

機関番号：34406

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20340141

研究課題名（和文） 複合流ベッドフォームダイアグラムの作成：  
堆積構造の新たな統一的解釈に向けて

研究課題名（英文） New bedform phase diagram for combined flow, aiming for the accurate interpretation of sedimentary structures.

研究代表者

横川 美和 (YOKOKAWA MIWA)

大阪工業大学・情報科学部・准教授

研究者番号：30240188

研究成果の概要（和文）：波と流れが同時に作用する複合流について、これまで実験が行われていなかった中周期(4, 6秒)の複合流が形成するベッドフォームとその堆積構造を明らかにした。また、これらを既存の短周期(~2秒)・長周期(8秒~)の実験結果と合わせて形成水理条件を整理し、ベッドフォーム形態の変化に周期依存性や粒径依存性があることを明らかにした。また、短周期の複合流リップル形成時の流れ場についてPIV解析を行い、その特徴を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We newly performed a series of flume-experiments to investigate the relationship between hydraulic conditions and bedform morphology and internal sedimentary structures generated by combined flow, i.e., combined waves and currents, with 4-sec and 6-sec oscillation periods. The results were compiled with previous experimental results, and we found that there is dependence on oscillation periods and grain size in changing morphology of bedforms. In addition, PIV analyses were conducted to investigate the characteristic water movement and distribution of the vorticity around the combined-flow ripples.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	7,600,000	2,280,000	9,880,000
2009年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
年度			
総計	14,100,000	4,230,000	18,330,000

研究分野：堆積学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：複合流, ベッドフォーム, 堆積構造, 水路実験, PIV, 渦度

## 1. 研究開始当初の背景

地層から過去の環境情報を読む為の基本的なツールとして、堆積構造がある。堆積構造は流れの作用によって砂床上に形成され

るベッドフォームが累積する事によって地層中に残る。従って、地層中の堆積構造から古水理条件を読む為には水理条件に対応して形成されるベッドフォームの形態が明ら

かになっていなければならない。ベッドフォームと水理条件の関係については 1960 年代から多くの水路実験が行われ、一方向流、および振動流によって形成されるベッドフォームのフェーズダイアグラムは完成している。しかし、自然界に普遍的に存在する複合流（波と一方向流れが同時に作用する流れ）によって形成されるベッドフォームの形態と水理条件の関係についての実験的研究は驚くほど少なかった。その理由はおそらく、実験水路で複合流を起こす事が技術的に難しい事と、複合流の重要性が認識されていなかった事である。1980 年代後半に巻き起こったハンモック状斜交層理の形成メカニズム論争によって複合流が注目を浴びるようになり、J. B. Southard のグループが周期の長い振動流に弱い一方向流を加えた複合流を起こす水槽を開発した (Southard et al., 1990; Arnott and Southard, 1990)。しかしこの後も、複合流ベッドフォームについてのシステムティックな実験的研究は、Yokokawa (1995), Dumas et al. (2005), Takagawa (2007) によって行われたのみであった。複合流によるベッドフォームの形態と水理条件については、膨大な領域が手つかずのまま残されていた。

## 2. 研究の目的

そこで、上述の背景をもとに、次の 4 点を本研究課題の目的とした。

(1) これまでに実験が行なわれていない複合流（特に周期 2~8 秒の振動流に一方向流を加えた複合流）によって形成される複合流ベッドフォームの安定領域ダイアグラムを作成する。

(2) さらにこれまでに得られているベッドフォーム安定領域ダイアグラムと統合し、統一的な解釈が可能になるようにする。

(3) 複合流ベッドフォームの形態的特徴や、そのベッドフォームによって形成される堆積構造を詳細に記載する。またそれらの形態的特徴を、現世堆積物の形態あるいは地層中の堆積構造へ適用可能な数値指標として表現する事を目指す。

(4) 複合流ベッドフォームが形成されている時の砂床付近の流体場を観察し、そのモデル化を目指す。

## 3. 研究の方法

本研究では、波と流れを同時に作用させることができる実験水路を用いて、複合流によって形成されるベッドフォームの形態と水理条件との関係を調べた。さらに、ベッドフォームの前進により形成される堆積構造について、記載・観察を行った。また、PIV の手法を用いて、複合流特有の形態を示すベッドフォーム周辺の流れ場特性について観察した。研究に用いた主な機器は以下の通りである。

(1) イリノイ大学に設置の閉鎖式大型水路（テストセクションの長さ 15m, 幅 0.8m, 高さ 1.2m）：中周期（4~6 秒）の複合流実験

(2) 同志社大学理工学部の造波機付き小型循環水路（長さ 12m, 幅 0.2m, 深さ 0.4m）：短周期（1~2 秒）の複合流実験。

(3) 筑波大学陸域環境研究センターに設置の造波機付き小型循環水路（長さ 12m, 幅 0.2m, 深さ 0.5m）：短周期（1~2 秒）の複合流実験。

(4) 高速カメラ (IDT ジャパン (株), M-3 モノクロ) 一式：複合流リップル形成時の流れ場の PIV 解析。

## 4. 研究成果

以下に、各年度の研究成果を述べる。

(1) 2008 年度

① 翌年度からの実験に向けてイリノイ大

学の閉鎖式大型造波水槽を見学し、海外研究協力者であるイリノイ大学水理実験所の Garcia 教授ならびにイリノイ大学理学部地質学科の Best 教授らと実験テーマについての詳細な打ち合わせを行った。これに先立ち、先行研究のレビューを行った。②同志社大学理工学部を設置の造波機付き小型循環水路を用いた実験を行い、高速カメラによって砂床付近の流体と砂の動きを撮影し、PIV 等によって流速分布の時間的変化を解析した。その結果、砂床付近で形成される渦の大きさや移流距離、上位の水塊の流速分布との関係について、流れが卓越する複合流に際立った特徴が見られる事がわかった。この特徴はこれまでに考案されている数値モデルでは記述されていないものである事も明らかになった。③静岡県浜松市の馬込川河口域において、実際の複合流（河川流+潮流+波浪）とそれによって形成されたベッドフォームの形態の現地観測を行い、実験結果との比較等を行った。

## (2) 2009 年度

①同志社大学理工学部の造波機付き小型循環水路を用いて周期が短い（1~2 秒）複合流の鉛直方向の速度分布を ADV によって求め、他の実験と流速を直接比較ができるように換算法を作成した。②イリノイ大学の閉鎖式大型造波水槽（テストセクションの長さ 15m, 幅 0.8m, 高さ 1.2m）を用いて周期 6 秒および 4 秒の複合流ベッドフォーム形成の実験を行った。これらの周期の複合流ベッドフォームの実験は世界初である。実験は中央粒径 0.25mm の石英砂を 0.6m の高さまで敷き詰めて（水深 0.6m）行った。実験時間の制約から、予備実験の結果に基づいて、一方向流成分の変化の効果が最も現れやすく平衡状態に達するまでの時間が極端に長くない振動流速（25 cm/sec）を選び、振動流速を固定

して一方向流速を 0~40cm/sec の間で変化させ、形成されるベッドフォームの形態や堆積構造、それらの形成過程ならびに流速分布などを測定した。それらをこれまでに行われている実験とも比較し、以下の結果を得た。(a) どの周期においても、同じ種類のベッドフォームが形成される。すなわち、Symmetric Small Ripples (SSR), Asymmetric Small Ripples (ASR), Asymmetric Large Ripples (ALR), Dune-like ALR である。(b)ただし、これらの境界、すなわち一方向流がベッドフォームの形態に影響を与え始める流速は周期によって異なる。周期が長くなるほど、小さな一方向流速でもその影響が表れる事がわかった。③2008 年度に PIV によって流速分布の時間的変化を求めた周期の短い複合流リップルの高速カメラ画像について、さらに渦度の分布の時間的変化を求めた。その結果、砂床付近で形成される渦の大きさや移流距離を定量的に表現することができた。

## (3) 2010 年度

①同志社大学理工学部の造波機付き小型循環水路を用いて、周期が短い（1~2 秒）複合流によってリップルが形成されている時の流れ場を高速カメラで撮影し、PIV 解析を行った。今年度は 20 周期分の画像から位相平均を求め、それぞれの位相での流速分布、渦の分布などを求めた。その結果、振動流が卓越する複合流と一方向流が卓越する複合流では、砂床付近で形成される渦の大きさや移流距離が大きく異なる事が示された。②前年度閉鎖式大型造波水槽で実験を行ったイリノイ大学水理実験所を訪問し、海外研究協力者であるイリノイ大学工学部水理実験所の Garcia 教授、Parker 教授、同理学部地質学科の Best 教授、Perillo 氏（院生）と実験結果についての議論を行った。それを踏まえてこれまでの研究成果のまとめを行った。すな

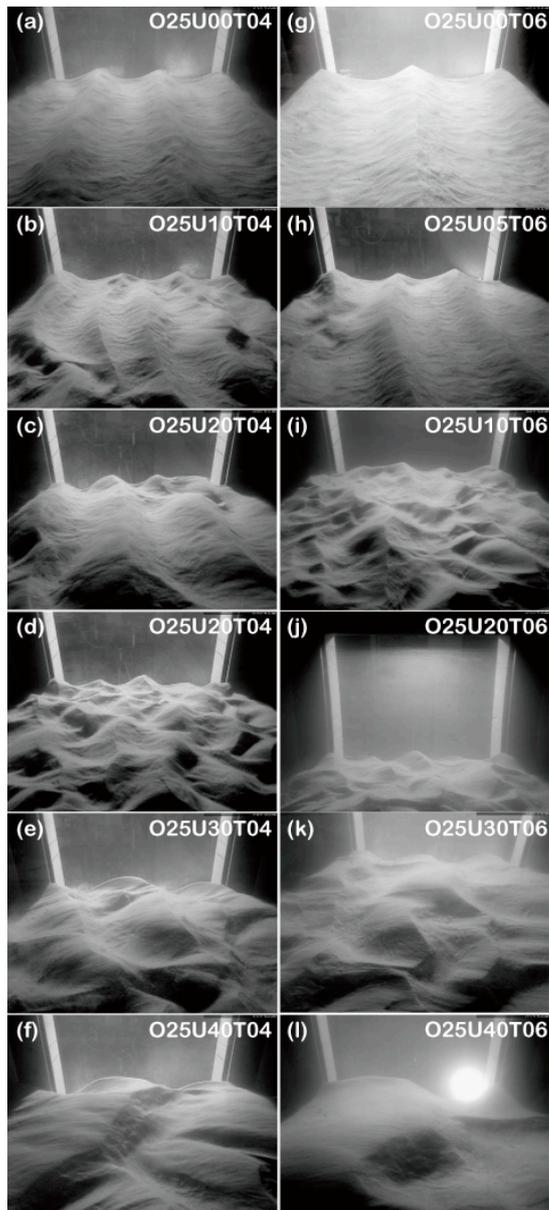


図 1 イリノイ大学の閉鎖式大型水路で形成されたベッドフォームの形態（斜め上から見た所）。振動流はピストンによって発生，一方向流は左から右．奥にある窓枠の幅が 60cm. 右上の記号は実験条件を示す．O: 振動流速 (cm/s), U: 一方向流速 (cm/s), T: 振動流の周期 (s). これらの画像は，U40 の場合を除いて，平衡状態に達した後撮影している．(c) と (d) は同じ条件で，平衡状態に達した後 1~2 時間毎にこれらの状態が入れ替わって現れる．

わち，周期 4 秒，6 秒の中周期複合流により形成されるベッドフォーム（図 1）とその内部構造を記載した．既存の実験結果と比較すると，一方向流がベッドフォーム形態に影響を及ぼし始める値は，周期が長いほど小さい

事が明らかになった．またこれら複合流ベッドフォームの形成条件をコンパイルし，無次元パラメーターによる形成領域図を作製した．③平成 20 年度に改修を行った筑波大学陸域環境センターの造波機付き小型循環水路で細粒堆積物 (0.1mm) を用いた短周期 ( $T=1 \sim 1.5$  秒) の複合流実験を行い，既存の実験結果との比較を行った．その結果，(a) 周期 1 秒では，0.2mm の砂と 0.1mm の砂で一方向流の影響が出始める（リップルが非対称になる）流速はほぼ同じ ( $U_u=17$  cm/s) であるのに対し，周期 1.5 秒になると，両者はそれぞれ  $U_u \sim 8$  cm/s,  $U_u \sim 17$  cm/s と大きく異なる事，(b) 周期 1.5 秒で 0.2mm の砂で見出されたデューン様の大型リップルは 0.1mm では出現しない事，等がわかった．

なお，以上の結果の詳細については，別冊の報告書を参照されたい（横川美和・関口智寛・高川智博，複合流ベッドフォームダイアグラムの作成：堆積構造の新たな統一的解釈に向けて．平成 20 年度～平成 22 年度科学研究費補助金 (基盤研究 (B)) 研究成果報告書，大阪工業大学情報科学部，pp. 398, 2011 年 3 月発行)．

## 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 3 件)

- (1) Yokokawa, M., Ohki, K., Sekiguchi, T., Takagawa, T., 2009, Topography of ripples generated by combined waves and currents and surrounding water movement analyzed by PIV. In Vionnet, C., et al., eds., *River, Coastal and Estuarine Morphodynamics (RCEM 2009)*, p.799-804. 査読有り.
- (2) Takagawa, T. and Masuda, F., 2009,

Experimental study on formative conditions of hummocky bedforms, *In* Vionnet, C., et al., eds., *River, Coastal and Estuarine Morphodynamics (RCEM 2009)*, 825-831. 査読有り.

- (3) Sekiguchi, T. and Yokokawa, M. 2008, Effects of wave period on combined-flow bedforms a flume experiment. *Marine and River Dune Dynamics III*, 281-284. 査読有り.

[学会発表] (計 11 件)

- (1) Perillo, M. M., Yokokawa, M., Sekiguchi, T., Takagawa, T., Hasegawa, Y., Pedocchi, F., Best, J., Garcia, M. H., A new bedform phase diagram for combined flows. 18th International Sedimentological Congress. Mendoza, Argentina. 2010.9.
- (2) Takagawa, T., Yokokawa, M., Sekiguchi, T., Azuma, R., Vorticity distributions over combined-flow ripples. 18th International Sedimentological Congress. Mendoza, Argentina. 2010.9.
- (3) 高川智博・横川美和・関口智寛・東 良慶, 複合流リップル上の流れ場解析. 日本地質学会第 117 年学術大会 (富山大会), 富山大学, 2010 年 9 月 18 日.
- (4) Perillo, M. M., Yokokawa, M., Sekiguchi, T., Takagawa, T., Hasegawa, Y., Pedocchi, F., Garcia, M. H., Best, J., Bedform morphology under combined flows. American Association of Petroleum Geologists Spring Meeting 2010. New Orleans, U.S.A. 2010.4.
- (5) 横川美和・大木浩司・工藤幸生・東 良慶・関口智寛・高川智博, 複合流リップル形成時の渦度の分布. 日本堆積学会 2010 年茨城大会, 茨城大学, 2010 年 3 月 27 日.

- (6) Yokokawa, M., Sekiguchi, T., Takagawa, T., Perillo, M. M., Hasegawa, Y., Pedocchi, F., Garcia, M. H., Best, J., Bedform morphology under combined flows with a 6-second oscillation period. American Geophysical Union Fall Meeting 2009. San Francisco, U.S.A. 2009.12.15.

- (7) Yokokawa, M., Ohki, K., Sekiguchi, T., Takagawa, T., 2009, Topography of ripples generated by combined waves and currents and surrounding water movement analyzed by PIV. *River, Coastal and Estuarine Morphodynamics (RCEM 2009)*, Santa Fe, Argentina. 2009.9.24.

- (8) Takagawa, T. and Masuda, F., 2009, Experimental study on formative conditions of hummocky bedforms, *River, Coastal and Estuarine Morphodynamics (RCEM 2009)*, Santa Fe, Argentina. 2009.9.22.

- (9) 横川美和・関口智寛・高川智博, PIV による複合流リップル周囲の流れ場解析. 第 58 回理論応用力学講演会. 日本学術会議 (東京), 2009 年 6 月 9 日.

- (10) 横川美和・関口智寛・高川智博, 複合流リップル周囲の流体場の特徴: PIV による解析例. 日本堆積学会 2009 年京都枚方大会, 大阪工業大学, 2009 年 3 月 29 日.

- (11) 平松遥奈・高川智博・横川美和・関口智寛・牛小静・佐藤慎司, 複合流状況の変化に伴うベッドフォームの変化: 静岡県浜松市馬込川における現地観測. 日本堆積学会 2009 年京都枚方大会, 大阪工業大学, 2009 年 3 月 29 日.

[その他]

ホームページ等

[関口智寛]

<http://www.suiri.tsukuba.ac.jp/~sekiguchi/>

[高川智博]

<http://coastal.t.u-tokyo.ac.jp/takagawa/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

横川 美和 (YOKOKAWA MIWA)

大阪工業大学・情報科学部・准教授

研究者番号：30240188

### (2) 研究分担者

関口 智寛 (SEKIGUCHI TOMOHIRO)

筑波大学・生命環境科学研究科・講師

研究者番号：90400647

高川 智博 (TAKAGAWA TOMOHIRO)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：30451785

### (3) 研究協力者

Marcelo H. GARCIA (Marcelo H. GARCIA)

イリノイ大学工学部・教授

研究者番号：

Gary PARKER (Gary PARKER)

イリノイ大学工学部・教授

研究者番号：

Jim BEST (Jim BEST)

イリノイ大学理学部・教授

研究者番号：

Mauricio M. P ERILLO (Mauricio M. PERILLO)

イリノイ大学理学部・院生

研究者番号：