

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03785

研究課題名(和文) 海の深さが支配するデルタ分流チャネルの動態と変遷：オート層序理論の実験的検証

研究課題名(英文) The dynamics and evolution of delta distributary channels controlled by basin water depth: Experimental examination of the autostratigraphic theory

研究代表者

武藤 鉄司 (MUTO, Tetsuji)

長崎大学・水産・環境科学総合研究科(環境)・教授

研究者番号：70212248

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：デルタを造る沖積河川チャネルの動態は上流側条件(流域の地質・地形・気候・植生、河川流量、堆積物供給量など)によって決定づけられるとする考え方が主流であった。研究代表者らが提唱した平衡指数モデルは、下流側の条件(海水準とデルタ前縁海底の水深)も重要因子の一つであることを強く示唆する。上流側の条件が不変でも、デルタ前縁海底の水深が空間的もしくは時間的に変わることによって分流チャネルの動態は劇的に変わる。モデル実験等の手法によりこの仮説を検証したところ、明瞭に支持する結果が得られた。この新理解により、例えば、黄河デルタではなぜ頻繁に流路変更が発生し、メコンデルタではなぜそうではないのかを容易に説明できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

デルタを造る沖積河川チャネルの動態と変遷がデルタ前縁海底の水深に強く規制されることを実験で実証した初めての研究である。仮説を提供した平衡指数モデル(オート層序理論の一つ)を裏付けるとともに、それとは全く独立に提唱されていた海岸線自動後退理論(1992年)との統合的理解をもたらす成果が、本研究によって得られた。

下流域沖積河川の動態の理解は防災管理の観点からも重要であり、本研究結果はその方面に基礎的知見を提供する。長期的に観ると、深い海に流入する河川と浅い海に流入する河川とでは氾濫や流路変更のリスクが大きく異なるはずである。河川が流入する海域の深さに留意することの重要性に気付かせる成果である。

研究成果の概要(英文)：It has long been believed that the behavior of river deltas is controlled by upstream conditions, such as variations in sediment and water discharges, which reflect the geology and climate of the hinterlands. Recent research suggests that the basin water depth as a downstream condition can also govern the morphodynamics of delta distributary channels. Evidence suggests that channels tend to be more stable on deltas that face deeper water basins and more prone to avulse in the opposite case. To explore this rationale, a series of model experimental runs was conducted. The results of the experiment confirm that deeper basin water suppresses delta progradation and causes less sediment to be distributed subaerially, which is accompanied by slower channel bed aggradation and more stabilized channels. Such a process can be quantitatively described by the grade index model, which is applicable to natural deltas and might help in the evaluation of the stability of delta distributary channels.

研究分野：堆積地質学

キーワード：デルタ 沖積河川 分流チャネル オート層序学 平衡指数 平衡河川 堆積盆水深 モデル実験

1. 研究開始当初の背景

(1)「堆積系の定常的挙動は外部フォーシングの定常性を反映し、非定常的挙動は外部フォーシングの非定常的変遷を反映する」という考え方を平衡応答の仮説と呼んでいる。近年平衡応答の仮説の伸びが顕在化してきたことと相まって、地層成因論の世界ではいまパラダイムの転換が起こりかけている。この転換の一翼を担っているのが、研究代表者らが2007年に提唱したオート層序学(autostratigraphy)である(Muto et al. 2007)。オート層序学は堆積系の非平衡応答と決定論的オートジェネシス(自己組織性)の理解に根差した地層成因論の新しい枠組みであり、「定常的外部フォーシングのもとで堆積系は一般に非定常的に挙動しながら特定の変遷過程をたどる。平衡応答は特殊な場合に限られる」と唱える。

(2)河川デルタ系に関わるオート層序理論を構成する基軸的知見の一つは、旧来のそれを大幅に改訂した平衡河川の新しい理解である。平衡河川とは、堆積物の輸送が行われているにも関わらず、堆積と侵食を実質的に伴わない河川のことである。その「新しい理解」に到達する過程で、研究代表者らはデルタプレーン上の物質輸送路である活動的分流チャンネルがどれほど平衡状態に近いかを数値で表現する平衡指数(grade index、 G_{index})を定義し、無次元海底水深 h_* の関数を用いて平衡指数を記述する平衡指数モデル(Grade Index Model)を提案した(Muto et al. 2016)。静止海水準かつデルタの幾何学的条件が不変であるならば、平衡指数 G_{index} は

$$G_{\text{index}} = \frac{1}{1 + 2h_* + \alpha_* h_*^2}$$

という簡単な式で与えられる。ただし、 α_* はデルタ水中斜面勾配で正規化した沖積勾配である。無次元化した平衡指数モデルの具体的な関数形は海底地形とデルタのジオメトリにより異なるが、どのような関数形であれ、無次元海底水深 h_* が大きくなるにつれて平衡指数 G_{index} は0へ漸近する。平衡、すなわち供給堆積物の全てが分流チャンネルをバイパスして河口よりも海側に堆積するならば $G_{\text{index}} = 0$ 、逆に供給堆積物の全てが分流チャンネルを含む沖積系に堆積するならば $G_{\text{index}} = 1$ で示される。

(3)従来、デルタ分流チャンネルの動態は、河川デルタ系に作用する上流側条件(流域の地質・地形・気候・植生とそれらを反映する河川流量、堆積物供給量、堆積粒子の粒度・鉱物組成など)によって決定づけられるとする考え方が主流であった。すなわち、分流チャンネルの動態が大きく変化した場合、その原因を上流側条件の変化に求めるのが普通であった。平衡指数モデルは、実はそれは甚だ不十分な理解であり、下流側の条件(特に、海水準とデルタ前縁海底の水深)も重要因子に含めて考慮する必要があることを示唆する(Muto et al. 2011、2016; ref. Carlson et al. 2018)。その通りであれば、上流側の条件が不変でも、デルタ前縁海底の水深が空間的もしくは時間的に大きく変わることによって分流チャンネルの動態が(非平衡応答により)劇的に変わると予想される。この新たな理解が開拓されることで、天然河川デルタ系の観方は大きく変わりうる。例えば、黄河デルタではなぜ頻繁にアバルジョンが発生し、メコン河デルタではなぜそうではないのかを容易に説明できるようになる。

2. 研究の目的

平衡指数モデルから導かれる知見「デルタ前縁海底の水深はデルタプレーン上の分流チャンネルの動態を支配し、その支配のもとで分流チャンネルは非平衡応答により変遷する」を実証することが本研究の主目的であった。具体的には次の二つの仮説について検討した。

(1) 仮説1 静止海水準条件のもとで、デルタ前縁海底の水深 h が限りなくゼロに近い場合の値でそれぞれ無次元化したデルタ海岸線の前進速度 R_{pro}^* 、分流チャンネルの平均側方移動速度 R_{mig}^* 、同平均埋積速度 R_{agg}^* の間には

$$R_{\text{pro}}^* = R_{\text{mig}}^* = R_{\text{agg}}^* = G_{\text{index}} \quad \text{[関係式 1]}$$

という単純な等式関係が成り立つ。 $*$ は無次元量を表す。

平衡指数 G_{index} は無次元海底水深 h_* の関数 ($h_* \rightarrow 0, G_{\text{index}} \rightarrow 1; h_* \rightarrow +\infty, G_{\text{index}} \rightarrow 0$) であるから、関係式 1 は分流チャンネルの動態が h_* に影響されることを示している。上流側の条件が不変でも、デルタ前縁海底の水深が変わることで分流チャンネルの埋積速度 R_{agg}^* 、側方移動速度 R_{mig}^* 、下流端のプログラデーション速度 R_{pro}^* 、アバルジョン時間尺度も変わる。沖側へ深くなる海底斜面上を前進するデルタにおいては、動的な外部フォーシングが不変でも、分流チャンネルがオートジェニックに(しかし決定論的に、かつ非平衡応答により)変遷し、平衡状態へ近づいていく。デルタが前進できない ($R_{\text{pro}}^* \sim 0$) ほどに深い海 ($h_* \sim +\infty$) に面する場合を模した水槽実験では関係式 1 ($R_{\text{pro}}^* = \dots = G_{\text{index}} \sim 0$) が支持されているものの (Muto et al. 2016)、 $0 < G_{\text{index}} < 1$ の場合に関係式 1 が一般的に成り立つか否かは確かめられていない。

(2) 仮説 2 定速海水準上昇のもとでも、平衡指数 G_{index} を考えることができ、少なくとも次の二つの関係式が成り立つ(地形条件: デルタ水中斜面勾配 < 陸側基盤斜面勾配)。

$$R_{\text{pro}}^* = (1 - A_{b*})G_{\text{index}} \quad \text{[関係式 2a]}$$

$$R_{\text{agg}}^* = R_{\text{mig}}^* = A_* + (1 - A_{b*})G_{\text{index}} \quad \text{[関係式 2b]}$$

ただし、 A_{b*} はデルタ堆積体の底面積、 A_* はデルタプレインの水平面積を、それぞれオート層序学的長さスケール Λ_{3D} (Muto et al. 2007) の二乗で無次元化した値である。

$A_{b*} < 1$ ならば $R_{\text{pro}}^* > 0$ (海岸線は海側へ前進)、 $A_{b*} > 1$ ならば $R_{\text{pro}}^* < 0$ (海岸線は陸側へ後退) となる。 A_{b*} 値はデルタの成長過程で必然的に 1 を超えることから、関係式 2a は海岸線自動後退(非平衡応答の一例)を表現している。海岸線自動後退過程において A_{b*} は引き続き増加するが、無次元水深 h_* の増大に伴い G_{index} が 0 へ漸近していく。また海岸線の後退に伴い、 A_* も次第に 0 へと漸近し、最後はデルタ系全体が水没する (autodrowning, Tomer et al. 2011)。すなわち、関係式 2b はデルタが非デルタ化へと至る非平衡応答を表現している。海岸線自動後退の開始から非デルタ化するまでの過程で、分流チャンネルは埋積・側方移動ともに鈍化していき、特定の場所に固定されやすくなる。なお $R_{\text{pro}}^* \neq R_{\text{agg}}^*$ であることから、海水準上昇のもとでは関係式 1 は部分的にしか成り立たない。

3. 研究の方法

水槽モデル実験の手法により、仮説 1 と仮説 2 が一般的に成り立つか否かを確かめた。両仮説とも単純な数式(関係式 1、2a、2b)で表現されることから、実験で得られた計測値を式の中の変数に代入して等式がおおよそ成り立つか否かが判定基準となった。この作業と並行して、理論的検討も行った。

実験は全て、長崎大学環境科学部の地球科学共同実験室 1 に設置されている二次元堆積実験水槽 マルジ 5 号 (2.8m × 1.4m × 深さ 0.65m) および一次元堆積実験水槽 マルジ 6 号 (6.5m × 0.60m × 深さ 1.3m) を使用して行われた。これらの水槽を連結する電磁流量計(PC 制御)により、水槽内水位を精密に固定もしくは一定速度で変化させた。使用する堆積試料は日本銀砂(株)製ホワイトサンド#8 を主体とする混合試料で、水槽の一角から定量給砂した。実験中、給砂量と水流量を固定し、水は水槽内で循環させた。

実験水槽の上方に取り付けられているカメラで、デルタの成長過程をプログラム撮影した。写真画像上の分流チャンネルの位置座標を ImageJ 上で読み取り、そのデータを Excel ファイルに記録し、さらに MATLAB を用いてグラフ化した。

4. 研究成果

仮説 1 および仮説 2 はいずれも検証により確かめられた。本成果および関連する主な新発見と

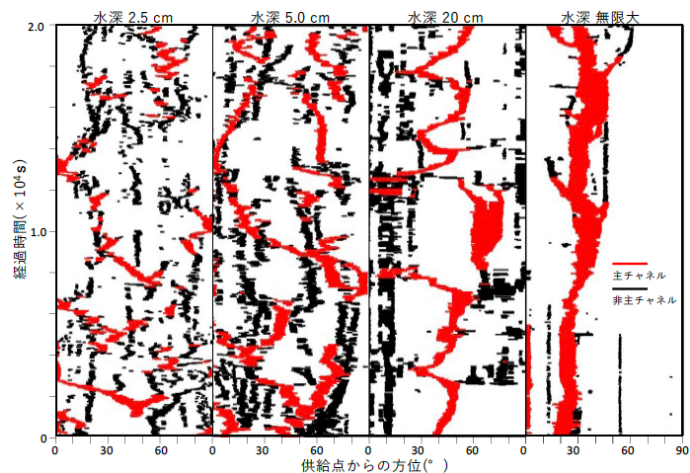


図 1. 活動的の分流チャンネルの海岸線位置。主チャンネル(赤)は供給点とつながり、海岸線での堆積が確認されたチャンネル、非主チャンネル(黒)はその他のチャンネルを表す。

して3点を挙げておく。

(1) 水槽内水位をラン毎に替えて行う実験により、デルタ分流チャンネルに及ぼす堆積盆水深の効果の一端が明らかになった。図1に示すように、活動的分流チャンネルが流入する堆積盆の水深が増すほど、チャンネルは側方移動をしなくなり、特定の同じ場所に留まり続ける顕著な傾向を示した。 G_{index} が0へ近づくとつれて、活動的分流チャンネルの側方移動速度 R_{mig} が低下し、無限大水深のもとでは $R_{mig} \sim 0$ となった。デルタ前進速度 R_{pro} とデルタプレーン埋積速度 R_{agg} も同じような傾向を示した(図2)。これらの結果は平衡指数モデルと合致し、仮説1を明確に支持する。この新知見をアメリカ地球物理学連合 Geophysical Research Letters 誌(2019年5月刊)にて報告した。

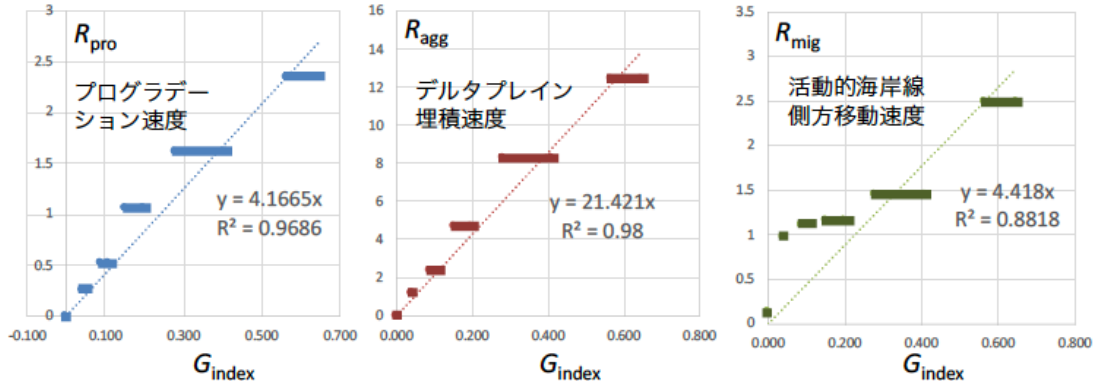


図2. 実験で得られた線形関係。平衡指数 G_{index} は、デルタプログラデーション速度 R_{pro} 、デルタプレーン埋積速度 R_{agg} 、活動的のチャンネル(海岸線)の移動速度 R_{mig} と比例することを示す。

(2) 平衡指数モデルを海水準上昇期に拡張させることを意図して理論的に検討したところ、モデルを記述する数式の基本形を変えることなく、堆積盆水深の変化速度などを係数に繰り込むことで対処できることが判明した。すなわち、

$$G_{index} = \frac{\alpha A_t \dot{x} + A_t \dot{h}}{Q_s} = \frac{1}{1 + 2C_1 h_* + \alpha_* C_2 h_*^2}$$

ただし、 A_t はデルタプレーンの底面積、 \dot{x} はデルタプレーン半径の時間微分、 \dot{h} は堆積盆水深の時間微分、 C_1 と C_2 は \dot{x}/\dot{h} と幾何学的パラメータで決まる係数である。このようにして与えられる平衡指数は、例えば海水準上昇の条件下で必然的に起こる海岸線の自動後退を説明できる。オート層序学的長さスケールで無次元化したデルタプレーン底面積 A_{t*} 、陸側基盤斜面勾配 γ とすると、その判定式は

$$A_{t*} = \frac{\gamma - \alpha}{\gamma} G_{index}$$

で示される。この等式が成り立つ時が海岸線が最大前進位置に来た時を表し、左辺<右辺ならば海側へ前進、左辺>右辺ならば陸側へ後退を意味する。この式は、以前から知られていた海岸線自動後退理論 (Muto and Steel 1992; Muto 2001) と平衡指数モデルが互いに整合性を持つことを示している。そして、このことを数値実験でも裏付けることができた(図3)。本知見および関係する新知見を国際堆積学会 Basin Research 誌(2020年4月刊)にて報告した。

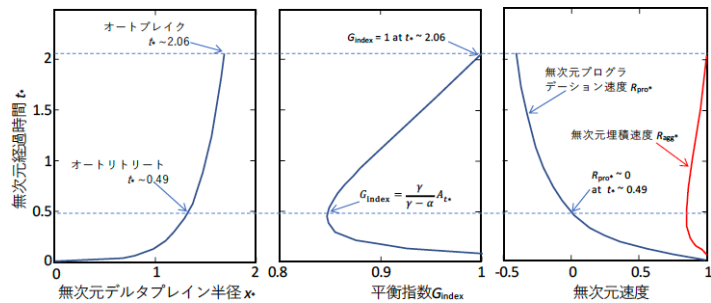


図3 海水準上昇条件に適用した平衡指数モデル(オートリトリート-オートブレイク系列の場合)。幾何学的パラメータには任意の値を使用。平衡指数 G_{index} の変遷過程と海岸線自動後退過程は密接に関係する。

(3) 堆積盆水深を所定の周期・振幅のもとで振動させつつ、沖積-大陸棚系を成長させるモデル実験シリーズにより、海水準変動サイクルのもとでのデルタ性大陸棚の非平衡応答の変遷と取

束を解明した。

従来のデルタ性大陸棚の成長モデルでは、海水準変動が1サイクルを経てもとの位相に戻るたびに同じ層序応答を繰り返すことが想定されている。しかし、この実験シリーズからは、海水準変動サイクルが進行するに連れて層序応答のスタイルが変遷することが示された。すなわち、系が小さい段階(早期サイクル)では、海水準上昇期に海岸線自動後退→デルタ性海進→非デルタ性海進、海水準下降期に初期埋積→平衡→削剥・下刻過程といったような顕著な非平衡応答が起こるが、系が十分に成長して大きなサイズを獲得した段階(晩期サイクル)では、海水準上昇期に非デルタ性海進、海水準下降期にデルタ性海退と埋積といったような平衡応答へ収束するのである。特に海水準下降期には削剥・下刻が全く起こらなくなると予想される(無削剥フェイズ)。なお、有削剥フェイズから無削剥フェイズへの遷移のタイミングは、海水準変動サイクル数 N_{bl} と無次元振幅 A_{bl}^* とで示される。それは

$$N_{bl} \sim 2A_{bl}^*$$

という線形関係で示される(図4)。この関係式は無次元であることから、海水準がどんなに速く大きく上下変動しても、有削剥フェイズから無削剥フェイズへの遷移は必ず起こることを示唆している。この関係式は時間でも示すことができ、

$$t_{trans}^* \sim \alpha (T_{cycle}^*)^2$$

と表現される。ただし、 t_{trans}^* は遷移の実現に要する無次元時間、 T_{cycle}^* は海水準変動サイクルの経過時間を無次元化したものである。これらの無次元化にはオート層序学的時間スケールが用いられている。こうした沖積-陸棚系成長の一連の過程を通じて、平衡指数は振動しつつも、ある特定の値に収束すると予想される。

これらの知見は、海水準変動が1サイクルを経てもとの位相に戻るたびに同じ海水準にきていることを想定したモデルである。もし、海水準変動サイクルが上昇傾向にあるならば、海水準下降期の削剥・下刻は一層顕著になり、逆に下降傾向のもとでは無削剥フェイズが早いタイミングで実現すると予想される。これらの成果の一部を国際堆積学会 Sedimentology 誌(2021年1月刊)にて報告した。

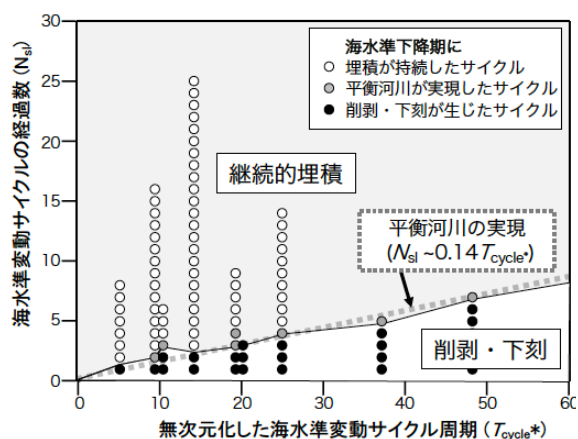


図4. 海水準変動サイクルのもとで沖積-大陸棚系が必然的に経験する無削剥フェイズへの移行タイミング。LA_{LR}~HA_{HR}は実験ランの名称。海水準変動速度・振幅がどんな大きくても、系はやがて無削剥フェイズへ移行することを示唆する。

<引用文献>

- Carlson B, Piliouras A, Muto T, Kim W, 2018, Control of basin water depth on channel morphology and autogenic timescales in deltaic systems. *Journal of Sedimentary Research*, v.88, pp.1026–1039.
- Muto T, 2001, Shoreline autoretreat substantiated in flume experiments. *Journal of Sedimentary Research*, v. 71, pp. 246–254.
- Muto T, Furubayashi R, Tomer A, Sato T, Kim W, Naruse H, Parker G, 2016, Planform evolution of deltas with graded alluvial topsets: Insights from three-dimensional tank experiments, geometric considerations and field applications. *Sedimentology*, v.63, <https://doi:10.1111/sed.12301>.
- Muto T, Miao H, Parker G, 2011, How do deltas respond as they prograde over bathymetry that varies in the transverse direction?: Results of tank experiment. *The 7th IAHR Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics: RCEM2011*.
- Muto T, Steel RJ, 1992, Retreat of the front in a prograding delta. *Geology*, v.20, pp.967-970.
- Muto T, Steel RJ, Swenson JB, 2007, Autostratigraphy: a framework norm for genetic stratigraphy. *Journal of Sedimentary Research*, v.77, pp.2–12.
- Tomer A, Kim W, Muto T, 2011, Autogenic hiatus in fluviodeltaic successions: Geometrical modeling and physical experiments. *Journal of Sedimentary Research*, v. 81, pp. 207–217.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Wang Junhui, Tamura Toru, Muto Tetsuji	4. 巻 47
2. 論文標題 Construction and destruction of an autogenic grade system: The late Holocene Mekong River delta, Vietnam	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geology	6. 最初と最後の頁 669 ~ 672
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1130/G45872.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Wang Junhui, Muto Tetsuji, Urata Kento, Sato Toshihiko, Naruse Hajime	4. 巻 46
2. 論文標題 Morphodynamics of River Deltas in Response to Different Basin Water Depths: An Experimental Examination of the Grade Index Model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 5265 ~ 5273
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019GL082483	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Wang Junhui, Naruse Hajime, Muto Tetsuji	4. 巻 32
2. 論文標題 The grade index model as a rationale for autogenic nonequilibrium responses of deltaic clinoform to relative sea level rise	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Basin Research	6. 最初と最後の頁 378 ~ 387
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/bre.12418	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Wu Chenliang, Nittrouer Jeffrey A., Muto Tetsuji, Naito Kensuke, Parker Gary	4. 巻 48
2. 論文標題 Morphodynamic equilibrium of lowland river systems during autoretreat	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geology	6. 最初と最後の頁 1062 ~ 1066
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1130/G47556.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Wang Junhui、Muto Tetsuji	4. 巻 68
2. 論文標題 Autostratigraphic modelling of the growth of alluvial shelf systems during steady base level cycles: Two dimensional tank experiments	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sedimentology	6. 最初と最後の頁 135 ~ 167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/sed.12789	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Wang Junhui、Naruse Hajime、Muto Tetsuji
2. 発表標題 Autogenic non-equilibrium responses of river deltas: Extension of the grade index model to base level rise
3. 学会等名 日本堆積学会2019年大阪大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Adojoh Onema, Omuije Jude, Muto Tetsuji
2. 発表標題 Fluvio-tidal controls on the lateral reservoirs: Implications from the Onshore Depobelts of the Niger Delta, Nigeria, West African Margin
3. 学会等名 日本堆積学会2019年大阪大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wang Junhui、Muto Tetsuji
2. 発表標題 A governing equation of nondeltaic transgressive profile: 2D numerical simulation and flume experiments
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wang Junhui、Muto Tetsuji
2. 発表標題 Autogenic grade: Theory, experiments, and field application
3. 学会等名 4th International Conference of Palaeogeography (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wang Junhui, Muto Tetsuji, Naruse Hajime
2. 発表標題 Different behaviors of delta distributary channels by different basin water depths: The grade index model as a rationale
3. 学会等名 Geological Society of America 2019 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wang Junhui、Tamura Toru、Muto Tetsuji
2. 発表標題 The late Holocene Mekong River delta as an autogenic grade system
3. 学会等名 Geological Society of America 2019 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Muto Tetsuji、Wang Junhui
2. 発表標題 Stratigraphic configuration of alluvial-shelf systems after experiencing a large number of steady base-level cycles: An autostratigraphic view with 2D tank experiments
3. 学会等名 American Geophysical Union 2019 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Junhui Wang、Tetsuji Muto
2. 発表標題 Alluvial grade attained in the regime of shelf growth during multiple cycles of relative sea level
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Annual Meeting 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Junhui Wang, 武藤鉄司
2. 発表標題 堆積性大陸棚の成長過程で遷移的に現れるオートジェニックな平衡河川: モデル実験
3. 学会等名 日本地質学会第125年学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Junhui Wang、Tetsuji Muto
2. 発表標題 Grade alluvial systems attained during multiple relative sea level cycles
3. 学会等名 20th International Sedimentological Congress (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
中国	China University of Petroleum (Beijing)			
米国	University of Texas at Austin			