

# 雄島流紋岩の流理構造の擾乱部について

吉澤 康暢\*

Disturbances in the flow structure of Oshima rhyolite

Yasunobu YOSHIZAWA\*

(要旨) 雄島は、越前加賀海岸国定公園内にある、標高36.3m、面積10.2ha、周囲約2kmの無人島で、越前海岸の中では最大の島である。雄島周辺には、新生代新第三紀中新世の火山岩類と堆積岩類からなる米脇層が露出している。雄島流紋岩は溶岩ドームからなり、2013年に「雄島流紋岩の流理構造」について研究報告をした。その中で、雄島流紋岩には流理構造の一部に、著しい擾乱部があることが判明した。擾乱(じょうらん, disturbance)とは、気象学でいう大気が乱れる現象のことで、地球の大気圏では小さな乱れが常に発生している。雄島流紋岩は、SiO<sub>2</sub>を71wt.%以上含む粘性の高い液体状の溶岩が、流動しながら冷却・固化したもので、顕著な流理構造を持つ火山岩である。この流理構造は、雄島の溶岩ドームの地形や構造を決定する要素となっている。板状節理の岩列は、流理構造の走向や傾斜が反映されている。しかし、流理構造を詳細に観察すると、流理構造は一様ではなく、複雑な擾乱部、破碎部や褶曲部などが存在する。これらの構造を調べることにより、雄島流紋岩の溶岩ドームが冷却・固化するときの内部の圧縮応力など、多くの情報を読み取ることができた。その概要を報告する。

キーワード：雄島流紋岩、流理構造、流理構造の擾乱

## 1. はじめに

雄島に露出する地質については、これまでに詳細な研究がなされている(吉澤康暢, 2013)。雄島の岩質は流紋岩からなり、その形成年代は新生代新第三紀中新世である。流紋岩の年代値としては(中島正志ほか1990)  $13.0 \pm 0.3\text{Ma}$ のK-Ar年代(全岩)を報告している。雄島の東部には、流紋岩の基底と考えられる火山角礫岩層が露出している(安野敏勝, 1994)。また、流紋岩には溶岩の冷却時に形成された柱状節理や板状節理が発達している。雄島流紋岩のSiO<sub>2</sub>含有量は、石渡(2006)は74wt.%、吉澤(2018)は71.2wt.%、71.3wt.%を報告している。

雄島の照葉樹林帯と草原地帯を抜けた北西海岸部の岩場には、強い北西の季節風や日本海の波浪により侵食された、顕著な流理構造を残した岩盤が広く露出している。

「雄島流紋岩の流理構造(吉澤康暢, 2013)」の研究報告では、これまでに、次のことが明らかになっている。

①雄島全体の地形はひし形で、その対角線の方向はNW-SEとNE-SW方向である。この対角線の末端部には岬状の突出部があり、それぞれ島を形成する流紋岩の流理構造の走向および傾斜の先端部に一致している。

現在の雄島の地形は、流出固結した流紋岩が、長年にわたる波浪の侵食を受け、その大部分が消失した結果であると考えられる。

②雄島橋の北西詰め付近から雄島の東海岸の汀線付近には、火山角礫岩層が露出している。この火山角礫岩層は、雄島流紋岩の下位にあたり、流紋岩の基底と考えられる。

③雄島の東海岸および南海岸には、巨大な柱状節理が露出し、その高さは雄島の対角線である北西方向に向かって減じている。最高地点は36.3mで、大湊神社の西側にある。島全体としては、もう一つのピーク33.1mと二つのピークが存在し、島の南側中央を占めている。雄島全体の形状は底面が平らな鏡餅のようなドーム状構造の一部であると考えている。

④雄島全域の流紋岩の岩盤には、板状節理が発達し、流理構造を反映した岩列が形成されている。柱状節理は、流理構造と直交する方向に形成されている。

⑤雄島全域の流理構造の走向は、雄島の地形の南西端から北東端に向かって大きく弧を描くように伸びている。弧の中心軸は、雄島橋の北詰め付近から北西端のビョウブの方向に伸びる線上にある。この流理構造の走向は、西海岸部および北海岸部の岩列や岩礁列の走向(N63E, N40W)、ビョウブの岩列の走

\*福井市自然史博物館協力員 〒918-8006 福井県福井市足羽上町147

\*Expert adviser of Fukui City Museum of Natural History, 147 Asuwakami-cho, Fukui-shi, Fukui 918-8006, Japan

向 (N38E) と一致している。このように、ひし形をした雄島の地形や岩列の方向は、流理構造と深く関わっている。

- ⑥板状節理面（流理構造面）の傾斜は、雄島の地形の対角線である南東から北西に向かって、角度が増加し（28度～70度）、北西端のビヨウ付近が最大値の70度を示している（図2）。これは、流紋岩が南東から北西に向かって流れたことを示しており、北西端のビヨウ付の傾斜が急角度である原因の一つとして、溶岩ドームの末端部である可能性がある。
- ⑦流理構造の走向・傾斜から推定される流紋岩の層厚については、東海岸の汀線付近の一部に、流紋岩の基底と考えられる火山角礫岩層が存在することから、雄島の地下深くまで流紋岩の岩体が伸びている可能性は低く、全体として底面が平らな鏡餅状のドーム構造が考えられる。また、溶岩層の上下関係については、その傾斜方向より、火山角礫岩層が露出する南東端が最下位で、北西端のビヨウ付近が最上位と考えられる。以上の事実から流紋岩の層厚は、流理構造が次第に急角度になっていくことも考え合わせ、最大約40mと考えられる。
- ⑧雄島流紋岩の薄片を偏光顕微鏡で観察すると、斜長

石や輝石の斑晶、磁鉄鉱などの鉱物が数多く見られるほか、石基には石英の小さな結晶や球顆が縞状に配列する流理組織が観察できる。

- ⑨流紋岩の岩盤が広く露出する雄島では、方位磁針を近づけると狂う磁気異常地点が複数箇所存在する。その原因としては、落雷により強い磁化を受けたことが考えられる。
- 以上は2013年の成果であるが、この他に、流理構造の擾乱部が5箇所（図1、写真1のA、B、C、D、E地点）見つかっている。この擾乱部の詳細な構造についてはこれまで不明であったので、今回擾乱部の産状を調査するため、ドローンを使用した。その空撮画像（2022年11月15日、上野浩幸氏撮影）の解析を行い、擾乱部の中心ポイントをつきとめ、前回成し得なかった雄島流紋岩の流理構造の擾乱部の産状の解明を行った。次にその概要について報告する。

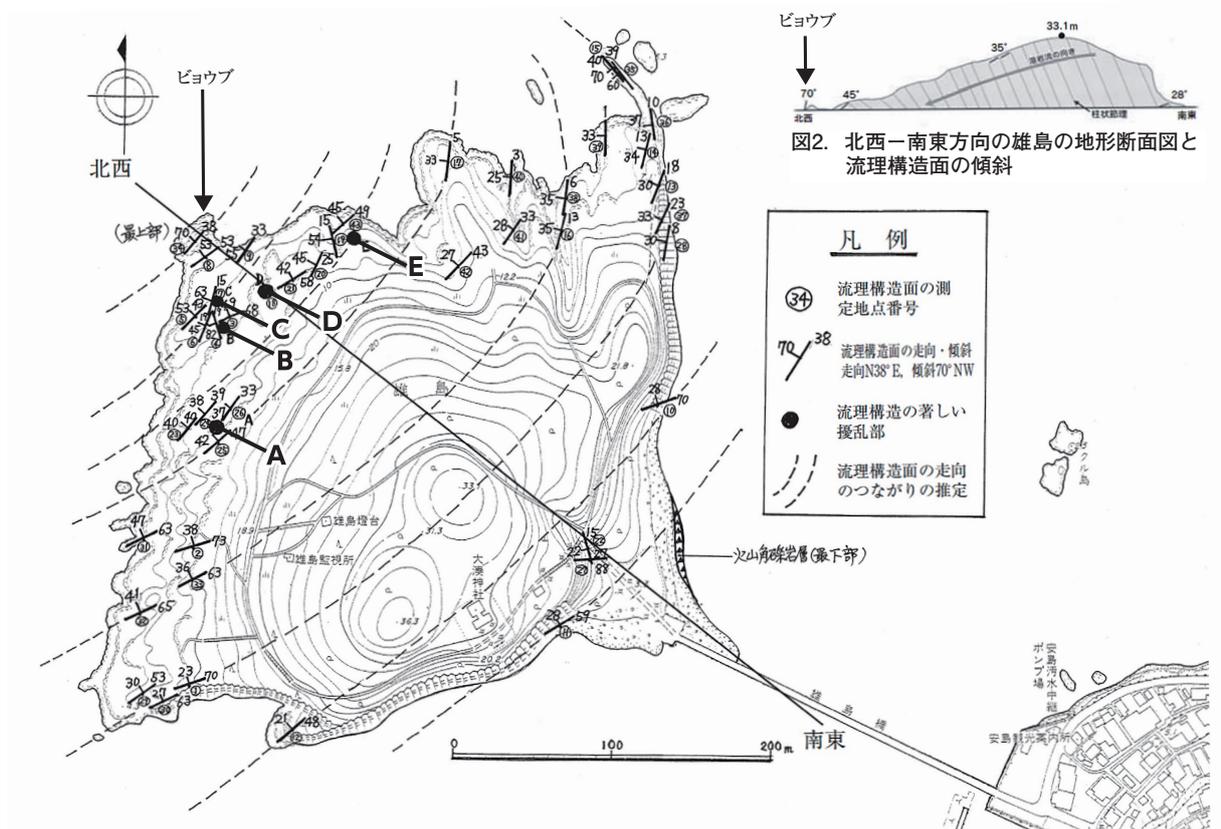


図1. 雄島流紋岩の流理構造面の走向・傾斜

## 2. 流理構造の擾乱部の概要

流理構造の擾乱部は5か所（図1, 写真1のA, B, C, D, E地点）見つかっている。そのほとんどは、雄鳥の北西部の岩盤上に集中しており、擾乱部は、流理構造のほぼ同一の走向帯に含まれている。その上下の走向帯では擾乱部は見つかっていない。流理構造の擾乱部の中心付近では、5箇所全てにおいて、流理構造が大きく擾乱、褶曲、破碎している。

写真1の流理構造や割れ目の特徴は、対角線NW-SE方向に平行な縦の大きな割れ目と、その間を埋める板状節理面上の小さな縦の平行な割れ目群が無数に存在すること。この割れ目群の方向は、流理構造とはほぼ直角方向で、規則正しい割れ目となっている。これらは冷却による最後の段階の割れ目構造と考えられる。この割れ目群は、対角線の両端（雄鳥のNE-SW方向）からの圧縮応力による割れ目と考えられる。各擾乱部は、著しい褶曲による流理構造を示し、冷却時にかなり大きな応力が加わったことがうかがえる。擾乱部の形成は、溶岩が冷却固化した後の変形によるものではなく、溶岩が流動しながら固結する際、諸方向からの応力がこの部分に集中し、変形した後固結したものと考えられる。流理構造と対角線NW-SE方向に平行な縦の割れ目群とはほぼ直交する。横からの冷却による圧縮が、縦の割れ目群を作ると考えられる。つまり、NE-SW方向からの圧縮がNW-SE方向の縦の割れ目群を形成することになる。そして、流理構造の走向は擾乱部が起点となり、南東部に凸部を持つ緩いカーブの褶曲構造を作り出している。このカーブも、NE-SW方向からの圧縮応力が原因と考えられる。

## 3. 各擾乱部の産状（写真1, 2, 3, 4, 5）

擾乱部B地点とC地点（図1, 写真1）は、近接している。B地点（写真2）の中心部はクサビ状に破碎し、流理構造が不連続となっている。C地点（写真3）では、流理構造が大きくねじれ、流理の走向が逆S字形となっている。また、付近には深い溝状の谷地形が存在し、C地点に向かって集まっている。擾乱部E地点（写真5）は複雑な破碎部で、左側の流理構造が緩いカーブであるのに対し、右側は流理構造が途中から破碎している。この流理構造はB地点（写真2）の破碎部とよく似ており、クサビ状に破碎した褶曲構造になっている。D地点（写真4）では、写真8, 9, 12のように、流理構造が最も激しく褶曲している。これは通常の流理構造が形成された後に、同じ部分がさらに圧縮応力を受け、強く褶曲し固化した結果と考えられる。

これら流紋岩溶岩が冷却固化するとき、溶岩内部の

温度が微妙に異なるため、流理構造は横からの応力を受け、内部の温度が高い部分では、固まらずに複雑な褶曲をし続け、変形をした結果、擾乱部が形成されたものと考えられることができる。

## 4. 微小部分の流理構造

写真8, 9, 10, 11, 12, 13は、肉眼、ルーペ、顕微鏡とそれぞれ解像度は異なるが、何れも流紋岩特有の流理構造である。写真8, 9は、圧縮応力を受け、複雑に褶曲した擾乱部（写真1のD地点）である。写真10は、擾乱部ではない溶岩流表面の肉眼で見た流理構造である。肉眼レベルでも複雑な構造が観察できる。暗色の縞模様は、有色鉱物や急冷したガラス質の部分で、明色の縞模様は、石英や長石の密集部分と考えられる。この模様は、枝分かれ、合流、途切れ、波打ち、小褶曲を繰り返しながら流理構造と呼ばれる流れ模様を形成している。写真11は、擾乱部ではない岩石薄片を透過光で見た詳細な流理構造で、写真10で見た、暗色や明色の縞模様がさらに細部にまで及んでいるのがわかる。白色の大きめの斑晶は斜長石で、流理構造の流れの抵抗を受けている。斜長石の斑晶の長軸は溶岩の流れから力を受け、その抵抗により定向配列をしている。これは大きな斑晶ほど顕著である。このことは、斜長石の斑晶は溶岩流が固化する前から存在していたことを意味する。また、斑晶の傾きの方向から、溶岩流の流れの向きも推定できる。写真11の場合、斑晶付近の流理の渦模様から、溶岩流が左から右に流れたと推定できる。この他、小さな斑晶は流理に取り込まれ、斑晶の長軸が流理とほぼ平行になっている。写真12は、複雑な褶曲を受けた擾乱部の岩石表面の流理構造である。流理構造がはじめに形成され、その後、さらに応力を受け続け、行き場がなくなった溶岩が褶曲した後、固化したことがわかる。写真13は、偏光顕微鏡のオープンニコルで見た、擾乱部ではない岩石薄片で、拡大率が最も大きい写真である。石基部には微小な石英の結晶や球顆の配列などの流理組織が見える。

## 5. 擾乱部の成因について考察

雄鳥の流理構造の擾乱部の成因について考察すると、雄鳥の地形、流理構造、擾乱部、流紋岩溶岩ドームの冷却時の収縮による岩体の歪みなどの構造が、相互に関連することが分かってきた。写真1の擾乱部A, B, C, D, Eを中心とする流理構造の流れの走向を写真から読み取ると、南東側に凸部を持つ（ピョウブ方向を凹部とする）緩く波打つ湾曲した3つの褶曲構造が見えてくる。この曲線のしわ寄せ部の中心が5箇所

の擾乱部に一致する。また、板状節理面に現れた、平行する特徴的な大小の割れ目群の方向は、雄島のNW-SE方向対角線と平行である。この割れ目群は、雄島全体に長く広範囲に及ぶものと、小さい規模のものがあり、板状節理とは異なる構造の割れ目である。この割れ目群の方向、擾乱部の中心位置、流理構造の走向の湾曲などは、相互に関連している。雄島の流紋岩体に、冷却に伴いNE-SWの方向から圧縮応力が働き、板状節理面にNW-SE方向の規則正しい大小様々な割れ目群が形成されたと考えられる。

以上のことから、雄島で特徴的な5箇所の流理構造の擾乱部やNW-SE方向の規則正しい大小様々な雄島の対角線と平行な割れ目群は、溶岩ドームの冷却に伴う圧縮応力の結果形成された構造であり、溶岩流の冷却により通常形成される板状節理や柱状節理とは異なる構造であると考えられることができる。

## 6. まとめ

雄島流紋岩の流理構造の擾乱部について、現地での観察、ドローンによる撮影画像の解析により、次のことが明らかとなった。

- ①流理構造の擾乱部は5箇所（図1、写真1のA、B、C、D、E地点、写真2～5）ありそのほとんどは、雄島の北西端部に集中しており、ほぼ同一の流理構造の走向帯に含まれている。つまり、溶岩流の擾乱を受けた時期が同じである。写真1のB、C、E地点の流理構造の擾乱は、流理構造の大きな褶曲の曲がり部で、その中心部にはクサビ状の破碎部が発生している。D地点では、写真8、9、12のように、流理構造そのものが、激しく褶曲している。流理構造が形成された後に、同じ部分がさらに圧縮応力を受け、強く褶曲し固まっている。擾乱は溶岩が冷却固化した後の変形によるものではなく、溶岩が液体状であるとき、流動しながら諸方向から圧縮応力を受け褶曲により擾乱したものと考えられる。
- ②擾乱部B地点の中心部分は、クサビ状の破碎部となり、流理構造が不連続となっている。C地点では、流理構造が大きくねじれ、流理の走向が逆S字形となっている。中心部分はクサビ状の破碎部となり、擾乱部B地点の中心部分と同じ現象で、流理構造が不連続となっている。擾乱部E地点は複雑な破碎部で、左側の流理構造はゆるいカーブの平行状であるのに対し、右側は流理構造が途中から破碎している。この流理構造は、B地点、C地点の破碎部とよく似ており褶曲部が破碎し、クサビ状の構造になっている。中心部分は流理構造が不連続となっている。
- ③流理構造の擾乱部4箇所（B、C、D、E）を含む走向帯はこの部分を起点として流理構造が緩く湾曲してい

る。起点B、C、Eの中心付近には、大型のクサビ状の割れ目がみられる。湾曲の中心線はNW-SE方向の対角線で、この対角線と並行する大小の割れ目が無数にみられる。起点C、Dの中心付近の流理構造は、圧縮応力による強い褶曲構造となっている。

- ④擾乱部D地点は激しい褶曲部である。下位の流理構造はほぼ水平な平行状に対し、上位はゆるく褶曲している。中間部の流理構造は、雄島全体の中で最も複雑な褶曲構造となっている。雄島の中央、中心軸に位置し、尾根状の高まりになっている。雄島の対角線NE-SW方向からの圧縮応力により形成されたものと考えられる。
- ⑤雄島で特徴的な5箇所の流理構造の擾乱部やNW-SE方向の規則正しい大小様々な雄島の対角線と平行な割れ目群は、溶岩ドームの冷却に伴う圧縮応力の結果形成された構造であり、溶岩流の冷却により通常形成される板状節理や柱状節理とは異なる構造であると考えられることができる。

## 謝 辞

雄島流紋岩の流理構造の調査にあたり、大湊神社宮司松村氏には調査の許可をいただいた。また、上野浩幸氏にはドローンによる流理構造の撮影とその画像の使用許可をいただいた。ここに記して感謝いたします。

## 引用文献

- 石渡 明, 2006, 東尋坊付近の中新世中期の火山岩. 340-341. 日本地質学会編, 日本地方地質誌4, 中部地方, 朝倉書店
- 中島正志・沢田順弘・中川登美雄・林 昌代・板谷徹丸, 1990, 福井県北部新第三系のK-Ar年代と古地磁気—西南日本ブロックの回転に関して—. 岩鉱, 85, 45-59
- 安野敏勝, 1994, 福井県三国町の地質と野外観察. 高志高等学校研究集録第22号, 1-23
- 吉澤康暢, 1991, 福井県三国町米脇層の岩相層序と堆積環境. 三浦 静教授退官記念論文集, 35-42
- 吉澤康暢, 2005, 東尋坊安山岩質貫入岩体の産状と構造. 福井市自然史博物館研究報告, no.52. 13-27
- 吉澤康暢, 2012, 越前松島玄武岩質安山岩の産状. 福井市自然史博物館研究報告. no.59. 8-16
- 吉澤康暢, 2013, 雄島の流紋岩の流理構造. 福井市自然史博物館研究報告, no.60. 11-20
- 吉澤康暢, 2018, 東尋坊と雄島に残る"エッセル堤"に使用された石材採掘跡. 福井市自然史博物館研究報告, No. 65, 11-20
- 吉澤康暢, 2021, 東尋坊千丈敷における柱状節理と板状節理と溶岩の流動痕. 福井市自然史博物館研究報告, no.68. 9-18
- 中川登美雄・八十川竜馬, 2022, 福井県坂井市三国町に分布する中部中新統米脇層の古環境. 福井大学地域環境研究教育センター研究紀要, no.29, 1-40

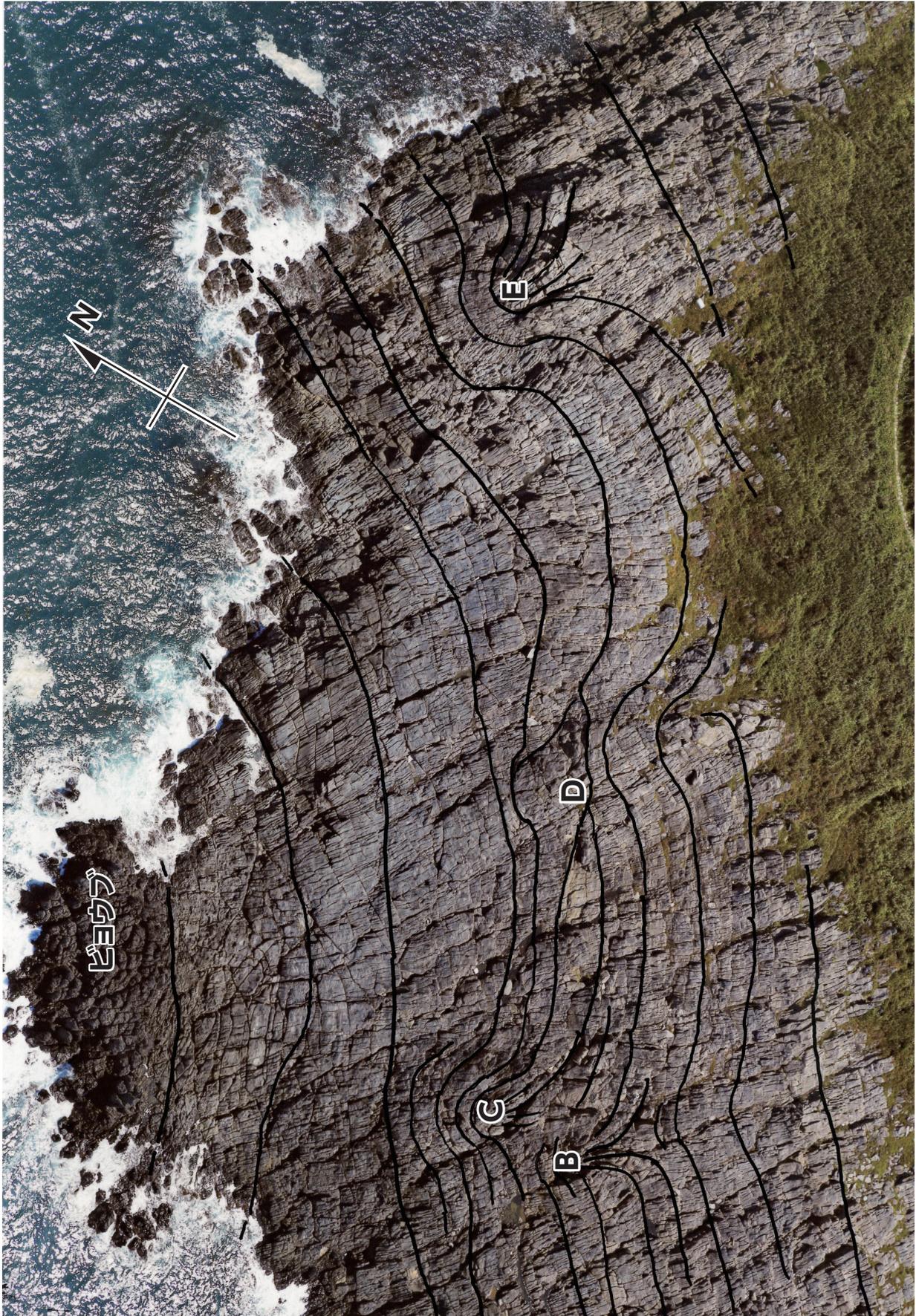


写真1. セスナ機から空撮、雄島の北西部海岸の岩場。左下はピョウブ、中央の岩場には流理構造の擾乱部が4箇所（B、C、D、E）見られる。そこを起点として流理構造がゆるく湾曲している。起点B、C、Eの中心付近には、大型のクサビ状の割れ目がみられる。湾曲の中心線はNW-SE方向の対角線で、この対角線と並行する大小の割れ目が無数にみられる。起点C、Dの中心付近の流理構造は、圧縮応力による強い褶曲構造となっている。これらは、溶岩の冷却による収縮と考えられる。（黒色の実線は、流理構造をトレースしたもの）



写真2. ドローンで空撮。写真1の擾乱部B地点の大型のクサビ状破砕部。上下左右の平行状の流理構造とは異なり、クサビ状の割れ目の発生により流理構造が不連続となっている。(黒色の実線は、流理構造をトレースしたもの)  
Bの位置：緯度36°15' 8.05″，経度136°7' 4.14″，高度30.9m，画面縦幅45.7m



写真3. ドローンで空撮. 写真1の擾乱部C地点の逆S字状破碎部. 流理構造が逆S字状に大きく褶曲している. 左右の延長部の流理構造は平行状. 写真2と3の破碎部は, 断層などを伴う, 対角線NE-SW方向からの圧縮応力により形成されたものと考えられる. (黒色の実線は, 流理構造をトレースしたもの)  
Cの位置: 緯度36°15' 8.75", 経度136°7' 4.05", 高度15.0m, 画面縦幅22.2m



写真4. ドローンで空撮。写真1の擾乱部D地点の褶曲部。下位の流理構造はほぼ水平な平行状に対し、上位はゆるく褶曲している。写真中央、中間部の流理構造は、雄島全体の中で最も複雑な褶曲構造になっている。雄島の対角線NE-SW方向からの圧縮応力により形成されたものと考えられる。(黒色の実線は、流理構造をトレースしたもの) 点線の円内には大人2人と影が写っている。  
Dの位置：緯度36°15′9.01″，経度136°7′5.48″，高度15.2m，画面縦幅22.5m



写真5. ドローンで空撮。写真1の擾乱部E地点の複雑な褶曲による破碎部。左側の流理構造はゆるいカーブの平行状に対し、右側は流理構造が途中から破碎している。E地点の中心部は、極端な褶曲により破碎が進み、大型のくさび状の割れ目が形成されている。雄島の対角線NE-SW方向からの圧縮応力により形成されたものと考えられる。  
(黒色の実線は、流理構造をトレースしたもの)  
Eの位置：緯度36°15'9.76"，経度136°7'7.07"，高度29.3m，画面縦幅43.3m



写真6. セスナ機による空撮. 雄島南方上空より望む



写真7. 板状節理の断面, レンズ状の溶岩流が右から左に向かって上位に重なる痕跡が観察できる (図1のD地点)

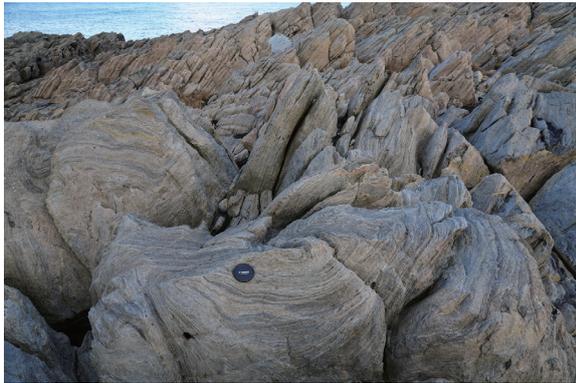


写真8. 流理構造の擾乱部 (図1のD地点)



写真9. 流理構造の擾乱部 (図1のD地点)



写真10. 雄島流紋岩の流理構造の拡大 (図1のD地点)



写真11. 雄島流紋岩の大型岩石薄片を透過光で撮影. 写真の横幅は約20mm



写真12. 雄島流紋岩の流理構造の擾乱部の拡大 (図1のD地点)

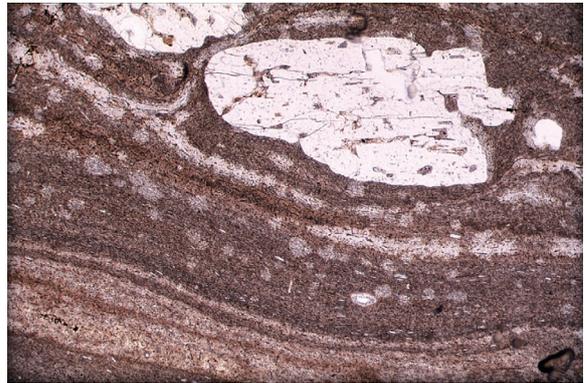


写真13. 雄島流紋岩の偏光顕微鏡写真 (下方ポーラー) 大きな斑晶は斜長石, 石基の白色粒子は石英, 球顆・写真の横幅は約2mm.