

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 10 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500998

研究課題名（和文） 風紋の動態・形態特性からさぐる砂丘列の地形

研究課題名（英文） Dynamics of wind ripples and dune morphology

研究代表者

小玉 芳敬（YOSHINORI KODAMA）

鳥取大学・地域学部・教授

研究者番号：50263455

研究成果の概要（和文）：

斜面に発達する風紋を鳥取砂丘で精査した結果、風紋の限界進行傾斜角は降りで -17 度、登りで $+24$ 度であることが判明した。また進行傾斜角に応じた風紋の断面形態を徹底的に計測した結果、形態特性は4種類に分類され、降り坂では波長6cmほどの短い風紋が、登坂では波長12cmほどの長い風紋が観察されることを明らかにした。いっぽう横列砂丘の風上側斜面の傾斜角を地形図の計測により調べた結果、7度を中心にして4度～10度の傾斜角を持つ横列砂丘が多いことが判明した。

研究成果の概要（英文）：

We collected 684 cross sections of wind ripples from various slopes at the Tottori Sand Dunes, southwest Japan. The results show that the wave-lengths of ascending wind ripples (12 cm) were larger than those of the descending ones (6 cm): as the proceeding angles increased, the waves became longer. The cross-sectional shapes were classified into four types according to the proceeding angles. The critical proceeding angles of the wind ripples under the ascending and descending conditions were 24° and 17° , respectively. On the other hand, the angles of stoss-side slopes of transverse dunes are dominant in ca 7° according to measurements using contour maps.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：地形学

科研費の分科・細目：地理学・地理学

キーワード：砂丘，風紋，砂丘列，風洞実験，地形学

1. 研究開始当初の背景

本研究は当初、微地形である風紋の動態特性や形態特性が、小地形にあたる横列砂丘の形態そのものを規定しているのではないかと、といった視点からスタートした。鳥取砂丘で夏に実施した概査で、風紋の限界進行傾斜角は、急斜面において7度で頭打ちであった。

いっぽう、これまで多くの砂丘で見てきた横列砂丘の風上側斜面の傾斜角も7度前後のものが多かった。この偶然の一致から、本研究のアイデアが浮かんだ。つまり、「風紋の限界進行傾斜角が砂丘列背面の勾配を形作る、言い換えれば、風紋の移動が砂丘列背面の傾斜を規定する」と。

ところが研究を始めてまもなく、このアイディアは間違っていたことが明らかになった。強風が吹く秋から冬にかけて、風紋の進行傾斜角を徹底的に計ったところ、登り斜面では24度、降り斜面では17度が、風紋の形態を維持して移動できる限界進行傾斜角であることが判明した(図1)。このように風紋の限界進行傾斜角は、横列砂丘背面の傾斜角とは一致しないものであった。しかし風紋、砂丘列それぞれを別々にみても、未解明の課題は山積している。

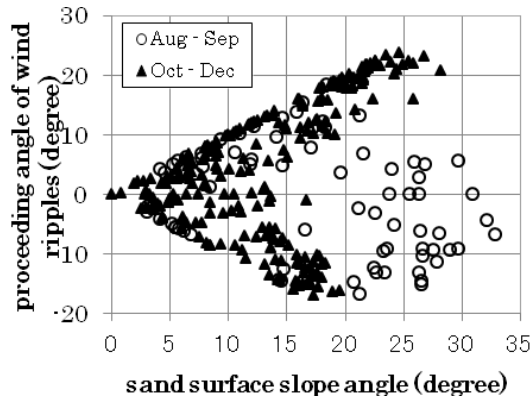


図1 鳥取砂丘に形成される風紋の登坂降坂傾斜角分布(2009年計測)

2. 研究の目的

風紋の研究は Bagnold (1941) や Sharp (1963) をはじめとして、数多くの研究がなされてきた (Cooke *et al.*, 1993)。ところが、斜面に発達した風紋に注目した研究は極めて少ない。Howard (1977) は、バルハンの背面に形成された風紋のクレストラインが風向きに直行せず、斜めになることを指摘した。Werner *et al.* (1986) は、風紋の波長は降り傾斜で短く、登り傾斜で長くなる傾向があると指摘した。砂丘においてはごく当たり前の「斜面」に注目することで、風紋研究には新たな展望が開ける。

(1) 1つめの目的は、野外調査により斜面に発達する風紋の断面形態特性を徹底的に計測することで新たな知見を得ることである。さらに傾斜可変型風洞実験において、風紋の動態を調べることで、斜面に発達する風紋の形態特性に挑む。

(2) 2つめの目的は、横列砂丘の風上側斜面の傾斜角に特性があるか否か? を明らかにすることである。さらに2次元断面風洞実験によって、横列砂丘の変形特性を調べるこ

とで、砂丘列風上側斜面の成り立ちに挑む。

3. 研究の方法

(1) 風紋の断面形態を野外で記録するために、透明アクリル板を砂面に斜めに差し込み断面形態をトレースする方法を用いた。斜面傾斜角、風紋の進行傾斜角、風紋の峰の傾斜角、透明アクリル板の傾斜角を計測することで、幾何学的に補正することで真の断面形態を求めた。風洞実験では門型クレーンを用いて傾斜可変型の実験装置を作成し、風紋の動態を調べた。

(2) アメリカ合衆国の内陸砂丘と鳥取砂丘・内灘砂丘において、それぞれ地形図計測をすることで、横列砂丘風上側斜面の傾斜角傾度分布を求めた。さらに2次元断面風洞実験装置を作成し、砂丘列の変形特性を調べた。

4. 研究成果

(1) 鳥取砂丘において様々な風紋の進行傾斜角につき、総計684個の風紋の断面形態を計測した。その結果、降坂では波長6cmほどの風紋が卓越し、登坂になるにしたがって、波長12cmほどに長くなる実態が明らかになった(図2)。

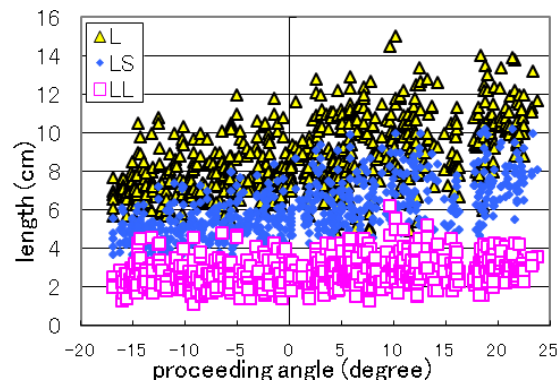


図2 進行傾斜角に応じた風紋の波長(L)
LS: 波長の風上側斜面成分, LL: 波長の風下側斜面成分

また風紋の断面形態は、進行傾斜角に応じて図3に示すように4種類に分けられることが明らかになった。風下側斜面形態に注目すると、急な降り坂では凸型となり、緩い降り坂では直線、いっぽう登り坂では上に凹型となった。進行傾斜角に応じて風紋の波長がのびるのは、風上側斜面の下部成分 L_{s1} が効くことも明らかになった。

風紋の限界進行傾斜角の成り立ちを探るために、風紋構成斜面の絶対角を解析した。そ

の結果、風紋構成斜面のいずれかの絶対角が安息角に近づくことで不安定となり、風紋の形態を維持できなくなる角度が、限界進行傾斜角であると推定された（図4）。

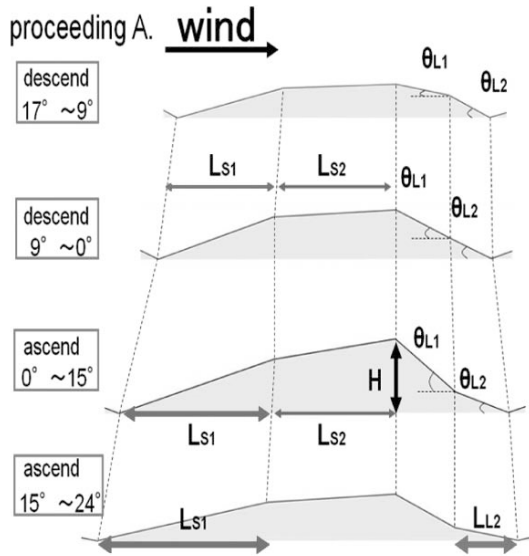


図3 進行傾斜角に応じた風紋の断面形態模式図

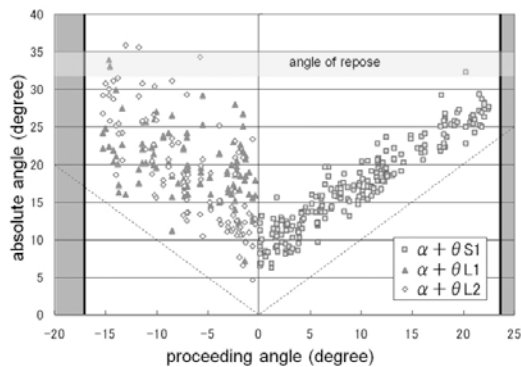


図4 進行傾斜角に応じた風紋構成斜面の絶対角と風紋の限界進行傾斜角の関係



図5 傾斜可変型風洞実験装置の全景

斜面に発達する風紋の動態を探るために、図5に示すような風洞実験装置を作成した。進行傾斜角に応じた波長を予察的に調べた結果、降坂7度では6cm、登坂14度では9cmとなった。なぜ、登坂ほど風紋の波長がのびるかを引き続き研究中である。

(2) アメリカ合衆国の内陸砂丘である Great Sand Dunes, Imperial Sand Dunes, Kelso Dunes, そして鳥取砂丘, 庄内砂丘に関して、それぞれ地形図計測により横列砂丘風上側斜面の傾斜角頻度分布を求めた。その結果、7度を中心にして4度~10度の傾斜が卓越することが明らかになった（図6）。

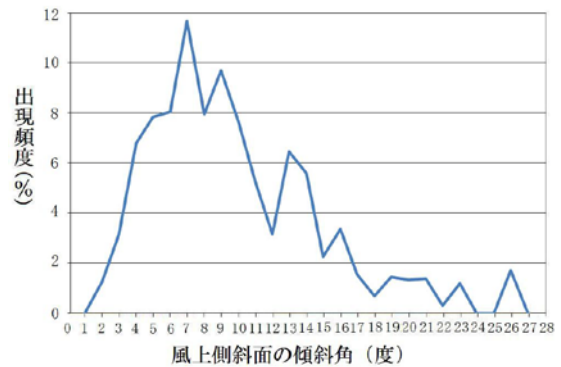


図6 5地域の砂丘地における横列砂丘風上側斜面傾斜角の頻度分布まとめ

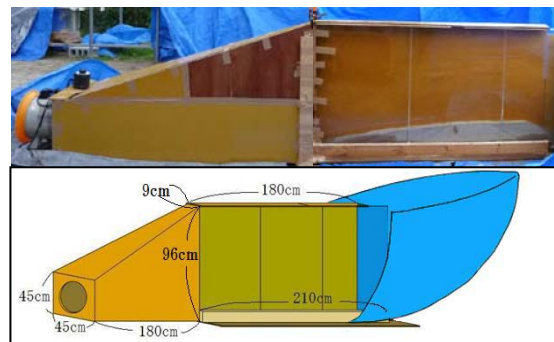


図7 2次元断面風洞実験装置とその模式図

幅9cm、高さ96cm、長さ210cmの2次元風洞実験装置を作成した（図7）。豊浦標準砂を用いて風洞内に模擬砂丘列を形成し、風速6~7m/secの風況下で砂丘列の変形過程を調べた。初期模擬砂丘列の高さは30cmで風上側斜面傾斜を32度、24度、16度、8度の4通りに変えた実験を行った。その結果、24度と16度のCaseで、砂丘列峰部の斜め上方への成長が認められた（図8）。この時の砂丘列風上側斜面の傾斜角は6~10度であった。この傾斜角の時、砂丘列の頂部を超えた砂粒が、風下側斜面に効率的に捕捉されたためと考えられる。このことは、実際の砂丘列風上側斜面に認められ卓越傾斜角の成り立ちを示

峻していると思われる。

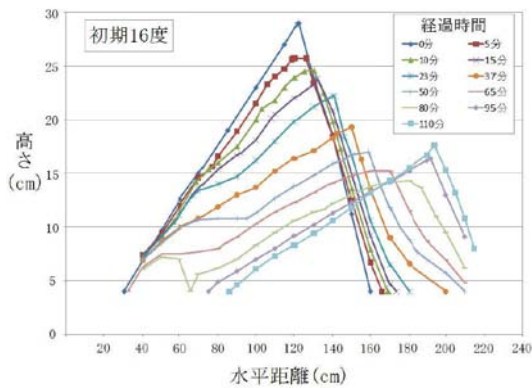


図8 初期風上側斜面16度のCaseにおける砂丘列断面形態の変化

経過時間80分以降に砂丘列頂部の斜め上方向への成長が認められた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計10件)

- ① Yoshinori KODAMA and Hiroaki KITAKA (2011) Cross Sections of Wind Ripples on Various Slopes of Sand Dunes. Transactions, Japanese Geomorphological Union, 32-2, 174-178. 査読有
- ② Yu Saitoh, Toru Tamura, Yoshinori Kodama, Takanori Nakano (2011) Strontium and neodymium isotopic signatures indicate the provenance and depositional process of loams intercalated in coastal dune sand, western Japan. Sedimentary Geology, 236, 272-278.
doi:10.1016/j.sedgeo.2011.01.012 査読有
- ③ 長尾 翼・小玉芳敬 (2011) 鳥取砂丘海岸の粒度組成変化が飛砂量に及ぼす影響. 鳥取地学会誌, 15号, 3-10. 査読無
- ④ 美藤彩花・小玉芳敬 (2011) 鳥取砂丘に見られる砂簾の形成プロセス. 鳥取地学会誌, 15号, 17-26. 査読無
- ⑤ Toru Tamura, Mark D. Bateman, Yoshinori Kodama, Yu Saitoh, Kazuaki Watanabe, Naofumi Yamaguchi, Dan Matsumoto (2011) Building of shore-oblique transverse dune ridges revealed by ground-penetrating radar and optical dating over the last 500years on Tottori coast, Japan Sea. *Geomorphology* 132:3-4, 153-166. 査読

有

- ⑥ Toru Tamura, Yoshinori Kodama, Mark D. Bateman, Yu Saitoh, Kazuaki Watanabe, Dan Matsumoto, Naofumi Yamaguchi (2011) Coastal barrier dune construction during sea-level highstands in MIS 3 and 5a on Tottori coast-line, Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 308, 492-501. 査読有
- ⑦ 小玉芳敬・藏増達弘 (2010) 鳥取砂丘にみられる「風成横列シート」の形成条件. 日本砂丘学会誌, 56 (3), 83-90. 査読無
- ⑧ 鶴崎展巨・小玉芳敬 (2010) 岩美町の山陰海岸海浜におけるウスバカゲロウ類の分布. 山陰自然史研究, 5号, 35-38. 査読有
- ⑨ 川内勇人・小玉芳敬 (2010) 鳥取砂丘沿岸の砂浜堆積物にみられる粒度組成の東西変化. 鳥取大学地域学部紀要 地域学論集, 6巻, 3号, 325-332. 査読無
- ⑩ 田村亨・小玉芳敬・齋藤有・渡辺和明・山口直文・松本弾 (2010) 鳥取砂丘の地中レーダ断面. 第四紀研究, 49 (6), 357-367. 査読有

[学会発表] (計15件)

- ① 小玉芳敬 (2012) 千代川流域流砂系の下流に位置する鳥取砂丘 ～ダイナミクスの個性と普遍性～. 2011年度日本物理学会, 2012. 03. 26 15:10-15:40, @関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス, 「地形のパターンとダイナミクス」シンポジウム招待講演, 口頭発表
- ② 谷口裕美*・松四雄騎・小玉芳敬 (2011. 05. 28) 宇宙線生成核種年代測定を用いた鳥取砂丘の形成年代測定. ポスター発表, 山陰海岸ジオパーク研究会@とりぎん文化会館 第2会議室, 主催: 日本地質学会近畿支部
- ③ 梅原舞乃・三好博之*・小玉芳敬 (2011. 05. 28) 横列砂丘風上側斜面の傾斜角特性. ポスター発表, 山陰海岸ジオパーク研究会@とりぎん文化会館 第2会議室, 主催: 日本地質学会近畿支部
- ④ 中原智子・小玉芳敬・田渕直人 (2011. 05. 28) 鳥取砂丘にみられる小型砂丘列の変遷. ポスター発表, 山陰海岸ジオパーク研究会@とりぎん文化会館 第2会議室, 主催: 日本地質学会近畿支部
- ⑤ 田村 亨・齋藤 有・Mark D. Bateman・小玉芳敬・松本 弾・山口直文・渡辺和明 (2011) 鳥取砂丘におけるOSL年代測定の適用. Application of OSL dating to Tottori

coastal dunes. 2011年度日本地球惑星科学連
合大会@幕張, MIS028-P06年代測定と地球惑
星科学におけるルミネッセンスとESR・セッシ
ョン, ポスター発表, 2011. 05. 25

14:00-16:30

- ⑥ 小玉芳敬*・美藤彩花 (2011) 温帯湿潤気候下の
鳥取砂丘にみられる砂簾の形成プロセス.
Formation of dry sand avalanches in Tottori
Sand Dunes, southwest Japan, in humid
temperate climate. 2011年度日本地球惑星
科学連合大会@幕張, HGM021-03地形セッシ
ョン, 口頭発表, 2011. 05. 25 14:45-15:00
- ⑦ 岡部広夢*・小玉芳敬 (2011) 傾斜可変型風洞実
験による風紋の動態計測. 2011年度鳥取地学
会ポスター発表 2011. 05. 21@鳥取県立博物
館講堂
- ⑧ 長尾 翼・小玉芳敬* (2011) 鳥取砂丘海岸の粒
度組成変化が飛砂量に及ぼす影響 一粒径の
混合比率をかえた風洞実験を通して考えるー.
2011年度鳥取地学会口頭発表 2011. 05. 21@
鳥取県立博物館講堂
- ⑨ 小玉芳敬* (2011) 教師のための「山陰海岸ジオ
パーク」野外学習ハンドブック (鳥取砂丘を
中心にして) の公開. The recently released
handbook for teachers studying in the field
at San'in Kaigan Geo Parks: Focusing on
Tottori Sand Dunes. 2011年度日本地球惑星
科学連合大会@幕張, 0022-P21ジオパーク・
セッション, ポスター発表, 2011. 05. 23
16:15-18:45
- ⑩ Yoshinori KODAMA* and Hiroaki KITAKA (2010)
Cross Sections of Wind Ripples on Various
Slopes of Sand Dunes. International
Conference on Geomorphological Processes
and Their Evolutions Along Alpine and
Himalayan Zone, Ankara University, Turkey,
poster, Sep. 13, 2010
- ⑪ 小玉芳敬*・川内勇人 (2010) 鳥取砂丘沿岸の砂
浜堆積物にみられる粒度組成の東西変化. 日
本地球惑星科学連合大会@幕張 EH7-3, セッ
ションH-GM005-06 地形, 2010. 05. 25
10:05-10:18
- ⑫ 橋本翔平・小玉芳敬* (2010) 飛砂量に及ぼす粒
径の混合効果に関する風洞実験. 2010年度鳥取
地学会ポスター発表 2010. 05. 22@鳥取県立
博物館講堂
- ⑬ 田渕直人・小玉芳敬*・岡田昭明 (2010) 形成プ
ロセスから見直す鳥取砂丘スリバチ地形の分
類. 2010年度鳥取地学会口頭発表 2010. 05. 22

@鳥取県立博物館講堂

- ⑭ 野口理恵・小玉芳敬* (2010) 鳥取砂丘に見られ
るクラストの形成プロセス. 2010年度鳥取地学
会口頭発表 2010. 05. 22@鳥取県立博物館講
堂
- ⑮ 橘高広了・小玉芳敬* (2010) 進行傾斜角による
風紋の断面形態変化. 2010年度鳥取地学会口頭
発表 2010. 05. 22@鳥取県立博物館講堂

[図書] (計4件)

- ① 小玉芳敬 (2010) 「砂丘の不思議 3 鳥取砂丘
の成り立ち」In:財団法人自然公園財団編「山
陰海岸国立公園パークガイド 世界ジオパ
ーク鳥取砂丘」25-27.
- ② 小玉芳敬 (2010) 「発達史」と「形成プロセス」
の観点から調べた鳥取砂丘の地学現象. 鳥取
砂丘再生会議 (保全再生部会) 「山陰海岸国立
公園 鳥取砂丘景観保全調査報告書」, 17-34.
- ③ 小玉芳敬 (2009) 「第2章鳥取砂丘の地形・地
質 1節鳥取砂丘の地形特性①～⑥」In:鳥取
砂丘検定実行委員会編「砂丘を知ろう 鳥取
砂丘検定 公式テキストブック」今井書店,
14-18
- ④ 小玉芳敬 (2009) 「鳥取砂丘」In:日本地質学会
編「日本地方地質誌6 中国地方」, 163-164.

[その他]

ホームページ等

<http://www.rs.tottori-u.ac.jp/geopark-handbook/index.html> 「教師のための山陰海岸
ジオパーク野外学習ハンドブック～鳥取砂丘を中
心にして～」

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小玉 芳敬

鳥取大学・地域学部・教授

研究者番号: 50263455