

久能海岸が吉浜海岸より足跡が付き難い規定因子の推定

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2022-07-28 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 佐藤, 慶岩, 楠, 賢司 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00029070

久能海岸が吉浜海岸より足跡が付き難い規定因子の推定

佐藤 慶 宏*・楠 賢 司**

1. はじめに

久能海岸及び吉浜海岸は、それぞれ駿河湾沿岸（静岡県静岡市駿河区）及び相模湾沿岸（神奈川県湯河原町）に位置する（図1）。静岡県の久能海岸周辺の砂は、一級河川の安倍川起源である（大塚，1996）。安倍川流域は瀬戸川層群が広く分布しており、同地質体は砂岩、泥岩、砂岩泥岩互層及び礫岩からなる（杉山ほか，2010）。一方、神奈川県の吉浜海岸周辺には大きな河川が認められないことから、同海岸の砂は近隣の小河川（例えば、二級河川の新崎川・千歳川）起源であると考えられる。それらの流域には箱根外輪山噴出物が広く分布しており、同地質体は玄武岩—安山岩（流紋岩を含む）溶岩及び火砕岩からなる（竹内ほか，2015）。このような久能海岸と吉浜海岸における後背地の地形的及び地質的差異は、両海岸の砂浜の物理的環境にも影響を及ぼしている可能性がある。実際、久能

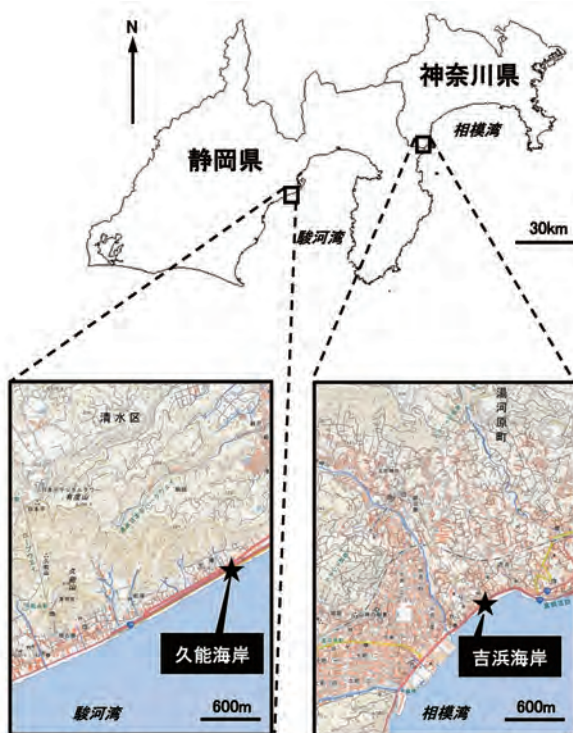


図1. 久能海岸及び吉浜海岸の試料の採取位置。地理院地図（電子国土Web）より引用・加筆。



図2. 久能海岸と吉浜海岸に付いた足跡。写真は第一著者である佐藤の足跡（27cm）。

*静岡市立東豊田中学校（学生）

**静岡大学技術部

海岸と吉浜海岸の足跡の付き具合を比較すると、前者は後者より不鮮明であるように見受けられた(図2)。本研究ではこの現象について科学的に検証することにした。

本研究は、第一著者である佐藤が全国規模の第61回自然科学観察コンクール(中学校の部)において1等賞を受賞した研究「なぜ久能海岸は吉浜海岸のように足跡がくっきりと付かないのか?」及び第34回山崎賞(中学校の部)を受賞した研究「吉浜海岸に足跡がくっきりとつくのはなぜかⅡ」に統計的評価を付加したものである。なお両受賞研究の指導者は第二著者の楠である。

2. 方法

(1) 砂試料：久能海岸及び吉浜海岸の詳しい碎屑物の採取位置(久能海岸：N34°58'1.5666", E138°29'11.4966", 吉浜海岸：N35°8'57.4074", E139°7'11.5314")を図1に示す。久能海岸及び吉浜海岸の碎屑物は、それぞれ2020年6月14日及び2019年11月10日に採取した(図3)。なお、両海岸試料はともに深度約30cm以浅から5000cm³程度採取した。碎屑物の内、目開き2mmの篩を通過するものを本研究で用いる砂試料とした。実験に供した砂試料は全て自然乾燥後に用いた。



図3. 久能海岸及び吉浜海岸から採取した試料。写真の横幅は10cm。

(2) 砂の粒度分析：粒度分析は砂試料を篩(東京スクリーン株式会社；目開き2mm, 1mm, 0.5mm, 0.25mm)に掛け、各篩に掛かった砂の重量を砂の総重量で除し、百分率にすることにより各粒度(2~1mm, 1~0.5mm, 0.5~0.25mm, <0.25mm)の存在割合(重量%)を調べた。粒度分析は久能海岸及び吉浜海岸ともに5回に分けて行い、1回につき砂試料約10gを供した。

(3) 砂粒の平面的形状(真円度)の計測：真円度とは理想真円に対する歪の度合いのことである(久本・柿崎, 1953)。この物理量を計測するに当たり、先ず久能海岸及び吉浜海岸の砂を、篩を用いて2~1mm, 1~0.5mm, 0.5~0.25mm, <0.25mmに分別し、計測に用いる各粒度の砂試料30粒を四分法により選び出した。次に実体顕微鏡で拡大した砂粒をデジタルカメラで撮影し、その画像をパソコンに取り込み、画像計測ソフト(ケニス株式会社, フォトメジャー)を用いて粒の面積と外周を計測した。得られた両値から真円度(面積/外周²)を求めた。なお実際の面積及び外周の値は同時に取り込んだスケール画像を基に換算した。

(4) 砂粒の立体的形状の計測：久能海岸と吉浜海岸の砂粒の平たさを比較するために、先ず両海岸の2~1mmの砂試料50粒を四分法により選んだ。次に実体顕微鏡を用いて、砂粒の最大面積の面(面A)とその側面(面B)の拡大写真を撮り、画像計測ソフト(ケニス株式会社, フォトメジャー)を使っ

て両方の面積を計測した。なお実際の面積値は同時に取り込んだスケール画像を基に換算した。ちなみに2~1mmより細粒な砂については面Bの設置が困難なため計測できなかった。

3. 結果と考察

(1) 久能海岸と吉浜海岸の足跡の付き難さ比較：実際、久能海岸は吉浜海岸より足跡が付き難いのかを明らかにするために、室内実験装置（自動ビー玉落下装置）を自作し、それを用いて両海岸の砂の凹み具合を比較した。同装置は教育玩具（LEGO, Mindstorms EV3）を用いたものであり、ビー玉をアームに載せ、アームを電動で水平方向に開かせることによりビー玉を容器擦切りの砂試料中に落下させる構造になっている（図4）。砂が凹んだ深さは、ビー玉の直径（25mm）から容器最上面以上のビー玉

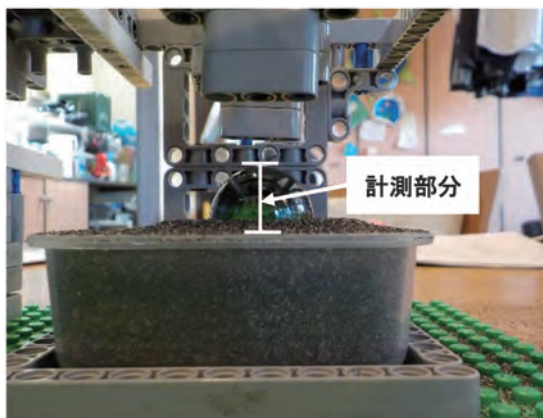


図5. ビー玉落下実験の計測部分。砂が凹んだ深さはビー玉の直径から図中の計測部分を差し引いて算出した。

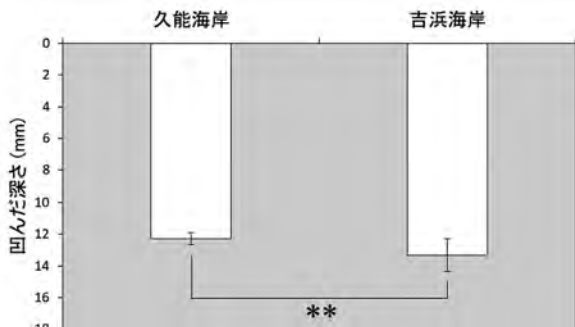


図6. 久能海岸及び吉浜海岸における砂試料の凹んだ深さ（平均値、n=10）の比較。エラーバー：標準偏差。**：P<0.05 (Mann-Whitney's U-test)。

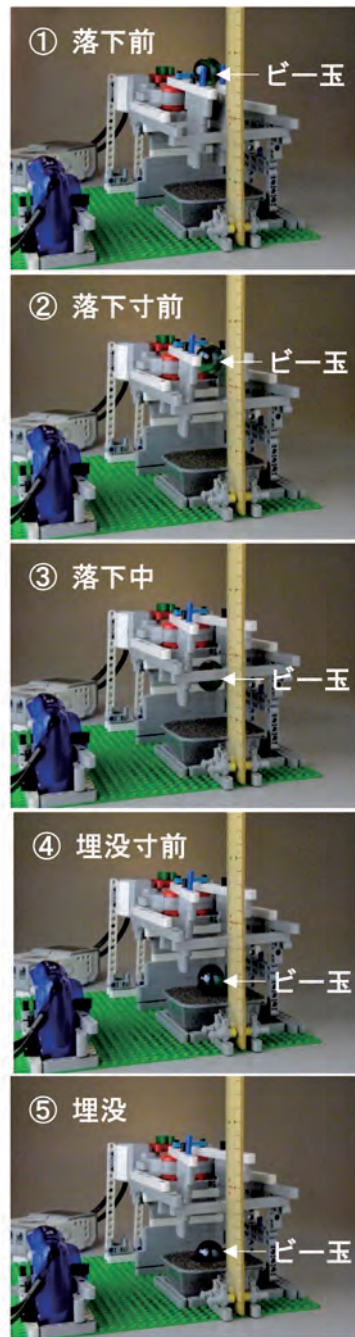


図4. ビー玉落下実験の様子。

の高さ（図5の計測部分）を差し引くことで算出した。ちなみに、その容器最上面以上のビー玉の高さ（図5の計測部分）は、ビー玉が砂に埋没した状態の画像を撮り、それを基にデジタルノギスを用いて計測した。なお実際に砂が凹んだ深さは、同時に取り込んだスケール画像を基に換算した。

久能海岸と吉浜海岸から採取した砂のビー玉落下実験の結果を図6に示す。砂が凹んだ深さは久能海岸（平均値 $\pm 1\sigma = 12.28 \pm 0.38$, $n=10$ ）より吉浜海岸（平均値 $\pm 1\sigma = 13.32 \pm 1.0$, $n=10$ ）の方が有意に大きかった（ $P < 0.05$, Mann-Whitney's U-test）。これは統計学的にも久能海岸の方が吉浜海岸より足跡が付き難いことを示している。なお久能海岸及び吉浜海岸の繰り返し測定による相対標準偏差（RSD）は、それぞれ3.2%（ $n=10$ ）及び7.8%（ $n=10$ ）であった。

(2) 足跡の付き難さに対する粒度組成の影響：久能海岸が吉浜海岸より足跡が付き難い要因として、砂の粒度組成及び形状が考えられる。そこで本節以降でその可能性について評価する。先ず本節では粒度組成の影響評価を行う。

久能海岸と吉浜海岸における砂の粒度分析結果を図7に示す。久能海岸の砂は、粒度が2～1mm及び1～0.5mmで全体の約82%を占めていた。一方、吉浜海岸の砂は、粒度が0.5～0.25mm及び<0.25mmで全体の約91%を占めていた。このように両海岸の砂の粒度組成には大差があった。このことから久能海岸が吉浜海岸より足跡が付き難いのは粗粒の砂が多いことが起因している可能性があると言える。次に、この可能性を評価するために、以下の4砂試料(①～④)について先述のビー玉落下実験を行った。

- ①：久能海岸の砂
- ②：吉浜海岸の砂
- ③：久能海岸の砂を用いて吉浜海岸の粒度組成にした砂
- ④：吉浜海岸の砂を用いて久能海岸の粒度組成にした砂

もし、足跡が付き難い要因が粒度組成のみであるならば、①=④<②=③とならなければならない。しかし、結果は、①<②=③<④であった（図8；Tukey-Kramer法）。このことから、久能海岸が吉浜海岸より足跡が付き難いのは、少なくとも粒度組成のみによる影響ではないと考えられる。

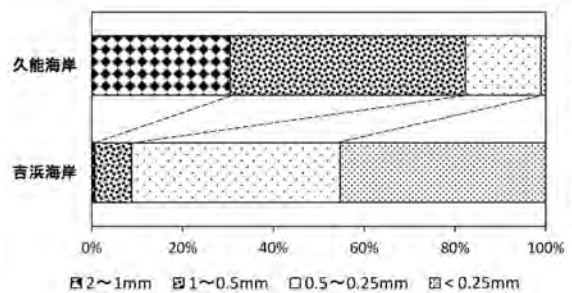


図7. 久能海岸及び吉浜海岸における砂の粒度組成。

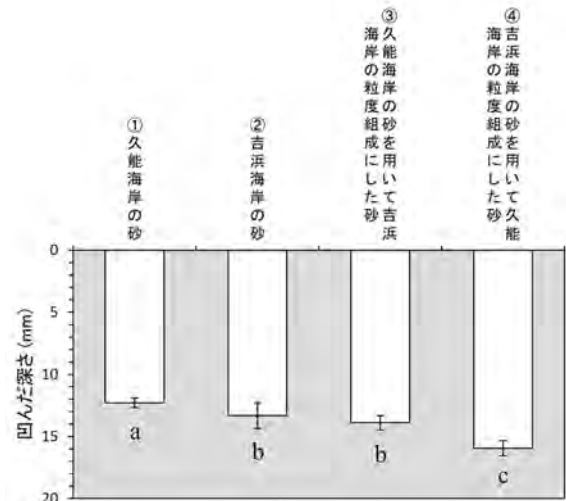


図8. 各砂試料の凹んだ深さ(平均値, $n=10$)の比較。エラーバー：標準偏差。a, b, c：シンボルが異なる組み合わせは有意差あり（ $P < 0.05$, Turkey-Kramer法）。①及び②の測定値は図6のデータを引用。

(3) 足跡の付き難さに対する平面的形状の影響：久能海岸が吉浜海岸より足跡が付き難い要因に対する平面的形状（丸み，角張り）の寄与を評価するために，両海岸の砂試料30粒の真円度を計測した．その結果，久能海岸と吉浜海岸における砂粒の真円度は，粒度（2～1mm，1～0.5mm，0.5～0.25mm，<0.25mm）に関わらず有意差が認められなかった（図9； $P>0.05$ ，Turkey-Kramer法）．このことから砂粒の平面的形状は久能海岸の足跡の付き難さに影響を及ぼしていないと判断される．

(4) 足跡の付き難さに対する立体的形状の影響：久能海岸が吉浜海岸より足跡が付き難い要因に対する立体的形状の寄与を評価するために，両海岸における2～1mmの砂試料50粒の最大面積の面（面A）とその側面（面B）の面積を計測した．久能海岸及び吉浜海岸における砂試料の面Aと面Bの面積の相関（図10）には，有意差が認められた（ $P<0.05$ ，共分散分析）．即ち，面Aの面積が約 4mm^2 より小さい時は，面Bの面積は久能海岸より吉浜海岸の方が小さい傾向があった（図10）．一方，面Aの面積が約 4mm^2 より大きい時は，面Bの面積は吉浜海岸より久能海岸の方が小さい傾向があった（図10）．これらのことから，細粒の砂ほど久能海岸より吉浜海岸の方が平たく，粗粒の砂ほど逆に吉浜海岸より久能海岸の方が平たい傾向にあると言える．このことと久能海岸の方が吉浜海岸より2～1mmの砂が約43倍多い（図7）ことを総合すると，久能海岸は吉浜海岸より圧倒的に平たい粗粒の砂が多いと考えられる．

以上のことから，久能海岸が吉浜海岸より足跡が付き難いのは，平たい粗粒の砂が卓越していることが起因していると推察される．このことは前々節において，砂の凹んだ深さが，統計的に①（久能海岸の砂）<③（久能海岸の砂を用いて吉浜海岸の粒度組成にした砂）であった（図8； $P<0.05$ ，Turkey-Kramer法）ことから支持される．また本推察は前々節の評価結果（久能海岸が吉浜海岸より足跡が付き難いのは，少なくとも粒度組成のみによる影響ではない）と矛盾しない．なお久能海

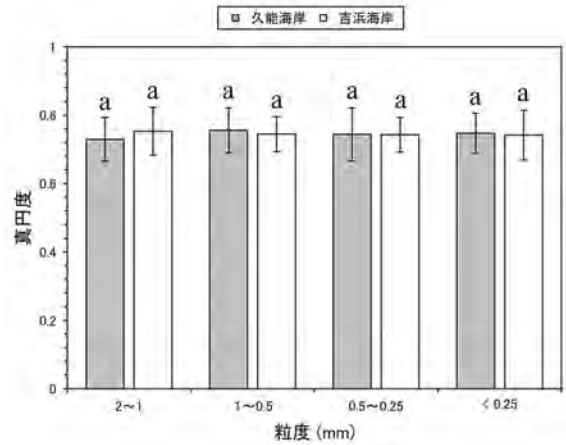


図9. 久能海岸及び吉浜海岸における砂粒（ $n=30$ ）の真円度の比較．エラーバー：標準偏差．a：同じシンボルは有意差があるとは言えない（ $P>0.05$ ，Turkey-Kramer法）．

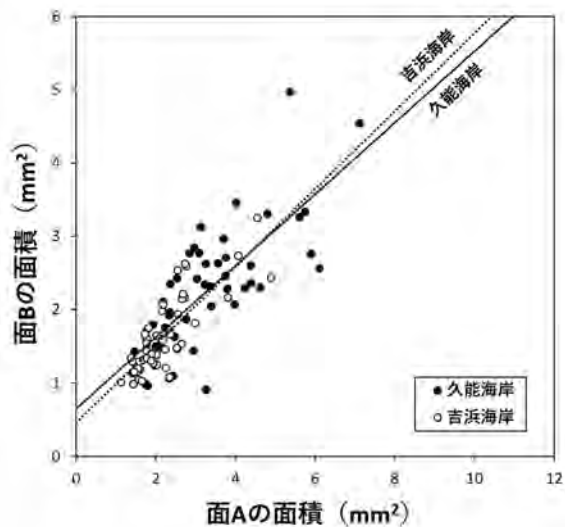


図10. 久能海岸及び吉浜海岸における砂粒（ $n=50$ ）の面Aと面Bの面積の相関．久能海岸と吉浜海岸との間に有意差あり（ $P<0.05$ ，共分散分析）．

岸に平たい粗粒の砂が多いのは、砂の供給源である安倍川流域に一定方向に割れやすい頁岩が優占的に分布しており（桜井，1996），また河口部は急勾配の扇状地が海に直接突き出している（坂口ほか，1986）ためと考えられる。先述の通り，本研究では粒径 2mm 以下の碎屑物を実験試料として用いたが，実際の久能海岸にはそれより粗粒の細礫（4~2mm）も比較的多く存在する（図 3）。このことと本研究で得られた結果を踏まえると，実際の久能海岸ではそのような礫も足跡の付き難さに寄与していると推察される。

4. まとめ

自作装置（自動ビー玉落下装置）による室内実験の結果，久能海岸の方が吉浜海岸より足跡が付き難いことが統計的に示された。この要因は久能海岸の方が吉浜海岸より平たい粗粒の砂が卓越しているためと推定された。

謝辞

静岡 STEM アカデミーからは，粒度分析に使用するための篩と砂の形状を計測するためのソフトウェアを購入して頂きました。静岡大学教育学部の青木克顕特任教授には，本研究を進めるに当たり多大な助言を頂きました。静岡大学教育学部の延原尊美教授には実体顕微鏡を使用させて頂きました。Kicks 東静岡教室の植木雄介氏及び望月映子氏には自動ビー玉落下装置を自作する際に有益な助言を頂きました。以上の方々に感謝の意を表します。

引用文献

- 久本 方・柿崎公男（1953）：電線製造用ダイヤモンドダイスの真円度。日立評論，35，99-105。
- 大塚謙一（1996）：12. 静岡平野を巡って。静岡県地学会編，駿遠豆大地見てあるき 続遠足の地学—静岡県の地学案内—，黒船出版，104-115。
- 坂口 豊・高橋 裕・大森博雄（1986）：日本の自然 3 日本の川。岩波書店，248p。
- 桜井美津夫（1996）：14. 安倍奥・梅ヶ島と大谷崩。静岡県地学会編，駿遠豆大地見てあるき 続遠足の地学—静岡県の地学案内—，黒船出版，126-132。
- 杉山雄一・水野清秀・狩野謙一・村松 武・松田時彦・石塚 治・及川輝樹・高田 亮・新井晃作・岡村行信・実松健造・高橋正明・尾山洋一・駒澤正夫（2010）：20 万分の 1 地質図幅「静岡及び御前崎」（第 2 版）。産業技術総合研究所地質調査総合センター。
- 竹内圭史・及川輝樹・斎藤 眞・石塚 治・実松健造・駒澤正夫（2015）：20 万分の 1 地質図幅「横須賀」（第 2 版）。産業技術総合研究所地質調査総合センター。