上させるためには、浸透流の影響を反映した計算モデルの構築が必要であることが予想される。



図2 実験で見られるタイダルクリーク

#### (2) 浸透流を考慮した数値シミュレーション

研究分担者の清水らにより提案されている Tidal Creek の発達・形成現象を再現する平面二次元ベースの地形変動モデルに新たに二次元飽和浸透流モデルを組み込み、これを単純化したモデル地形における条件に適用することで、水路網の形成・発達や水路形状に与える浸透流の影響について考察を行った。得られた結論を以下に示す。

- a) 地盤内部からの浸透流により、水路の分岐や細かな水路の形成が促進される。
- b) 小スケール水路の形成により、水路網の水路長分布が対数正規確率的な分布に近づく。
- c) 潮汐変化に対して時間遅れを伴う地盤内部からの流出により水路の幅・深さが増大し、水路規模が大きくなる。

ここで得られた結論はいずれもモデル化された地形及び浸透流が水路網形状に大きな影響を与える条件の下のものである。したがって実験や実現象との対応を考えることでモデルの検証と地形発達メカニズムに対する浸透流の影響を考察する必要がある。

#### (3) 簡便な数学モデルを用いた理論解析

潮汐流により生じる地形変動を単純な潮汐条件、地形条件を想定して単純にモデル化し、地形変動を示す移流拡散型の方程式を導いた。さらに、この方程式が持つ移流・拡散の強さの比を表す Péclet 数を用いて、異なる条件下で得られた水路網形状の相違を説明した。これらの結果より、横断方向の拡散の影響が強いケースで水路が形成されづらく、縦断方向の移流の影響が強いケースで水路が直線的になる傾向が見られた。Péclet 数は、Shields 数に大きく依存するため、これが感潮域の水路網の形状特性に大きく影響を持つことが示唆された。また、摩擦パラメータ  $R$  を用いた解析から、 $R$  が大きい領域で水路網が複雑化する傾向がわかった。このように構築したモデルは、実験で見られる明確な水路の発達・非発達や水路の維持といった傾向を表現できているため、潮汐流による

水路化現象を表す最も単純なモデルであると考えられる。一方で、Tidal creek を特徴づける水路の蛇行や分岐といった要素については、本モデルで説明することは困難であるとする。また、非常に単純なモデル化によって、既に述べたような水路頭部の発達や流れの平面分布のような様々な物理現象についても考慮することができない。今後は以上のような問題点を解決することで、より合理的なモデルを構築すると共に実験・数値計算を用いてより多くのスケールで検討する必要がある。同時に、より明確な説明を加えるためには安定解析により方程式系が不安定であるかを調べ、不安定である場合は卓越波長を使った議論が必要である。

#### (4) 急勾配斜面上の水路網形成実験およびロンボイドリルの形成実験

タイダルチャンネルの形成実験より、形成初期に複雑な形状の小規模パターンが形成され、その後比較的単純で大規模な間隔を持った水路群が形成されることが明らかになった。この内小規模パターンは、急勾配斜面上に降雨によって形成される水路網(図 3)やロンボイドリル(図 4)と似た形状を持つことがわかった。

線形安定解析の結果から急勾配斜面上の水路網もロンボイドリルも複列砂州と力学的に等価な河床波であることが明らかとなっている。タイダルチャンネル形成時に見られる小規模パターンも複列砂州の一種であることが予想される。

一方比較的大規模で単純な水路群は、浸透流を考慮した数値シミュレーションによってより明瞭な水路が下流端から形成されることが判った。このことから、大規模水路群の形成は浸透流によって発生した表面流が段差を越える際に発生する不安定現象によって形成されることが示唆される。



図3 急勾配斜面上に形成される水路網

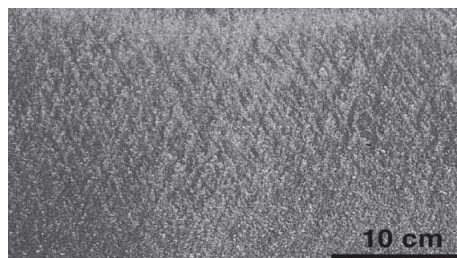


図4 波によって形成されるロンボイドリル

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計27件)

久世晴日, 泉 典洋, Adriano C. de Lima, 感潮域における水路網形成, 土木学会北海道支部論文報告集, 70, B-14, 2014, 査読無.

Noritaka Endo, Murakami Takashi, and Norihiro Izumi, Measurements concerning generation of rhomboid rills in flume experiments: Froude number and sand-topographic feature, *Journal of Physical Society of Japan*, doi:10.7566/JPSJ.82.033401, 2013, 査読有.

泉 典洋, 前田健一, 浸透層内における Rayleigh-Taylor 不安定, 土木学会論文集 A2, 69, 2, I\_545-I\_551, 2013, 査読有.

Toshiki Iwasaki, Yasuyuki Shimizu, and Ichiro Kimura, Modeling of the initiation and development of tidal creek networks, *Maritime Engineering*, 166, MA2, 76-88, <http://dx.doi.org/10.1680/maen.2012.12>, 2013, 査読有.

岩崎理樹, 奥寺亮太, 清水康行, 木村一郎, Tidal creek の形成・発達要因に関する一考察, 土木学会論文集 B1, 69, 4, I\_1093-I\_1098, 2013, 査読有.

島絵梨子, 渡邊康玄, 佐野賢司, 幅広水路を用いた流路網形成実験, 土木学会論文集 A2, 68, 2, I\_583-I\_590, 2012, 査読有.

岩崎理樹, 清水康行, 木村一郎, 浸透流を考慮した Tidal Creek の発達過程に関する数値解析, 土木学会論文集 B1, 68, 4, I\_979-I\_984, 2012, 査読有.

島絵梨子, 渡邊康玄, 福岡将太, 流路網形成過程に関する基礎的水理模型実験, 土木学会北海道支部論文報告集, 68, B-42, 2012, 査読無.

岩崎理樹, 渡部靖憲, 奥寺亮太, 清水康行, 木村一郎, 感潮湿原に形成される水路網の形状特性, 土木学会論文集 B2, 67, 2, I\_951-I\_956, 2011, 査読有.

竹井義博, 泉 典洋, 湧水侵食による初期水路群形成に関する研究, 土木学会論文集 A2, 67, 2, I\_511-I\_519, 2011, 査読有.

[学会発表](計12件)

久世晴日, 感潮域における水路網形成, 土木学会応用力学シンポジウム, 2014年5月10~11日, 琉球大学.

Yasuharu Watanabe, Hydraulic experiment on formation process of braided channels using wide flume, 8th Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, June 9-13, 2013, University of Cantabria, Santander, Spain.

Toshiki Iwasaki, A controlling factor on formation and development of tidal creek networks, 8th Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, June 9-13, 2013, University of Cantabria, Santander, Spain.

久世晴日, 潮汐をともなう河口デルタ地形の形成機構に関する研究, 平成24年度土木学会北海道支部年次技術研究発表会, 平成25年2月2~3日, 函館高専.

島絵梨子, 水理量の違いによる流路網形成過程の変化, 土木学会第67回年次学術講演会, 2012年9月5日~7日, 名古屋大学.

Toshiki Iwasaki, Numerical simulation on development processes of tidal creek network with seepage flow, 18th Congress of APD-IAHR, Aug. 19-23, 2012, ICC Jeju, Jeju Island, Korea.

長原準也, 降雨によって急勾配斜面上に形成される水路網, 日本地球惑星科学連合大会, 2012年5月21日, 幕張メッセ.

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

ホームページ等

特になし

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

泉 典洋 (IZUMI, Norihiro)

北海道大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 10260530

(2)研究分担者

清水 康行 (SHIMIZU, Yasuyuki)

北海道大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 20261331

渡邊 康玄 (WATANABE, Yasuharu)

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号: 00344424