

雄島の流紋岩の流理構造

吉澤 康暢*

Flow Structure of the Rhyolite in Oshima Island,
Mikuni-cho, Fukui Prefecture, Central Japan
Yasunobu YOSHIZAWA*

(要旨) 福井県坂井市三国町の雄島に分布する流紋岩の産状の観察および流理構造面の走向と最大傾斜角の測定を行った。その結果から、雄島の地形および流紋岩の構造や形成について考察を行った。雄島の流紋岩は、流紋岩質マグマが先に堆積した地層中に貫入し、冷却固結した貫入岩体であると考えられる。貫入当時の岩体は、底面が平らな鏡餅のような形状(ドーム状)をしていたことが推定できる。現在の地形は、長年の波浪による侵食によって大部分が消失した結果であると考えられる。また、雄島に分布する流紋岩の流理構造は、柱状節理・板状節理の形成と密接に関係している。流理構造面は、南東から北西に向かって傾きが増し、さらに南東-北西軸を中心に、北西方向に大きく湾曲していることがわかった。また、島の北西部に流理構造の顕著な擾乱部分が5か所見つかった。このことから、雄島の流紋岩溶岩は南東方向より北西方向に向かって流れ、雄島の北西部は溶岩流の末端部付近であったため溶岩流の上層部に応力が集中し、冷却固化する前に変形し、流理構造の乱れが生じたと考えられる。以上の結果について詳細に報告する。

キーワード：雄島，流紋岩，流理構造，流理構造の擾乱，流理構造面の走向・傾斜

1 はじめに

雄島は、越前加賀海岸国定公園内にあり、名勝および天然記念物である東尋坊の北約2kmに位置する。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。三国町安島地域から朱塗りの雄島橋(長さ224m)を渡って上陸する。付近の景勝地である東尋坊および越前松島の地質については詳細な研究がなされている(市川ほか1961, 三浦1975, 吉澤1991, 2005, 2012)が、雄島に分布する流紋岩の産状や地形については詳細な研究がなされていない。雄島の岩質についてこれまでに明らかになっていることは、雄島は流紋岩(SiO_2 量が約70%)からなり、その形成年代は新生代新第三紀中新世で13Ma(中島ほか1990)と考えられている。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。雄島の板状節理の産状については、中学生の理科研究報告(森田1986)があるが、雄島全域に分布する流紋岩の流理構造面の走向・傾斜の測定をはじめ、流理構造と柱状節理・板状節理との関係については明らかにされていない。

雄島の流紋岩の特徴は、マグマの粘性が高いため、

溶岩の流れ模様である流理構造が顕著に見られることである。流理構造は、マグマが固結しつつある間に流動し、すでに晶出した斑晶や石基の鉱物がレンズ状・縞状、線状などに配列した流れ模様である。雄島の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、磁鉄鉱などが多く見られるほか、石基には石英の小さな結晶や小さな鉱物が縞状に配列する、流状組織が観察できる。

火山岩の柱状節理は、主に溶岩が冷却固結する際、収縮するために形成されるが、柱の伸びの方向は重力の方向(上下)とは無関係で、マグマが冷えるときの等温面に対して垂直にできると考えられている。つまり、マグマが水平に流れた場合、柱状節理の伸びの方向は地面にほぼ垂直になると考えられ、柱状節理が階段のように横に伸びている場合は岩脈と考えられ、柱状節理を挟む二つの縦の等温面を考えることができる。雄島の流紋岩には柱状節理と板状節理の両方が形成されている。柱状節理は雄島橋の北詰め付近の南海岸部で顕著に現れている。この付近の柱状節理の傾きは北西方向に約28度である。本研究では、雄島全域に分布する流紋岩の流理構造の詳細な観察と測定を行い、雄島の地形の成因および流紋岩体の構造やその形成について考察を行った。

*福井市自然史博物館, 〒918-8006 福井市足羽上町147

*Fukui city Museum of Natural History, 147 Asuwakami-cho, Fukui, Fukui, 918-8006 Japan.

2 流理構造の測定方法

雄島は東海岸の一部で火山角礫岩層が露出しているが、これ以外、全島一種類の流紋岩から形成されている。この流紋岩には、顕著な流理構造が発達している。一方、流紋岩溶岩が冷却固化する際、収縮により形成された柱状節理や板状節理が発達している。雄島の北部および西部において板状節理の構造が顕著であるが、板状節理面のつらなりを観察すると大きく湾曲しており、雄島の地形形成の原因と考えられる規則性が認められた。しかし、板状節理は単なる冷却節理であり、流紋岩の内部構造を示す流理構造とは一致していない。今回、柱状節理や板状節理面の方向に惑わされることなく、雄島流紋岩の真の構造を知ることを目的に、流理構造面の測定を島全域について実施した。測定ポイントの選定は、雄島の地形や岩列・岩礁列に流理構造の影響が表れている地点を中心に行った。

測定の方法は、厚さ1cm、長さ25cm×25cmの板とクリノメータを使用した。GPS機能付のデジタルクリノメータ（Geo Clino）の使用も試みたが、複雑なセッティングを経なければならず、短時間での測定には向かず、得られた数値にも信頼が持てなかった。結局、今回の調査は、機械式の普通のクリノメータを使用して行った。

雄島の流紋岩の板状節理面は流理構造が原因で形成されたものなので、板状節理面の方向と流理構造面の方向とは一致するはずであるが、実際は少しずつ異なるものがほとんどである。各測定地点では、板状節理面に惑わされることなく、その地点一帯で流理構造の平均的な値を正しく反映している面を探す努力を行った。しかし、雄島の表層に露出する流理構造面は風化が進行し、流理構造のミリ単位の微小面で剥離が進んでいる。その面は完全な平面ではなく、微小な階段状の面を形成している。流理構造の表面が可能な限り平面に近い部分を測定地点付近で探し、測定面の細かい凹凸を平均化するため板を当て、クリノメータで測定した。

詳細な測定結果を記録する地形図は、三国町の国土基本図1/2500を使用した。雄島は意外に広く、この地形図のみでは良く似た形状の岩場の位置が確認できなかった。測定結果の記録の正確さを期するため、セスナ機をチャーターし、雄島上空から詳細な地形の観察と岩場の写真撮影（写真1）をおこなった。撮影した写真を拡大して印刷した用紙（写真2）を持ち歩くことにより、測定地点の正確な岩場の位置を確認しながらデータを地形図上に記録することができた。

3 流紋岩体の構造と地形

雄島の地形および露出する流紋岩の観察結果を地形図にまとめた（図1）。

現在の雄島の地形は、ひし形をしており、その対角線の方向は北東－南西方向と北西－南東方向である。この対角線の方向は、そこに分布する流紋岩の性質や産状と深く関係している。また、流紋岩マグマの内部に形成された流理構造は、冷却する際形成された柱状節理や板状節理の形成と密接に関わっている。

雄島の東海岸および南海岸は、巨大な柱状節理が露出し、その高さは雄島の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。全体として、底辺の広い鏡餅のようなドーム状構造となっている。

雄島の地形の特異な地点は、ビョウブ、ネコの小判、三ツ岩、馬の背南東側の深い谷構造である。これらの産状は、雄島流紋岩の岩質および冷却により形成された柱状節理や板状節理に起因している。馬の背南東側の深い谷構造については、最初の切れ込み部分は、流理構造の走向と一致しており、一つの原因と考えられる。

現在の雄島の地形は、流紋岩の溶岩が流出固結したその当時はもっと大きな岩体であったと思われるが、長年にわたる波浪の侵食を受け、大部分が消失した結果であると考えられる。

4 流理構造からわかる雄島の大構造

雄島に露出する流紋岩の流理構造の詳細な観察を行い、流理構造面の走向と傾斜を43地点について測定し、その結果を地形図上にまとめた（図2）。その結果多くのことが明らかとなった。

島全体の流理構造面の走向は、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、雄島橋のつけ根から北西端のビョウブの方向である。この走向は、西海岸部および北海岸部の岩列や岩礁列の方向（N63°E, N40°W）、ビョウブの方向（N38°E）とも一致している。このように、現在のひし形をした雄島の地形は、流理構造と深く関わっている。流理構造の湾曲の原因やその形成時期については明らかにできなかった。

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、北西端のビョウブ付近が最大値の70度を示している。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、急角度の原因の一つとして、溶岩流の末端部とも考えられる。

5 流理構造と柱状節理・板状節理との関係

溶岩は冷却するとき、その体積が収縮し規則的な冷却節理を生ずる。溶岩がドーム状の場合、冷却はドームの表面から始まり、柱状節理はこのドームの表面や溶岩の流理構造と直交する形で発達すると考えられる。雄島の流理構造面の測定値から溶岩は南東から北西に向って流れたことがわかるが、溶岩層の南東部が下位で、北西端が上位と考えられる。また北西端で傾斜が急角度になるこれらの構造は、ドームの曲面の端の部分に相当すると考えられる。板状節理は流紋岩溶岩の流理構造に起因し、ほぼ平行に発達している。

6 流理構造の擾乱部

流理構造の擾乱部は5か所（図2の●A, B, C, D, E地点）見つかった。そのほとんどは、雄島の北西端部に集中しており、ほぼ同一の走向帯に含まれている。これ以外の地点では見つかっていない。擾乱部は、著しい褶曲構造のような流理構造を示し、かなり大きな力が加わったことがうかがえる。雄島の流紋岩体はドーム状の貫入岩体であり、溶岩は南東方向より北西方向に向かって流れ、北西端は溶岩流の末端部付近にあたと考えられる。この地点の流理構造の擾乱部の形成は、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。

7 基底部の火山角礫岩層

雄島橋の北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。層厚は約40m。この岩層に含まれている礫は、大小様々な流紋岩～デイサイトの角礫～亜円礫からなり、マトリックスは凝灰質で、軽石などの火山礫等で埋められている。これらの特徴から、この岩層は火砕流～土石流的な堆積物と考えられる。この火山角礫岩層と雄島流紋岩の層位関係を示す直接的な証拠はないが、地形的な位置関係は、雄島流紋岩の下位にあたる。また、流紋岩と同質の礫を含むことから、雄島流紋岩の流出前の火山活動により流出したもので、流紋岩の基底と考えることができる。この岩層は、雄島の南東側に位置する安島の海岸付近に広く分布する火山角礫岩層と同時期のものと考えられることから、雄島流紋岩の流出時期は、安島の火山角礫岩層の堆積後と考えることができる。

8 侵食による現在の地形

雄島流紋岩は流理構造をはじめ、柱状節理や板状節理の構造などから、マグマ流出時ドーム状の構造であったと考えられる。その後の波浪による侵食で、島の東海岸部および南海岸部の大部分が失われ、ドーム中心部の中味が見えている状態と考えられる。また、西海岸部と北海岸部で見られる岩列や岩礁列の方向が流理構造面の走向と一致することから、溶岩の流理構造が柱状節理や板状節理の構造を決め、現在の雄島の形を形成したものと考えられる。

9 自然残留磁気の異常地点

雄島の北部には、強い自然残留磁気を示す地点が複数か所存在する。この異常地点は流紋岩の岩体に簡易な方位磁針を近づけると、磁針のN極が180度反対方向を指す。この地点の一つで詳細な測定をし、磁界の向きをつらねてみた結果、磁気異常地点を中心に、磁針のN極が反時計回りの渦状を示すことがわかった。

この磁気異常現象を説明する一つの仮説として、この地点の岩場に大きな落雷があり、強い電流が流れ、強力な磁場が発生したと考えられる。この磁場の影響により、流紋岩中に含まれる磁鉄鉱等が強く磁化され、流紋岩が強い磁性を帯びたためと解釈できる。この磁力により、方位磁針が狂うものと考えられる。

10 まとめ

今回の調査で得られた雄島の地形の観察結果をはじめ、島を形成する流紋岩の流理構造面の走向と傾斜の測定結果を地形図上に記入し考察を行った。その結果、次のことが明らかとなった。

- ①雄島の全体の形はひし形で、その対角線の方向は北東-南西方向と北西-南東方向である。この対角線の方向には岬状の突出部があるが、それぞれ島を形成する流紋岩の流理構造面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。この岩層に含まれている礫は、大小様々な流紋岩～デイサイトの角礫～亜円礫からなり、マトリックスは凝灰質で、火山礫等で充填されている。また、この火山角礫岩層は、雄島の流紋岩の下位にあたり、流紋岩の基底と考えられる。これらの特徴から、この火山角礫岩層は、雄島流紋岩の流出前に堆積した火砕流～土石

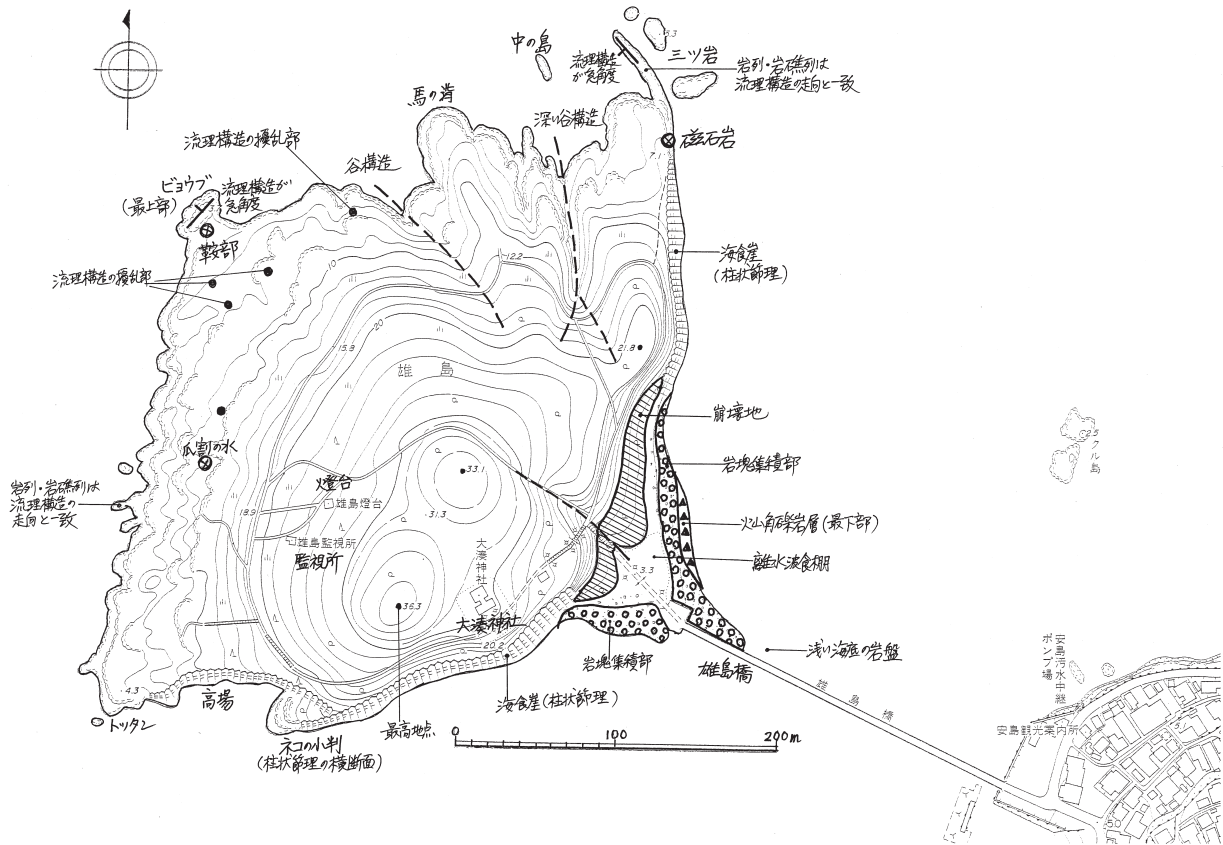


図1：雄島の主な地形

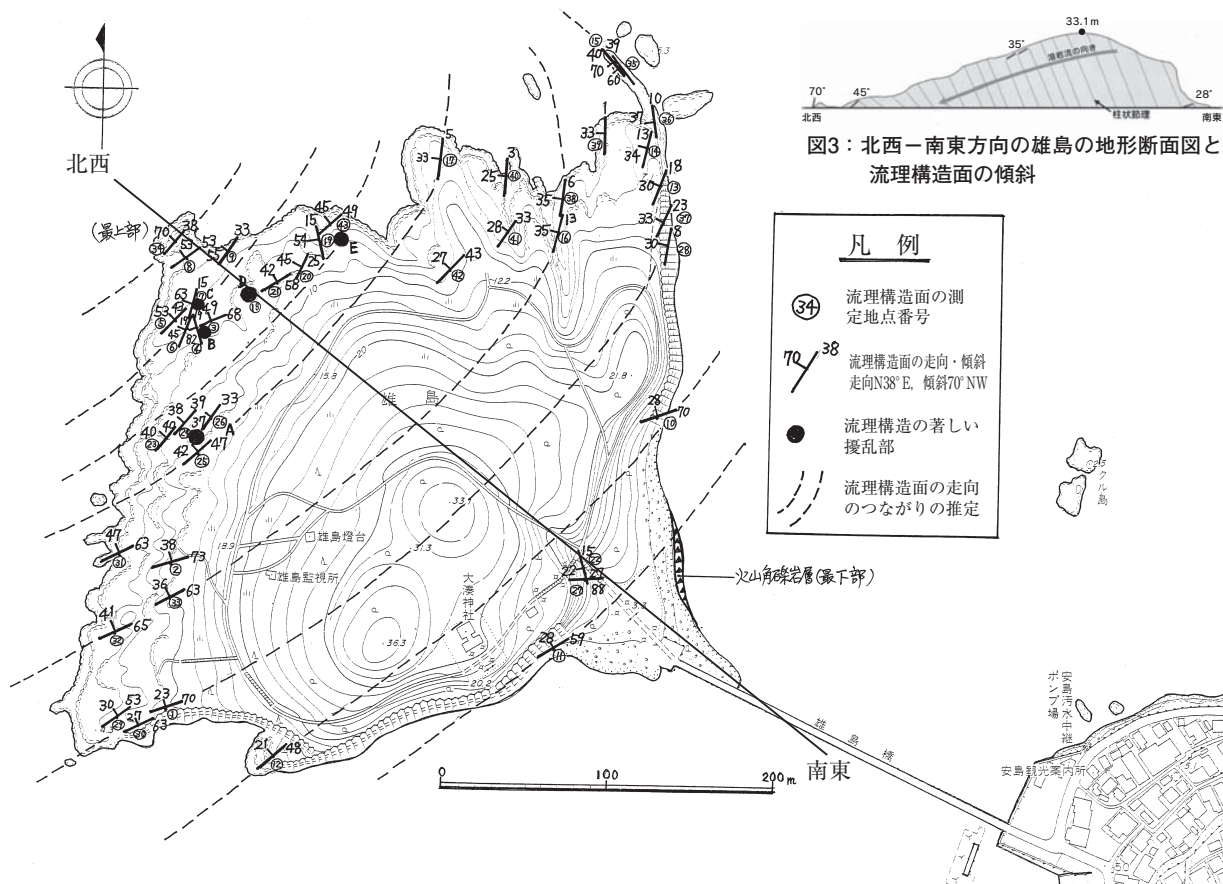


図2：雄島流紋岩の流理構造面の走向・傾斜

図3：北西-南東方向の雄島の地形断面図と流理構造面の傾斜



写真1：空撮，雄島東側上空より全景，中央から右側に伸びる深い谷構造が明瞭に見える



写真2：空撮，雄島の北西部海岸，右下はビョウブ，中央の岩場には流理構造の擾乱部が4か所見られる（○B，C，D，E）



写真3：空撮，北西上空より雄島を望む



写真4：空撮，南方上空より雄島を望む



写真5：空撮，南側海岸のネコの小判

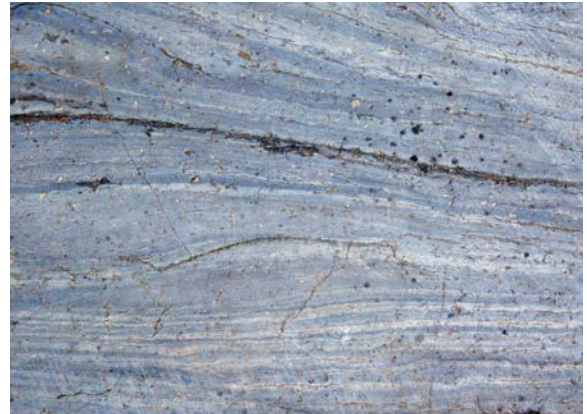


写真6：雄島流紋岩の研磨面の流理構造

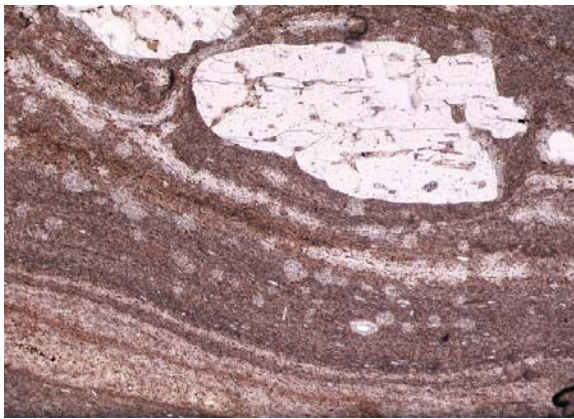


写真7：雄島流紋岩の偏光顕微鏡写真（下方ポーラー）

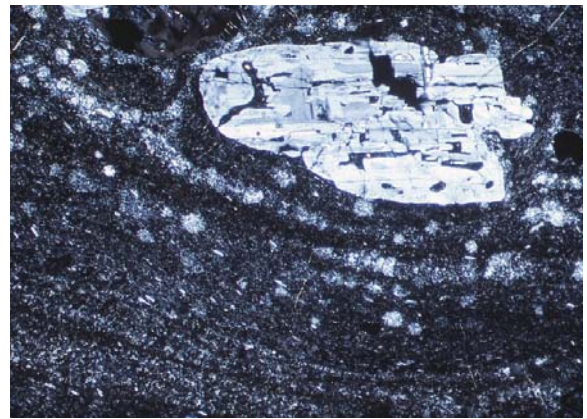


写真8：雄島流紋岩の偏光顕微鏡写真（直交ポーラー），大きな斑晶は斜長石



写真9：雄島橋北詰から見た雄島流紋岩の柱状節理



写真10：ネコの小判から見た雄島流紋岩の柱状節理

雄島の流紋岩の流理構造



写真11：ネコの小判の柱状節理の横断面形



写真12：雄島の流紋岩は流理構造に沿って薄くはげる



写真13：流理構造に平行な急角度の板状節理



写真14：流理構造面の傾斜は北西に向かって角度が増していく



写真15：高場から見たネコの小判付近の海食崖



写真16：ビョウブの黒っぽい急傾斜の岩体



写真17：最北端の岩礁列の流理構造面の走行が大きく曲っている



写真18：最北端の岩礁列の急傾斜の流理構造



写真19：空撮，最北端の岩礁列の大きな曲がり



写真20：空撮，流理構造の擾乱部や板状節理の構造（北西海岸）



写真21：空撮，流理構造の擾乱部が中央に見える（北西海岸）



写真22：空撮，西側上空より北西端付近を望む



写真23：縞模様は流理構造で急傾斜を示す

雄島の流紋岩の流理構造



写真24：流理構造の擾乱部の拡大（図2のD地点）



写真25：流理構造の擾乱部（図2のD地点）



写真26：東海岸の汀線付近に露出する火山角礫岩層



写真27：磁石岩，方位磁針が狂う磁気異常ポイント



写真28：流理構造の擾乱部（図2のD地点）

流堆積物と考えられる。

- 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られる。
- ④雄島の地形の特異な地点は、ビョウブ、ネコの小判、三ツ岩、馬の背南東側の深い谷構造である。これらの地形は、雄島の流紋岩の岩質および冷却により形成された柱状節理や板状節理に起因している。馬の背南東側の深い谷構造については、最初の切れ込みは、流理構造の走向と一致しており、一つの原因と考えられる。
- ⑤雄島の流紋岩の板状節理面は、主に流理構造が原因となって形成されている。柱状節理は、流理構造と直交する方向に形成されている。
- ⑥雄島全域の流理構造面の走向は、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である。この走向は、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向（N38E）とも一致している。このように、現在のひし形をした雄島の地形は、島を形成する流紋岩の流理構造に原因があり深く関わっている。流理構造の湾曲の原因やその形成時期については明らかにできなかった。
- ⑦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）、北西端のビョウブ付近が最大値の70度を示している。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、北西端のビョウブの傾斜が急角度である原因の一つとして、溶岩流の末端部（ドームの末端部）であるとも考えられる。
- ⑧流理構造面の走向・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層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状構造と考えられる。また、溶岩層中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部で、北西端のビョウブ付近が最上部と考えられる。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。
- ⑨流理構造の擾乱部は5か所（図2の●A, B, C, D, E地点）見つかった。そのほとんどは、雄島の北西

端部に集中しており、ほぼ同一の走向帯に含まれている。擾乱部のすぐ上部や下部の走向帯では大きく乱れている部分は見つかっていない。この部分は、ほぼ溶岩流の末端部に相当することから、溶岩が冷却固化した後の変形によるものではなく、溶岩流出時に流動しながら諸方向から大きな力を受けたため擾乱したものと考えられる。

- ⑩雄島の流紋岩の流理構造、柱状節理、板状節理および全体の形状などから、雄島の流紋岩体はドーム状の貫入岩体であると考えられる。この流紋岩溶岩は、南東方向より北西方向に向かって流れ、北西端は溶岩流の末端部であるため流理構造の乱れを生じさせたと考えられる。
- ⑪雄島の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、磁鉄鉱などが数多く見られるほか、石基には石英の小さな結晶や小さな鉱物が縞状に配列する、流状組織が観察できる。
- ⑫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存在する。この現象は、各地の山頂の露岩でも観察されることであるが、その原因としては落雷による強い磁化が考えられる。

謝 辞

雄島の流紋岩の流理構造の調査にあたり、雄島の大湊神社宮司松村忠祀氏より雄島への立ち入りおよび調査の許可をいただきました。ここに記して深く感謝申し上げます。

引用文献

- 市川 渡・粕野義夫・山崎正男, 1961, 福井県東尋坊松島地区地質調査報告書, 19p
- 三浦 静, 1957, 福井県加越台地の地質-第一報-(特に新第三系の層序について), 福井大学学芸学部紀要, II, no.7, 149-161
- 三浦 静, 1975, 三国町の自然環境概観及び三国町地質図, 三国町自然環境保全候補地学術調査報告, 三国町, 1-5.
- 森田純代, 1986, 雄島の板状節理の研究, 福井県理科研究会第35回私たちの理科研究
- 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, 福井県三国町米ヶ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