

河床礫と海浜礫の長軸方向の定向配列

青 野 宏 美

Preferred Orientation of the fluvial and beach gravels observed in Gifu and Mie Prefectures, Central Japan

Hiromi AONO

Abstract

The fluvial gravels along the Kiso and Nagara Rivers in Gifu Prefecture had been investigated and the trends of the long axes of them were also measured. In order to compare with the fluvial gravels, pebbles and unpolished rice had been thrown into the experimental water channel and the trend of the long axes of them were also measured by Teramoto (2008). It was clearly found that the long axes of the particles of gravels and rice were perpendicular to the water flow direction.

The beach gravels on the berm and foreshore along the “Shichiri-Mihama” Coast in Mie Prefecture were also surveyed, but the preferred orientation of the gravels were not clearly observed in comparison with the fluvial ones.

Key words

preferred orientation, fluvial, beach gravel, berm, foreshore

1. は じ め に

河川には、美しいインプリケーションを伴う河床礫が、しばしば観察される（例えば、公文・立石, 1998；ウィリアム・ムーア, 2003）。岐阜県を流れる木曽三川のうち、木曽川と長良川の中流域（図1の Site-1, Site-2）でも、多くの河床礫がインプリケーションを伴い、その河床礫の長軸方向が河川の流れの方向と直交しているのが観察される。これらの河床礫の長軸の方位を測定し、さらに室内実験として簡易実験水路を作成して、その水路に中礫と玄米を実際に流して、各粒子の長軸の方位を測定して比較したところ、河床礫の長軸の方位とほぼ一致することがわかった（寺本, 2008）。実際に木曽川では10 m 近い長さの流木の残骸が横たわり、その幹の方向が現在流れている河川の本流の方向と一致しているので、これらの河床礫は、洪水（増水）時に運ばれてきたと考えられる。普段は、河原として地表に現れている河床礫の多くが、洪水や鉄砲水あるいは土石流に伴う急激な増水時に、ゴロゴロと運ばれ、流されてきたと考えられるので、平穏時の河川の流速では運搬されないような、なるべく大きな河床礫（大～巨礫）を選び、長軸の方位の測定を行った。

さらに、河川の礫と海浜の礫との比較を行うために、三重県の七里御浜（図2の Site-3, Site-4）に出かけ、礫浜からなる前浜（フォーショアー）と汀段（バーム）上にある、海浜礫を対象

にその長軸の方位を測定した。その結果、海浜の礫は、河川の礫ほど、長軸の方位が安定して配列せず、またインプリケーションの発達も弱いことがわかった。



図 1. 岐阜県を流れる木曽川の河床礫 (Site-1) と長良川河床礫 (Site-2) の位置 (Google Earth 使用)



図 2. 三重県東岸の七里御浜の海浜礫 (Site-3, Site-4) の位置 (Google Earth 使用)

2. 河床礫の定向配列

河原の礫には、しばしばインプリケーションの発達が見られる。その河床礫の長軸方向は、河川の流れに対して直行しているように見えることが多い。岐阜県には、木曽川・長良川・揖斐川の木曽三川が流れており、新生代中新世以前から始まり、現在も続いている濃尾平野の西への傾動沈降運動（桑原，1975；青野，2007）に伴い、これらの河川堆積物の埋積作用によって濃尾平野が形成されてきた。これらの河川の中で比較的河床礫径の大きな木曽川と長良川を選んで河床礫の調査を行い、その長軸方向を測定した。また、室内実験として、簡易実験水路を作成し、ペブルサイズの礫（中礫）と玄米を用いて水を流してそれらの粒子の長軸方向を測定した（寺本，2008）。河川敷での礫種と礫の長軸の方位を測定する際は、5 m 四方をメジャーで囲み、その中にある礫を大きい礫径の順に100個選んで、その礫種と方位を記録した。この論文では、特に礫の長軸の方位に焦点を絞って記載する。

2-1. 木曽川中島町左岸の河床礫の長軸方向

木曽川中島町左岸（Site-1）には、みごとなインプリケーションを伴う中～巨礫が見られ、木曽川の洪水時に運ばれたと思われる流木も、その礫の配列と調和的に倒れている（写真-1）。木曽川の流路は、平穏時には河川敷の真ん中を流れ、左岸や右岸には洪水（増水）時に運ばれてきた大～巨礫と流木が残されている。この流木は、根の部分が上流側を向き、枝の部分が下流側を向いて倒れているので、より重い根っこの部分が重しとなり、枝の部分が下流側を向いて横たわっている。この流木の方法は、礫のインプリケーションが示す洪水時の流向と調和的である。ここに分布している河床礫の長軸の方位は、その平均は $N 4^{\circ} W$ となり、ほぼ南北方向を示し、

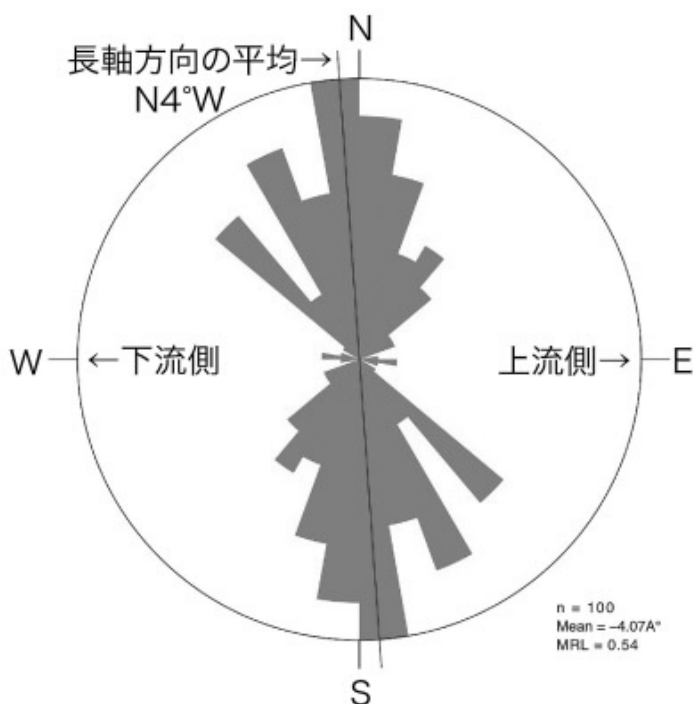


図3. 木曽川中島町左岸（Site-1）の河床礫の長軸方向

木曽川の主流の方向（東西方向）に直交していることがわかる（図3）。また、礫のインプリケーションの向きから、洪水時にほぼ東から西に向かって流れたことが示される。この場所での礫の最大径は74 cm であり、「粒径と流速の関係」のグラフ（Hjulström, 1935）から読みとると、2 ～ 3 m/s（時速約10 km/h）以上の流速となるが、“礫と砂との混合効果”（池田, 2005）を考慮すると、砂や細礫の河床の上を転がることによって、より遅い流速で運ばれた可能性もある。礫種としては、チャート・泥岩・流紋岩・安山岩・花崗岩・石英閃緑岩・花崗斑岩などが見られる（渡辺, 2002）

2-2. 長良川長良橋右岸の河床礫の長軸方向

岐阜市を流れる長良川は、長良橋の右岸（Site-2）で木曽川と同様に中～巨礫の見事なインプリケーションが見られる（写真-2）。この場所は、中生代のチャートからなる金華山の北側にあたり、長良川は、東から西に向かって流れている。ここに分布している河床礫の長軸の方位の平均は、N 1° E であり、ほぼ南北方向を示し、長良川の主流の方向（東西方向）に直交していることがわかる（図4）。また、礫のインプリケーションの向きから、洪水時にほぼ東から西に向かって流れたことが示される。この場所での礫の最大径は70 cm であり、「粒径と流速の関係」のグラフ（Hjulström, 1935）から読みとると、2 ～ 3 m/s（時速約10 km/h）以上の流速となるが、“礫と砂との混合効果”（池田, 2005）を考慮すると、木曽川の場合と同様にさらに遅い流速で運ばれてきた可能性もある。さらに長良橋の下流側では、最大径が120 cm に達する巨礫も存在する。しかし、この下流側から約9 km 離れた、JR の高架橋下では、巨礫はほとんど見られず、中礫以下の粒径の河床礫しか見られなくなり、さらに約9 km 下流側の新幹線の高架橋

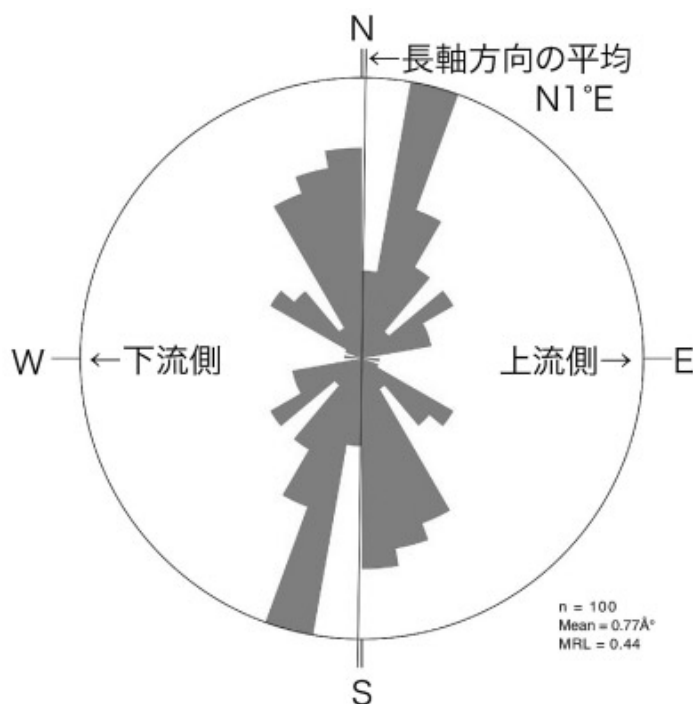


図4. 長良川長良橋右岸（Site-2）の河床礫の長軸方向

下では、ほとんどが細礫ないし砂粒となり、大きな礫はほとんど見られない。礫種としては、チャート・泥岩・礫岩・流紋岩・安山岩・花崗岩などが見られる（渡辺，2002）

3. 簡易実験水路における粒子の定向配列

河川の水流に対する河床礫の挙動をミニチュアサイズで再現するために、端切れの板で幅約12 cm×長さ約1.8 mの簡易実験水路を作成した。実際に粒子を流した後に写真撮影を行って粒子の方位を測定するために、水路の底に格子状のパッドをボンドで貼り付けた。粒子としては、中礫サイズの長円形の細長い礫と、玄米を使用した。玄米を使用した理由は、3軸の方向が測定しやすく、水を吸って膨張しにくいためである。層流となるように水を流した後に、写真を撮り、それらの粒子の輪郭をトレースして長軸の方向を測定した（寺本，2008）。

3-1. 簡易実験水路における中礫の長軸方向

簡易実験水路に中礫を入れて、水を流して中礫の長軸の方向を測定した（写真-3）。水路の傾斜角度は 5° として実験を行い、161個の中礫について、流下後の長軸の方向を写真から調べて、ローズダイアグラムにまとめた（図5）。実験結果を見ると、中礫の長軸の方向は、水の流下方向（写真-3の右側から左側）に対して直交しており、長軸の平均方向は、水路（流下方向）に対してほぼ直角（ 87° ）の方向であった。中礫の平均的な長さに対して、水路の幅が狭いので、若干側壁の影響が見られるが、インプリケーション状の構造が観察されるなど、実際の河川における礫の挙動や配置と同様な結果が得られた。

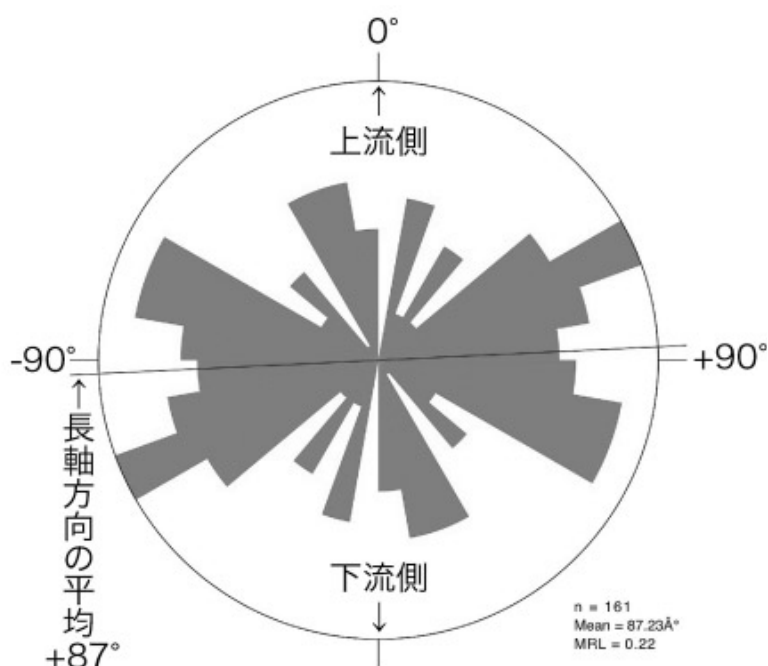


図5. 簡易実験水路における中礫の長軸方向

3-2. 簡易実験水路における玄米の長軸方向

簡易実験水路に玄米を入れて、水を流して玄米の長軸の方向を測定した(写真-4)。水路の角度は 5° として実験を行い、419個の玄米について、流下後の長軸の方向を写真から調べて、ローズダイアグラムにまとめた(図6)。実験結果を見ると、玄米の長軸の方向は、水の流下方向(写真-4の右から左)に対して直交しており、長軸の平均方向は、水路(流下方向)に対してほぼ直角(85°)の方向であった。玄米の長さは、水路の幅に対して十分に短いので、側壁の影響は見られず、ほぼ水路に対して直交方向を向いている。しかし、玄米1粒の重量が軽いので、水流が多すぎるとすべて流れ去ってしまうので注意が必要である。また、玄米が流されている時は、その長軸の方向は、水流に対して平行であり、抵抗が最小になるようにして流されていることがビデオ撮影の再生映像から明らかとなった。

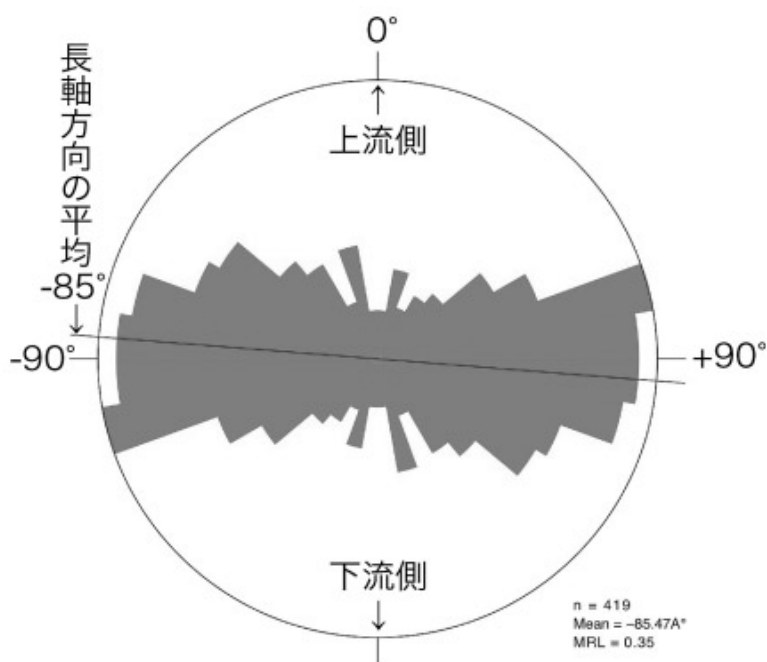


図6. 簡易実験水路における玄米の長軸方向

4. 海浜礫の定向配列

三重県南部の七里御浜の海岸には、“那智黒”で知られる礫浜からなる海岸が、熊野市の鬼ヶ城から県境の紀宝町の熊野川まで南北方向に約20 kmにわたり続いている。そのほとんどが礫浜からなり、波長数mのビーチカスプからなる海岸地形が発達し、前浜(フォーショア)・汀段(バーム)・後浜(バックショア)・砂丘(サンドデューン)が国道42号線の東側に連続して見られる(図2)。この七里御浜北部にある“獅子岩”の南側に位置する海岸(Site-3, 写真-5)と中部の阿田和にあるパーク七里御浜(Site-4, 写真-6)における前浜と汀段の上にある海浜礫の長軸の方位を調べた。測定方法は、 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ の正方形の中で、礫径の大きい順に100個を選んで、その礫の長軸の方位を写真から測定した。海浜で見られる礫は、ほぼ円礫である。この海岸での

礫のサイズは、細～中礫であった。礫種としては、砂岩・頁岩・礫岩・チャートなどの堆積岩や花崗岩・花崗斑岩・アブライトなどの火成岩類が見られる（渡辺，2005）。

4-1. 七里御浜北部の礫浜の海浜礫の長軸方向

七里御浜の北部（Site-3）は、礫浜からなり、その汀線方向は、北東—南西（ $N 50^{\circ} E$ ）方向である。汀段（バーム）上の海浜礫（写真-7）の長軸方向の平均は、東北東—西南西（ $N 67^{\circ} E$ ）方向（図7）であり、汀線に対して、若干斜交して配列している。また、前浜（フォーショアー）上の海浜礫（写真-8）の長軸方向の平均も、東北東—西南西（ $N 72^{\circ} E$ ）方向（図8）であり、これも汀線に対して若干斜交して配列している。しかし、河川ではっきりと観察されるようなインプリケーションの発達は弱く、やや海側に傾いているのが観察される。

4-2. 七里御浜中部の礫浜の海浜礫の長軸方向

七里御浜の中部（Site-4）も、礫浜からなり、その汀線方向は、北北東—南南西（ $N 20^{\circ} E$ ）方向である。汀段（バーム）上の海浜礫（写真-9）の長軸方向の平均は、南—北（ $N 4^{\circ} E$ ）方向（図9）であったが、ばらつきが大きく、あまり平均値の意味をもたない。また、前浜（フォーショアー）上の海浜礫（写真-10）の長軸方向の平均は、東北東—西南西（ $N 64^{\circ} E$ ）方向（図10）であり、汀線の方向とは若干斜交することになるが、この方位もさらにばらつきが大きく、特別な定向配列は見られない。また北部と同様に、河川で見られたようなインプリケーションの発達は弱い、もしくは観察できない。七里御浜の北部の海岸（写真-5）に比べると中部の海岸（写真-6）の方に発達したビーチカスプが見られる。

5. お わ り に

河川における礫の運搬のされ方と、礫浜における礫の移動運搬のされ方は、当然異なっているはずである。河川では、一方向の掃流または乱流によって砂や礫が運ばれるが、海浜では沿岸流によって運ばれた礫が、波浪による振動流によって海岸に堆積する。これらの海浜礫の長軸の方位は、どのようになっているのかを知るために、実際にそれら長軸の方位を測定して予察的な調査を行った。その結果、礫浜の海浜礫では礫の長軸の方向は、汀線方向に対して平行にはならず、場所によってやや斜交したり、バラバラな向きに向いていることがわかった。これは、海岸線の微地形が、汀線方向に対して凸凹のあるカスプ地形を呈しているために、前浜に遡上した波がカスプ地形に沿って回り込んだりすることが影響している可能性がある。今回は海浜の礫は、細礫サイズであったことも影響して、さまざまな方向に向いている可能性もあり、大～巨礫の礫浜でも調査を行う必要がある。波のシミュレーション実験を行っていないので、実際に簡易装置を作成して実験を行って検討してみることも必要である。

謝 辞

本論文の執筆と図の作成に当たり、岐阜聖徳学園大学教育学部初等教育課程の寺本洋子さんが行った卒業論文のデータを引用し、本文中に使用させていただきましたので、ここに深謝致します。また、ローズダイアグラムの作成にあたり、千葉大学大学院理学研究科の成瀬元博士の開発したフリーソフトウェアの「Rose」を使用させていただきました。

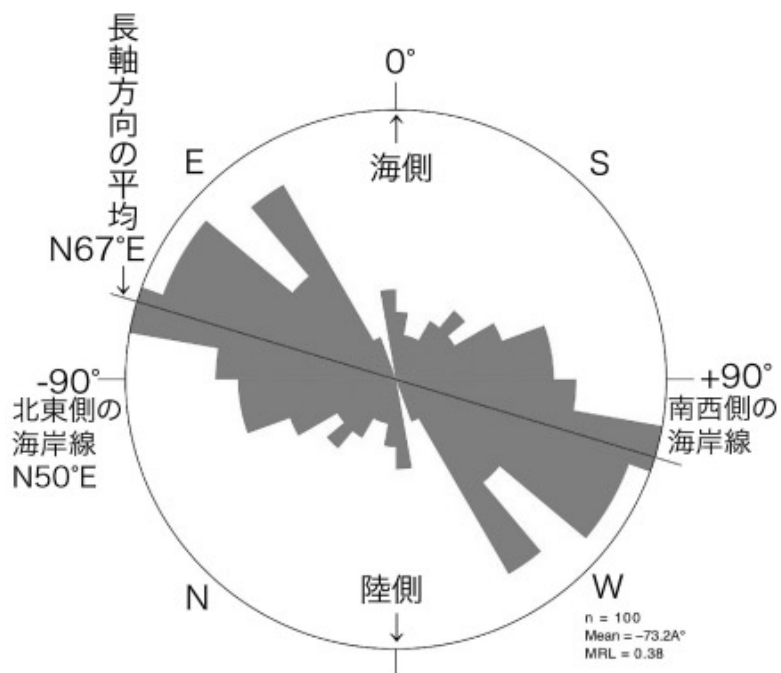


図 7. 七里御浜 (Site-3) の汀段 (バーム) 上の中礫の長軸方向

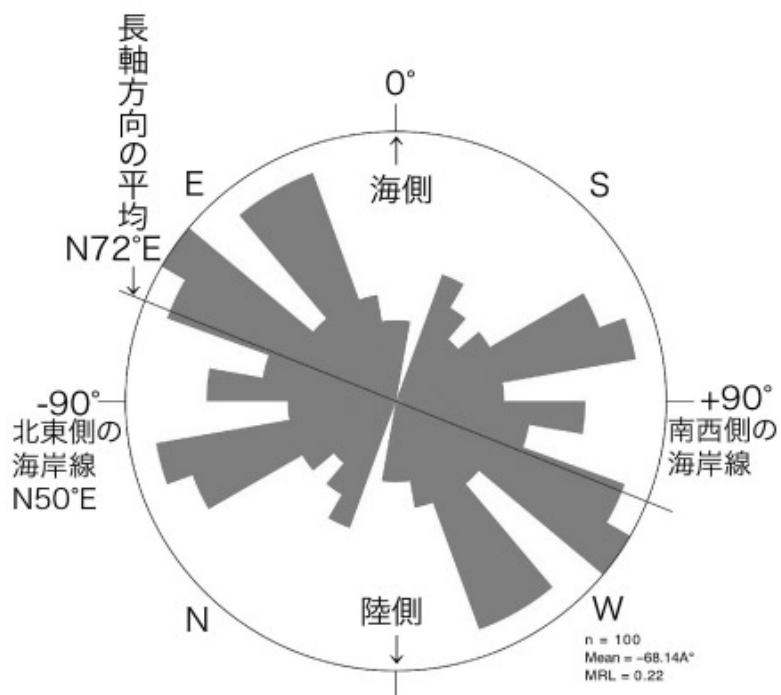


図 8. 七里御浜 (Site-3) の前浜 (フォーショア) 上の中礫の長軸方向

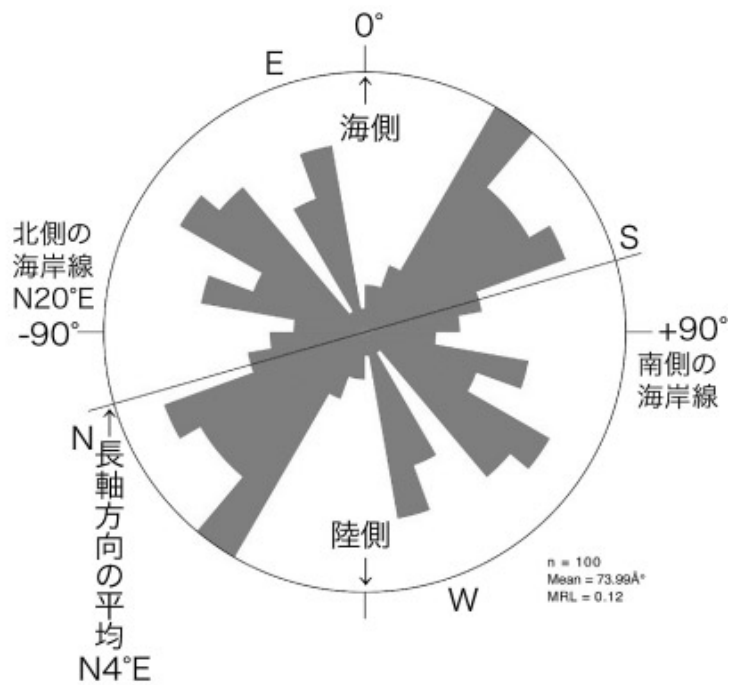


図9. 七里御浜 (Site-4) の汀段 (バーム) 上の中礫の長軸方向

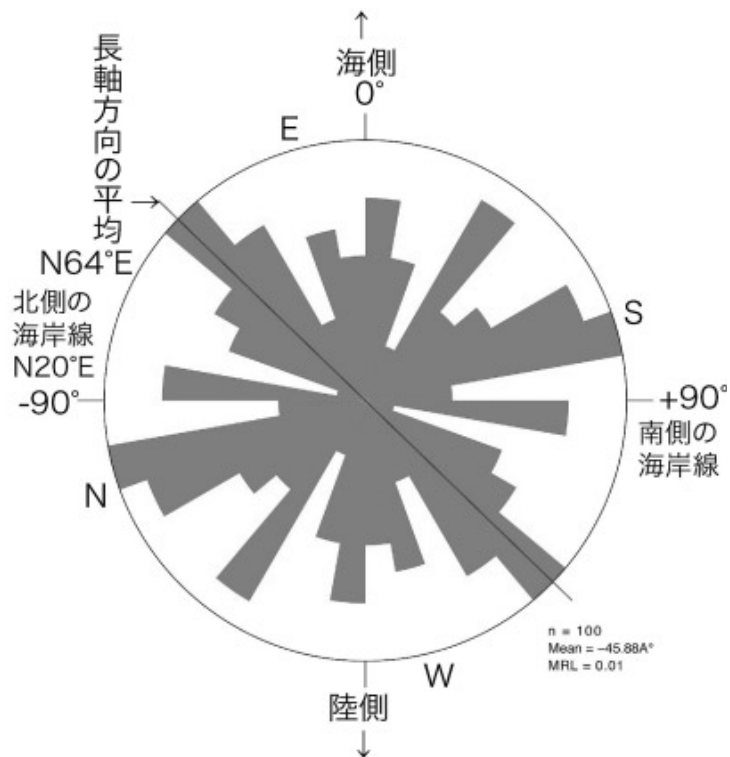


図10. 七里御浜 (Site-4) の前浜 (フォーショア) 上の中礫の長軸方向

文 献

- 青野宏美 (2007) : 岐阜県美濃帯に見られる褶曲構造の解析, 岐阜聖徳学園大学紀要 第46集, p. 1-12.
- Hjulström, F. (1935): Studies of the morphological activities of rivers as illustrated by the River Fyris: *Bull. Geol. Inst. Uppsala*, Vol. 25, p.221-527.
- 池田 宏 (2005) : 川の成り立ちを水路実験で探る, 深田研ライブラリー No. 81, (財) 深田地質研究所, pp. 42.
- 公文富士夫・立石雅昭 編 (1998) : 新版 碎屑物の研究法, 地学双書29, pp. 399.
- 桑原 徹 (1975) : 濃尾傾動盆地と濃尾平野, *URBANKUBOTA*, No. 11 p. 18-25.
- 寺本洋子 (2008) : 岐阜県の河川に見られる河床礫の定向配列とその教材化, 岐阜聖徳学園大学卒業論文 (MS.)
- 渡辺一夫 (2002) : 川原の石ころ図鑑, ポプラ社, pp. 183.
- 渡辺一夫 (2005) : 海辺の石ころ図鑑, ポプラ社, pp. 207.
- ウィリアム J. フリッツ・ジョニー N. ムーア著 (原田憲一訳) (2003) : 層序学と堆積学の基礎, 愛智出版, pp. 386.



写真 1 : 木曽川中島町左岸 (Site-1) の河床礫と流木 (流下方向は、写真の左側から右側)



写真 2 : 長良川長良橋右岸 (Site-2) の河床礫 (流下方向は、写真の上側から下側)



写真 3：簡易実験水路における中礫（流下方向は写真の右側から左側）

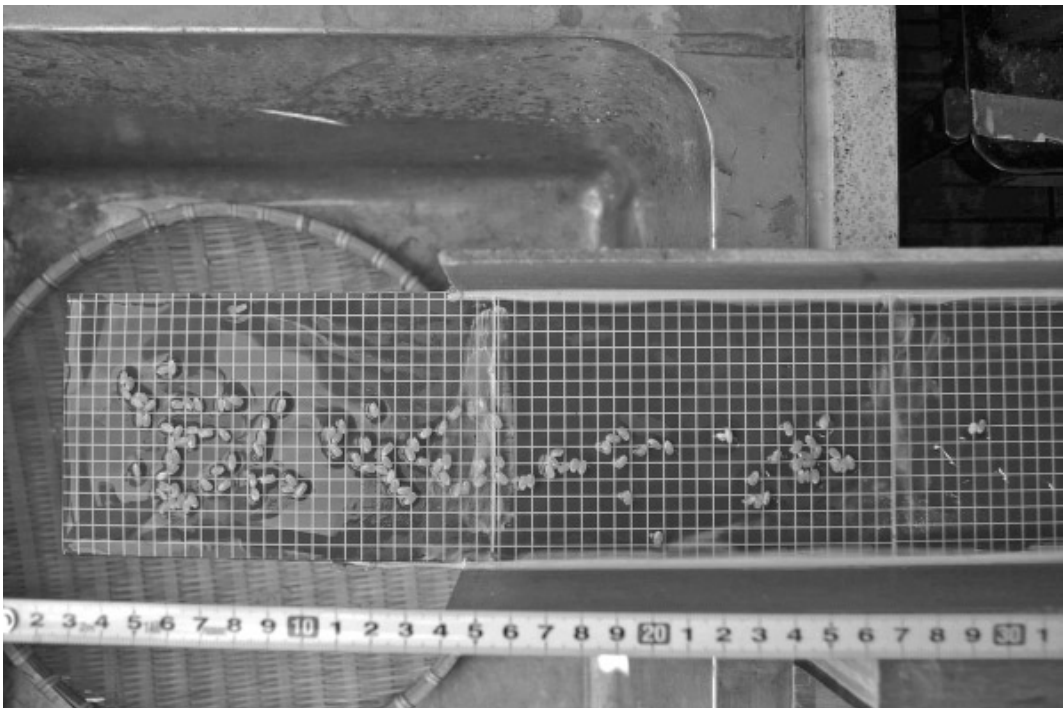


写真 4：簡易実験水路における玄米（流下方向は写真の右側から左側）



写真 5：七里御浜（Site-3）における前浜と汀段（南の方向を臨む）



写真 6：七里御浜（Site-4）におけるビーチカスプの発達した前浜と汀段（北の方向を臨む）

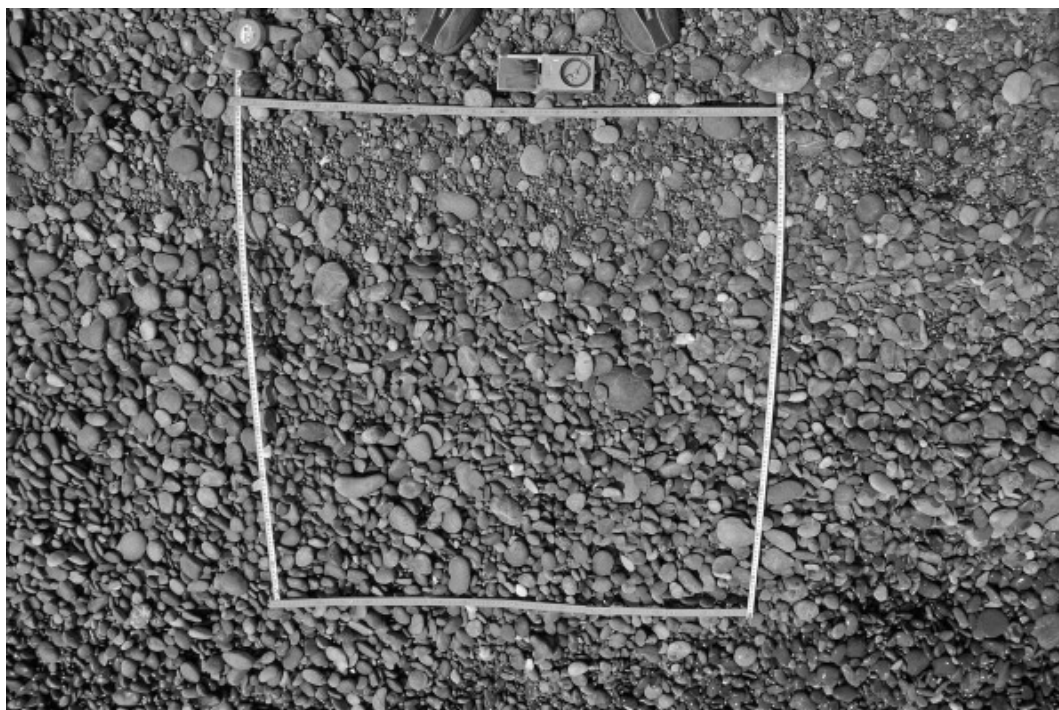


写真 7：七里御浜（Site-3）における汀段の海浜礫（写真の下方が海側）

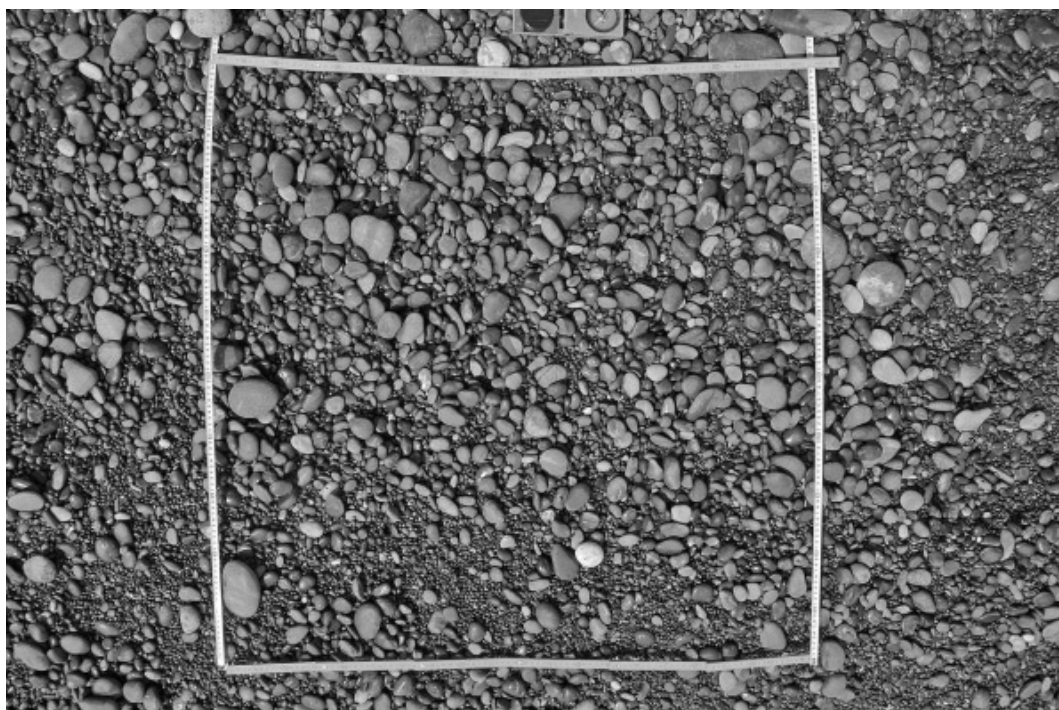


写真 8：七里御浜（Site-3）における前浜の海浜礫（写真の下方が海側）

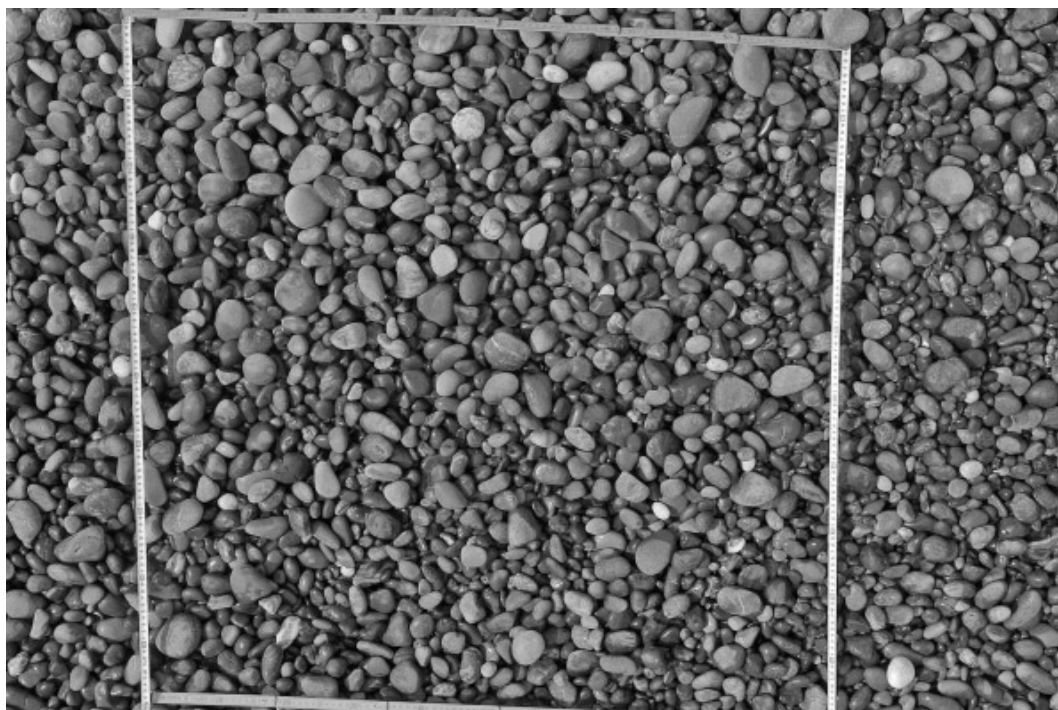


写真9：七里御浜（Site-4）における汀段の海浜礫（写真の下方が海側）

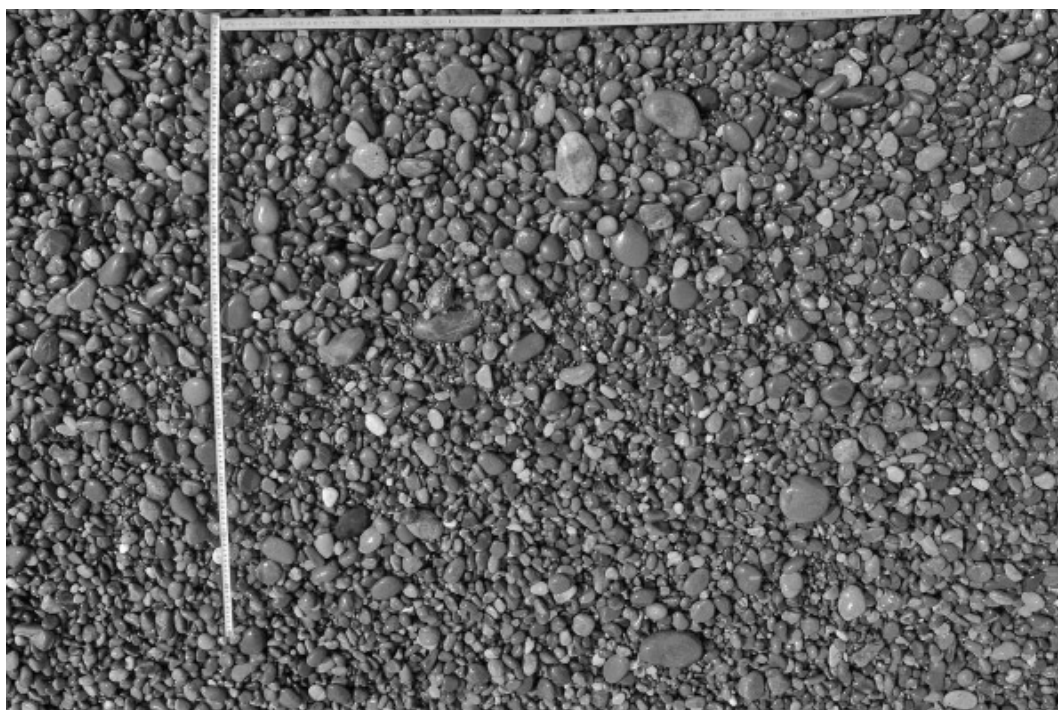


写真10：七里御浜（Site-4）における前浜の海浜礫（写真の下方が海側）

