地学雑誌　Journal of Geography（Chigaku Zasshi）　128（6）941–952 2019　doi:10.5026/jgeography.128.941

景観としての水中火山岩
―室蘭市絵鞆半島の外海岸急崖の産状―

山岸宏光[*+]　畑本雅彦[**]
鎌田光也[**]　志村一夫[**]

Landscape Geology of Subaqueous Volcanic Rocks: Sea Cliffs on Etomo Peninsula, Muroran, Hokkaido, Japan

Hiromitsu YAMAGISHI[*+], Masahiko HATAMOTO[**],
Mitsuya KAMATA[**] and Kazuo SHIMURA[**]

［Received 23 May, 2018; Accepted 16 January, 2019］

Abstract

"Buratamori Muroran," an NHK Japan TV program was broadcasted on November 25, 2017. To prepare for the program, observations were made on the Etomo Peninsula using orthophotographs provided by Muroran City as Open Data. A large number of aerial photographs were taken using aircrafts and observational research was undertaken by road. In addition, cliffs were observed from a small boat provided by Hokkaido Regional Development Bureau, Muroran. As a result of these research activities, many remarkable outcrops and occurrences of Miocene subaqueous volcanic rocks were observed on the cliffs, most of which are inaccessible. Subaqueous pumice flows, concentric and radial columnar jointed dikes called Peach Rock, subaqueous lava domes associated with hyaloclastites, and their feeder dikes forming apophyseal, polygonal and columnar-joints were observed. The occurrences of these variable subaqueous volcanic rocks are described and models of some volcanic rocks are described. Finally, cliffs are defined as subjects for geo-tourism.

Key words：landscape geology, subaqueous volcanic rocks, hyaloclastite, feeder dike, lava dome
キーワード：景観地質学，水中火山岩，水冷破砕岩，給源岩脈，溶岩ドーム

I. まえがき

NHKブラタモリという番組では，地学の話題がよくでてくる。そのなかで，とくに，ブラタモリ熱海では，"水冷破砕溶岩"という言葉が，同知床では"水冷破砕岩"，また，2017年11月25日に放映された同室蘭では，筆者の一人山岸が出演して，水冷破砕岩という用語の創始者として紹介され，地球岬やトッカリショなど，室蘭八景の海側から見た"水中火山"のでき方を解説した。

[*] NPO北海道総合地質学研究センター
[**] 株式会社シン技術コンサル
[+] 現所属：株式会社シン技術コンサル
[*] NPO Hokkaido Research Center of Geology（HRCG）, Sapporo, 063-0002, Japan
[**] Shin Engineering Consultant Co. Ltd, Sapporo, 003-0021, Japan
[+] Present address: Shin Engineering Consultant Co. Ltd, Sapporo, 003-0021, Japan

この室蘭絵鞆半島外側の断崖の地質や岩石については，5万分の1地質図福「室蘭」（小山内・酒匂, 1953）があるが，古い概念で記載されていて，最近の知識で解説したものはない。そのため，その取材にあわせて，室蘭市が公開しているオープンデータ（オルソ画像）の解析[1]でヒントを得たため，セスナ機（(株)シン技術コンサル）による斜め写真撮影や海上，陸上の現地調査を2017年7月に実施して膨大なデータを収集した。その結果，貴重な資料を入手すると同時に新たな知見を得ることができた。

本文では，この急崖の主題の“ハイアロクラスタイト”（荒牧・山岸, 1996のhyaloclastite）の和訳である“水冷破砕岩”の意味や由来を紹介し，ブラタモリ室蘭の番組作成のために取得した種々の画像データの放送されなかったものをおもに紹介し，それらの知見や形成モデルを議論する。

II. 用語“水冷破砕岩”の由来と議論

地質研究者がよく使っているハイアロクラスタイト（荒巻・山岸, 1996）」の日本語訳を，水冷破砕岩としたのは著者の一人山岸である（山岸, 1980ほか）が，この名称を使うことについては70年代には，いくつかの議論があったので，火山岩の分類をふくめて紹介する。

ハイアロクラスタイトの用語の起源はRitmann（1962）が玄武岩の枕状溶岩の外縁のガラスが脆性破壊したものをhyaloclastiteと定義したことに始まるが，1960–1970年代に種々の議論があり，いまでは，あらゆる組成のマグマが水中で脆性破砕したもので，あらゆるサイズの角礫岩に使われている。このハイアロクラスタイトという言葉が地質の論文に最初に登場させたのは，山岸（1973）であると，河内ほか（1976）が述べている。実際，山岸（1973）が使用したのは，北海道小樽市忍路半島で記載した玄武岩質安山岩の水中でできた枕状溶岩を伴う火砕岩に対してである。この用語は，それまでは，“集塊岩”と呼ばれていた。しかし，この用語は，久野（1954）による火山学の古典的教科書『火山及び火山岩』にあるように，陸上の爆発的な噴出物に命名されたものである。山岸は，従来の新第三紀のいわゆる“グリーンタフ”地域に分布するいわゆる集塊岩と呼ばれてきた火砕岩の多くは，“水冷破砕”された噴出岩であることを解明した（Yamagishi, 1987）。また，いわゆる“緑色岩（シャールスタイン）”と呼ばれた中生代の岩石もその後ハイアロクラスタイトと呼ばれるようになった。しかし，わが国で最初に，溶岩が水中に入って破砕した“水中自破砕溶岩”を記載したのは，富士山の山麓の本栖湖に流入した安山岩の溶岩について報告した久野（1968）である。1960年代から1970年代にかけては，わが国では“黒鉱”探査が盛んで，その硫化物鉱床の起源が酸性の海底火山活動でないかといった議論が盛んな頃であった。海外では，日本よりやや古く，Carlisle（1963），Pichler（1965）などによって，カナダやイタリアのシシリーでハイアロクラスタイトの研究が盛んに行われた。また，ハイアロクラスタイトという用語は，1996年2月14日に，北海道積丹半島の海岸線を走る国道229号線のトンネル入り口でバスもろとも巻き込まれて，20名が亡くなった岩盤崩落事故の際に使われた岩石名であった（山岸, 1996）。また，その翌年の1997年8月の同じ国道229号線で発生した第二白糸トンネルの崩落も同じ岩石であった（山岸・志村, 1997）。この当時，渡辺（1996）は，とくに，水冷破砕岩の使い方を議論していて，“水冷火砕岩”という語を提唱したが，筆者は水冷破砕岩の英訳であるハイアロクラスタイトを使うべきと考えた（山岸, 1996）。なぜなら，火砕岩という言葉は，火山活動によって発生する，水陸を問わず，メカニズムを問わないあらゆる火山性堆積物で破片状のものを意味するからである。1980年代以降では，McPhie *et al.*（1993）があらゆる火山岩類はeffusiveとexplosiveとに区分すべきとした（図1）。また，山岸（1994）は“水中火山岩”すべてを総括して，写真集と用語解説を和英両語で出版した。NHKブラタモリ室蘭の放映のための事前取材の際には，最初に，室蘭市が公開しているオープンデータ（オルソ画像）で判読してみると，海食崖の淵には固い岩石（岩脈）が

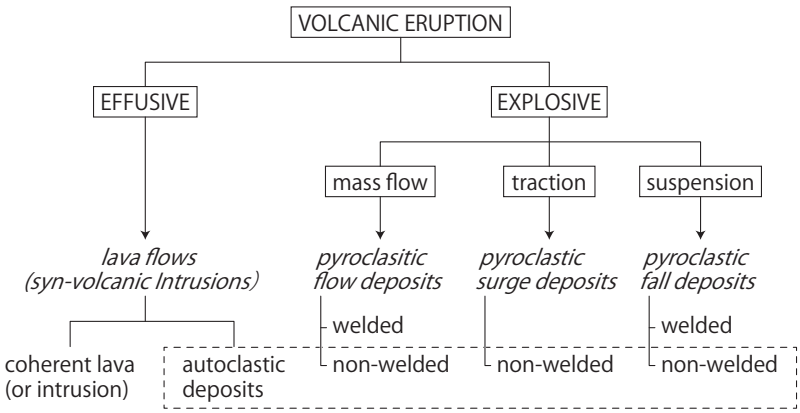

図 1　火山性産物の分類（McPhie *et al*., 1993）の一部改変).

Fig. 1　Genetic classification of volcanic products (Partially modified from McPhie *et al*., 1993).

図 2　室蘭市絵鞆半島の水中火山岩の位置図（背景地図は国土地理院標準地図[2]).（1)から(8)は本文で解説するおもな露頭の位置を示す.

Fig. 2　Location map of subaqueous volcanics exposed on the Etomo Peninsula, Muroran (background from Standard map[2] of Geospatial Information Authority of Japan). (1) to (8) show locations explained in the main text.

それに沿って配列していることがわかったので，セスナ機による斜め写真撮影，踏査による現地調査，ボートによる海上調査などを実施した。その結果，室蘭市絵柄半島外海岸（図 2[2]）の急崖全体の概要を得ることができ，分布する水中火山岩についていくつかの知見が得られたので，本文で紹介する。

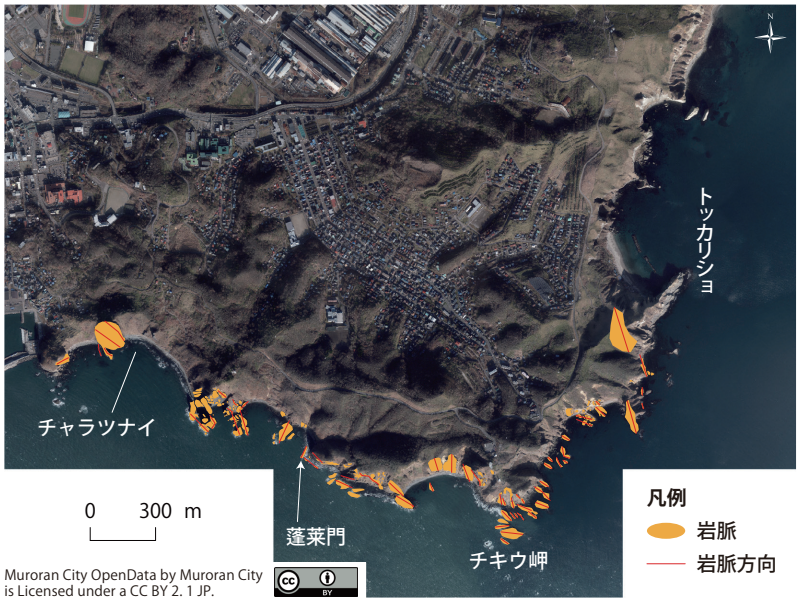

図 3　オルソ画像[1] の GIS 解析による岩脈の分布と配列方向.

Fig. 3　Distribution and arrangement directions of dikes analyzed using orthophotos[1].

III. オープンデータ（オルソ画像）の GIS 解析

絵鞆半島のオルソ画像を GIS のソフト ArcGIS v.10.2 を使用して，絵鞆半島北西端から地球岬に至る絵鞆半島急崖東半部の岩脈状の岩体を判読してポリゴンで表示し，それらの配列方向をポリラインで示した（図 3）。それによると，ハルカラモイからチキウ岬までの岩脈の配列は，NNW-SSE 方向の平行あるいは雁行配列を示している。一方，地球岬からトッカリショまでは，その方向が若干変わり NNNE-SSSW 方向となる。つまり，この岩脈の配列方向が，絵鞆半島の“まさかり”の刃先のような形を規制しているように見える。一方，絵鞆半島西半部は“銀屏風”と呼ばれる軽石凝灰岩であり（後述），岩脈状のものは存在せず，ほぼ垂直の崖のため，垂直なオルソ画像では判読できない。

IV. 水中火山岩を供給した岩脈（給源岩脈）の景観

1）斜め写真による岩脈の判読

ハルカラモイの南海岸（図 2 の(1)）や蓬莱門（図 2 の(2)）には典型的な給源岩脈（水冷破砕岩を供給する岩脈で feeder dike ともいう）が見え，前者は，通称“ろうそく岩”で，積丹半島ではよく見られるものである。しかし，この室蘭絵鞆海岸のろうそく岩は特異である（図 4）。つまり，この先端部が，菱餅のような形をした，いわゆる“にせピロー”（pseudo pillow; Watanabe and Katsui, 1976）と呼ばれる多角形が見える。この“ろうそく”全体はそれらが積み重なった形を示している。この多角形のブロックは，後に“ジョインテッドブロック”（山岸, 1998）とされ，山岸（1994; 図 5）のモデルの A の部分に相当する。

一方，蓬莱門と称される岩体（図 6）は，岩脈の外形に垂直に発達した柱状節理が特徴的で，山岸モデル（図 5）の B にあたる。つまり，岩脈

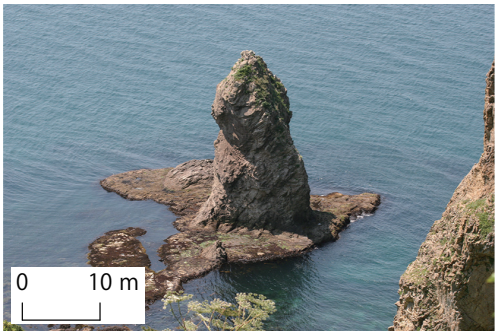

図 4　ハルカラモイ付近のろうそく岩（図 2 の(1)）.

Fig. 4　Candle Rock exposed at Harukaramoi (Fig. 2-(1)).

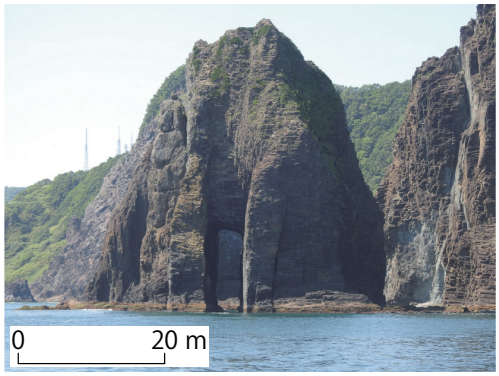

図 6　蓬莱門と呼ばれる給源岩脈（図 2 の(2)）.

Fig. 6　Feeder dike called Horaimon (Fig.2-(2)).

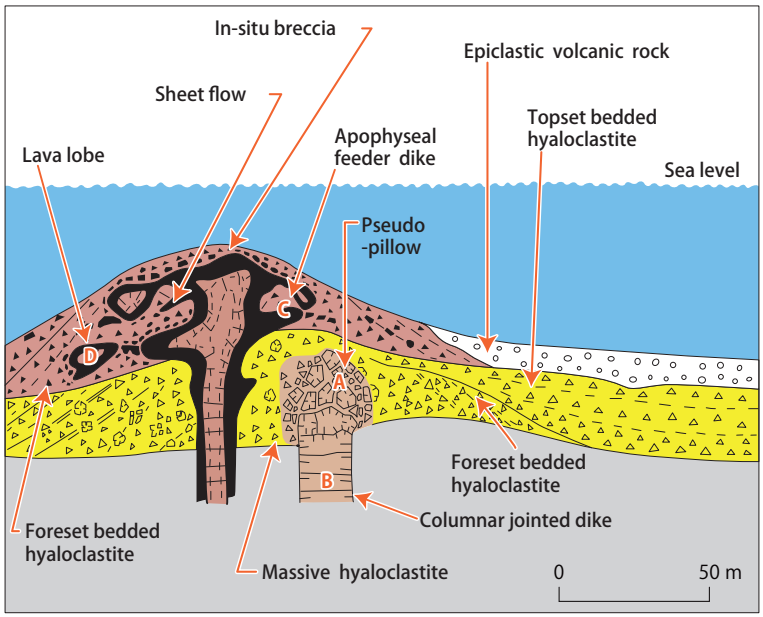

図 5　珪質マグマの水中火山モデル（山岸, 1994）を一部改変.

Fig. 5　Formation model of subaqueous volcano (modified from Yamagishi, 1994).

の中心部は柱状節理となり，その外側は水冷破砕岩となって，侵食されて消失してしまったと推定される。この岩脈内部の縦の節理と横の柱状節理で境された部分が，一本ずつ波蝕により落下して，“門”の形をつくったものである。

2）オルソ画像による給源岩脈の判読

室蘭市が提供しているオルソ画像は垂直写真であるため，垂直な崖は写っていないが，傾斜の緩い崖ではオルソ画像でも捉えられている。そのことによって，いくつかの複雑な形態の給源岩脈が判読された（図 7；図 2 の(3)）。黄土色部分のマトリクス中に不規則な形の黒い部分が複雑に入り込んだような形を示す。それらは後述する地球岬の西側の緩傾斜の崖で，“金屏風”と呼ばれてい

図 7　岩枝状タイプ（apophyseal type）の給源岩脈[1] と風化したマトリクス（地球岬西側の金屏風；図 2 の(3)）.

Fig. 7　Apophyseal feeder dikes[1] and weathering matrix（Kinbyoubu west of Chikyu-Misaki; Fig. 2-(3)）.

る所以である。図 7 の黒い部分は給源岩脈の一種で，不規則な形態で岩枝状タイプ（Apophyseal-type）と呼ばれる（図 5 の C；山岸, 1994）ものであり，黄土色のマトリクスは，海底風化によるパラゴナイトあるいは，さらに風化が進んだスメクタイトと推定される。

3）チャラツナイの室蘭桃岩

絵鞆半島外海岸のチャラツナイ（図 2 の(4)）には，黒っぽい単独の岩体がある（図 8）。この岩体は短径 60 m，長径 150 m の楕円体であり，放射状節理と同心円状節理が組み合わさったものである。岩体の外側は植生に覆われていて露頭は見えない。この岩体は，おそらくガラス質の流紋岩で黒曜石のように黒い水中火山岩体と推定される（Yamagishi and Dimroth, 1985）。その外側が植生に覆われているのは，一般的な流紋岩質の水中溶岩は周りがパーライトになっていて風化が進み土壌化したものが多いためであろう。このような放射状節理と同心円状節理が組み合わさった水中火山岩体は，Goto and McPhie（1998）が，北海道礼文島の元地で Peach Rock として記載しているものに似ている。したがって，このチャラツナイの岩体について，筆者らは Muroran Peach Rock（室蘭桃岩）と命名する。

図 8　チャラツナイの室蘭桃岩（図 2 の(4)）.

Fig. 8　Muroran Peach Rock exposed at Charatsunai beach（Fig. 2-(4)）.

この同心円節理と放射状節理の組み合わせはからなる室蘭桃岩の形成モデルは図 9 のように推定される。つまり，流紋岩マグマが海底に上昇して

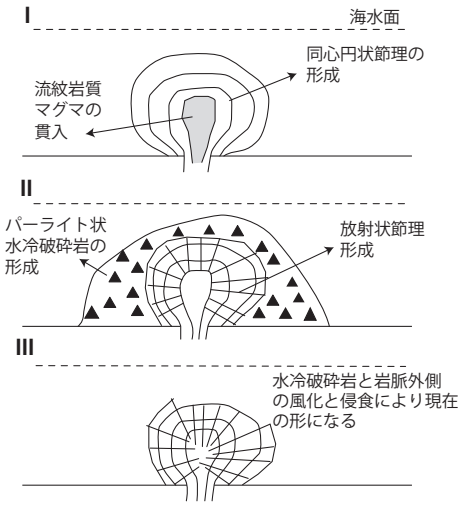

図 9　室蘭桃岩の形成モデル.

Fig. 9　Formation model of Muroran Peach Rock.

くる際に，流理構造に沿って内側と外側での速度の相違によるせん断力が発生して同心円状節理の発達した溶岩ドーム状の岩脈になる（図 9 の I）。最外側は水冷破砕して，水中の流紋岩特有のパーライト状の水冷破砕岩が形成されたらしい（図 9 の II）。内部は徐々に冷えて外面に直交する短縮節理が発展して，最終的にその節理が中心部に達して，放射状節理となる（図 9 の III）。水冷破砕岩と岩脈の外側は風化と侵食により，同心円状節理と放射状節理の組合さった特異な岩体を形成したと考えられる。

4）ハルカラモイの水中溶岩ドーム

ハルカラモイは空から見ると岩脈のために入り組んだ岬状を呈するが，海上から見る南側の海蝕崖は，巨大な溶岩ドームの断面のように見える（図 10；図 2 の(5)）。その規模は，幅 200 m，高さ 150 m で，上部が柱状節理の発達した溶岩

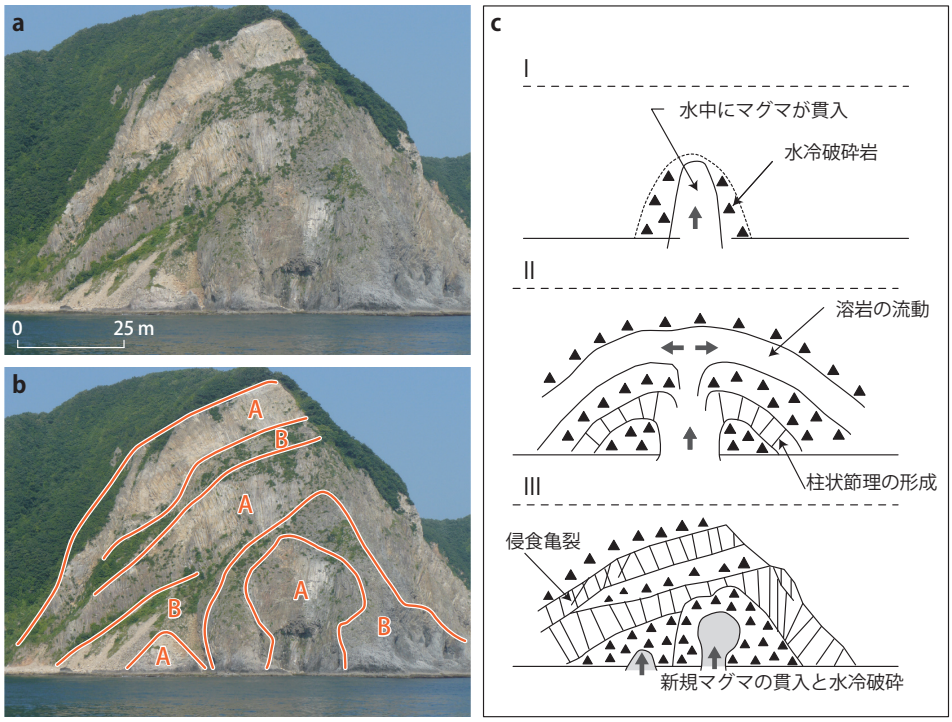

図 10　a：ハルカラモイの水中溶岩ドームの産状（図 2 の(5)），b：水中溶岩ドームの写真判読による溶岩や水冷破砕岩の境界を示す，c：ハルカラモイの水中溶岩ドームの形成モデル.

Fig. 10　a: Lava dome exposed at Harukaramoi (Fig.2-(5)), b: Photointerpretation revealing boundaries of subaqueous lava dome and associated hyaloclastites, c: Formation model of subaqueous lava dome exposed at Harukaramoi.

図 11　チキウ岬の水中火山岩（図 2 の(6)）．A：溶岩ドーム（岩脈），B：緩傾斜の地形を示す水冷破砕溶岩.

Fig. 11　Subaqueous volcanic rocks of Chikyu Misaki (Fig.2-(6)). A: Lava dome (Dike), B: Hyaloclastic lava showing gentle dipping.

とその間に水冷破砕岩らしい岩相を挟んでいるのが見える（図 10a，b）。

この溶岩ドームの形成は以下のように推定される（図 10c）。まず，海底にマグマがでてきて周辺に水冷破砕岩を形成する（図 10c の I）。その後，次々と溶岩が噴出した際，ある程度の厚みがあるため内部に柱状節理が発達し，その外側に水冷破砕岩が堆積する（図 10c の II）。それらが定着したあとも，海底から次々にマグマが溶岩ドームとして貫入して，周りに水冷破砕岩が形成され，その後の侵食に伴い亀裂が形成されて現在の形になった（図 10c の III）。

5）チキウ岬の水中火山の産状

絵鞆半島の南東端に位置するチキウ岬（図 11；図 2 の(6)）をセスナ機からの斜め写真で見ると，まず，溶岩ドーム（岩脈；図 11 の A）とその背後になだらかな平坦地（図 11 の B）が見える。この平坦地は水中で噴火した流紋岩の溶岩と判断される。つまり，セスナ機で，より東側に回ってみると流理構造を示す水冷破砕溶岩が，展望台側から流動して東側（灯台側）と西側（駐車場側）へ，さらに北側の 3 方向に流動したように見える。北側へ流動したものはその先端がめくれあがったように見える（図 12 の B）。そのあとに溶岩ドーム（岩脈；図 11 の A，図 12 の A）が貫入したらしい。正面には，平行層理を示す水冷破砕岩（頂置層 = Topset Bed）が見え，その上下層は斜行層理を示す（図 12 の C）。図 11 および 12 の A の岩脈は，チキウ岬展望台駐車場から遊歩道を下がると，北側の表面が観察でき，全体として水冷破砕して不規則な割れ目が発達するが，部分的に柱状節理が見える。この産状は，マグマが上昇する際には外側は破砕されて完全な水冷破砕岩になるが，内部は水冷破砕が不完全で柱状節理も部分的に残っているためである。外側の水冷破砕岩は，その後完全に侵食されて消失し，中心部のみが残ったのが現在の岩脈の形になったと推定される。

6）水中溶岩ローブと水冷破砕岩層

蓬莱門の東方の断崖（図 13；図 2 の(7)）には，やや茶色がかった溶岩と水冷破砕岩との複合体（図 13 の A）と，その東側に水冷破砕岩の層が 30 度位の東傾斜で重なった部分がある（図 13 の B）。その下位にはやや傾斜の緩い類似の層が見える（図 13 の C）。B の部分は水冷破砕岩の前置層（Foreset bedded hyaloclastite；図 5 ）に，

図 12　チキウ岬の水中火山岩（図 2 の(6)）．A：貫入した水中溶岩ドーム（岩脈），B：末端がせりあがったランプ構造を示す水冷破砕溶岩，C：層状の水冷破砕岩．

Fig. 12　Subaqueous volcanic rocks at Chikyu-misaki (Fig.2-(6)). A: Subaqueous lava dome (dike), B: Hyaloclastic lava flows showing a ramp structure, C: Stratified hyaloclastite.

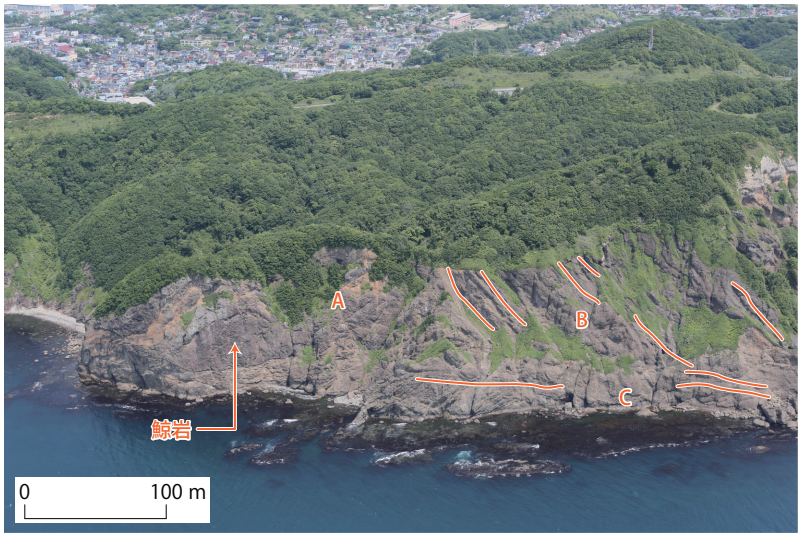

図 13　水中火山岩体の構造の写真判読．A：溶岩ローブ（鯨岩）および水冷破砕岩との複合岩体，B：水冷破砕岩の前置層，C：底置層（図 2 の(7)）．

Fig. 13　Photo interpretation of subaqueous volcanic body. A: Lava lobe (whale rock) and its complex body with hyaloclastite, B: Foreset bedded hyaloclastite, C: Bottomset bedded hyaloclastite. Fig. 2-(7).

C の部分は同じく底置層に相当する。図 13 の A の左下部を拡大すると（図 14），薄い板状の溶岩とそのなかの“あんこ”のような鯨型のマシブな岩体が挟まっている。これは溶岩ローブ（Lava lobe）といわれるもので，図 5 に示した D にあたる。露頭では，左側から流動する溶岩の供給が止まって膨れて非対称の楕円形の岩となったらしい。この溶岩ローブは，くしくも室蘭沖に時々出現する“鯨”の形に似ていて，筆者らは“鯨岩”と命名した。室蘭市のマスコット Kujiran にも似ているのは，偶然である。

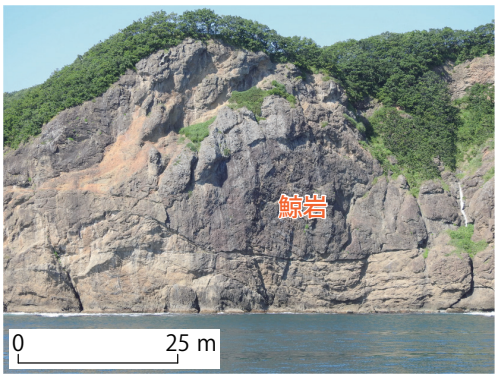

図 14　図 13 の A の左下部の溶岩ローブ（クジラ岩）の拡大写真.

Fig. 14　Enlarged photo of lava lobe（whale rock）below A in Fig. 13.

7）銀屏風の水中軽石流堆積物

銀屏風と呼ばれる水中軽石流堆積物（図 2 の（8））は上下 2 枚の層に区分される（図 15）。下位の軽石流堆積物は，ほとんど軽石と火山灰からなり，マシブ状で層理がないが，最上部に層理を示す部分を伴う（図 15）。一方，上位の軽石流堆積物は，全体として下部に岩片が多く，上部には少ない傾向がある。向かって右側には，下底の岩片の多い部分に白い軽石の岩片がとりこまれている。つまり，いずれの軽石流堆積物も，降下したものでなく，水底を向かって右側に流動しつつ岩片は下方に，軽石は上方へと分級がおきたこと，下底部では下位の軽石流堆積物を侵食したり，とりこんだりしている。いずれも Fiske and Matsuda（1964）の水中軽石流堆積物に類似している。このような水中軽石凝灰岩の形成メカニズムについては，Fisher（1984）は 3 つのタイプがあると総括した。つまり，（1）陸上で噴火し

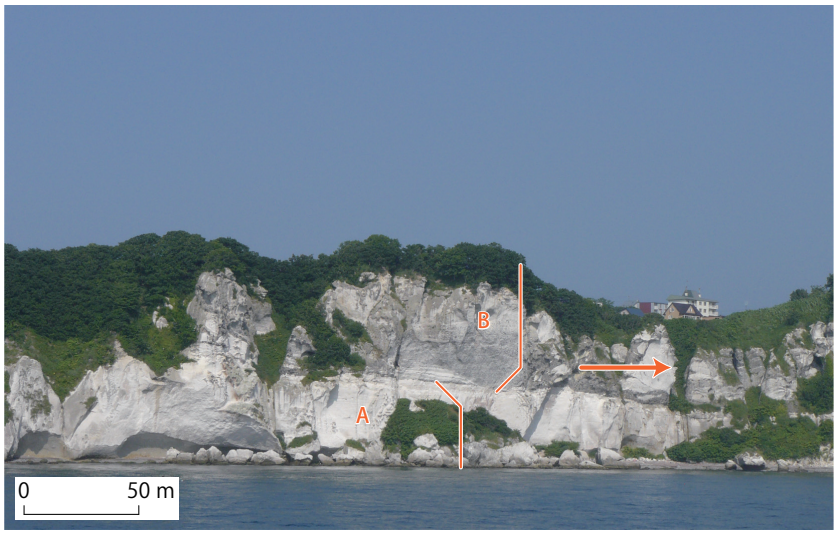

図 15　水中軽石流堆積物（銀屏風）．A：下位層，B：下位層を削った上位層．矢印は流動方向を示す（図 2 の（8））.

Fig. 15　Subaqueous pumice flow deposits. A: Lower flow, B: Upper flow eroding lower flow. Arrow indicates flow direction（Ginbyoubu; Fig. 2-（8））.

た高温の火砕流が水中に流れ込み，水中に流れ込んだ重たい流れと水面に流れた軽い流れに分かれて，後者が後に水中を降下したもの，(2) 水中で噴火した噴煙柱が崩壊して，重い部分が水底を流れ，軽い部分が水面近くに達して，軽石が水を吸うなどして重くなり降下したもの，(3) すでに存在した軽石流堆積物が水中を二次流動して，再堆積したものの3つに区分した。室蘭の銀屏風を構成する軽石凝灰岩は，上記のどのタイプに属するかは，ここの露頭だけでは判断できず，室蘭半島全体の当時の環境を知らないと決まらないが，地質学的年代の面からみると，室蘭半島は10–7.5 Ma（渡辺, 1992）年前に形成されたとされていて，クッタラ火山周辺の軽石流（陸上；ランポーゲ軽石；山崎, 1985）が4 Ma以前とされているので，年代は大幅に合わない。したがって，(1)や(3)ではないと判断される。また，この上位の軽石流の流動方向が，相対的に西側に起源が推定されるので，噴火湾および渡島半島はどうかとも考えられるが，渡島半島の北海道駒ヶ岳の軽石流（1929年）の軽石・火山灰からなる火砕流は，年代も大きく異なり，堆積した軽石流が水中に流れだして，噴火湾を挟んで対岸まで到達したとは，二次堆積物ではないことからも考えにくいので，やはり(1)，(3)は考えにくい。したがって，堆積構造から判断して，供給源は定かではないが(2)が妥当である。つまり，述べた水冷破砕岩を噴出したとほぼ同じ海底で噴火したものと推定される。

V. 結　　論

本文は，2017年11月25日NHKブラタモリ室蘭の放映の取材準備のために実施した室蘭市の提供したオープンデータ（オルソ画像）の解析，セスナ機による空中写真撮影，現地調査およびボートによる海上撮影で取得した北海道室蘭市絵鞆外海岸の海蝕崖の水中火山岩の露頭を景観学的に考察したものである。

その結果，室蘭市絵鞆半島は，新第三紀後期に海底で噴出した珪質の水中火山岩からなることが明らかになり，その成因についてもいくつかの考察を行い，景観学的にも見事な水中火山の実体を明らかにできた。これは最近盛んになりつつあるジオツーリズムの対象になりうるものである。

このような水冷破砕岩（ハイアロクラスタイト）からなる海食崖に沿う道路では，大規模な岩盤崩落は記憶に新しく“要注意”岩石の一つである（山岸, 1996; 山岸・志村, 1997）。一方で，景観学的には，わが国の水中火山岩は年代的には若く，産状や構造がよく保存されていている。とくに今回紹介した室蘭絵鞆外海岸の海食崖は貴重な地質景観といえる。しかし，民間のクルージングスポットとはなっているが，説明できる専門家が少なく，地質研究者の協力・支援が必要である。今回の室蘭のほかにも積丹半島の東海岸も道路がなく，最近の“積丹ブルー”の海が脚光を浴びていて，その景観を観光資源として売り出そうとしている地域もある。室蘭市絵鞆半島外海岸を紹介した本文がその一つの礎になれば幸いである。

謝　辞

オルソ画像を提供いただいた室蘭市およびこの機会を与えていただいたNHKおよび同ブラタモリ室蘭のスタッフの方々に感謝の意を表する。また，いくつかの図のレイアウトの作成に協力いただいた株式会社シン技術コンサル奥野祐介氏に謝意を表する。最後に，本寄書について，種々の助言をいただいた匿名査読者に謝辞を表する。

注

1）室蘭市が公開しているオープンデータ（オルソ画像）の解析（http://www.city.muroran.lg.jp/main/org2260/documents/oduse_01.pdf［Cited 2018/5/23］）。

2）国土地理院が公開している標準地図（地理院タイル）（http://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.htmを使用した［Cited 2019/5/6］）。

文　献

荒牧重雄・山岸宏光（1996）：ハイアロクラスタイト．新版地学事典編集委員会編：新版地学事典．平凡社，1003．［Aramaki, S. and Yamagishi, H.（1996）: Hyaloclstite. in Cyclopedia of Earth Sciences *Dictionary of Geology, New Edition*（*Shinpan Chigaku Jiten*）edited by Shinpan Chigaku Jiten Henshu Iinkai, Heibonsha, 1003.（in Japanese）*］

Carlisle, D.（1963）: Pillow breccias and aquagene tuffs, Quadra Island, British Columbia. *Journal of Geology*, **71**, 48–71.

Fisher, R.V. (1984): Submarine volcaniclastic rocks. in *Marginal Basin Geology* edited by Kokelaar, B.P. and Howells M.F., Geological Society Special Publication, **16**, 5–28.

Fiske, R.S. and Matsuda, T. (1964): Submarine equivalents of ash flows in the Tokiwa Formation, Japan. *American Journal of Science*, **262**, 76–106.

Goto, Y. and McPhie, J. (1998): Endogenous growth of a Miocene submarine dacite cryptodome, Rebun Island, Hokkaido. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **84**, 273–286.

河内洋祐・Landis, C. A.・渡辺暉夫 (1976): ハイアロクラスタイト. 地質学雑誌, **82**, 355–366. [Kawachi, Y., Landis, C.A. and Watanabe, T. (1976): Hyaloclastite: A critical review. *Journal of the Geological Society of Japan*, **82**, 355–366. (in Japanese with English abstract)]

久野　久 (1954): 火山及び火山岩. 岩波書店, 255p. [Kuno, H. (1954): *Volcanoes and Volcanic Rocks* (*Kazan Oyobi Kazangan*). Iwanami Shoten, 255p. (in Japanese)*]

久野　久 (1968): 水中自破砕溶岩. 火山第 2 集, **13**, 123–130. [Kuno, H. (1968): Subaqueous autobrecciated lava. *Bulletin of the Volcanological Society of Japan Second Series*, **13**, 123–130. (in Japanese with English abstract)]

McPhie, J., Doyle, M. and Allen, R. (1993): *Volcanic Textures: A Guide to the Interpretation of Textures in Volcanic Rocks*. Center for Ore Deposits and Exploration Studies, University of Tasmania, 198p.

小山内　熙・酒匂純俊 (1953): 5 万分の 1 地質図幅「室蘭」および同説明書. 北海道立地下資源調査所, 36p. [Osanai, H. and Sako, S. (1953): *Geological Map of Muroran of 1 to 50,000 in Scale with Explanatory Text*. Geological Survey of Hokkaido, 36p. (in Japanese)]

Pichler, H. (1965): Acid hyaloclasitite. *Bulletin of Volcanology*, **28**, 293–310.

Rittman, A. (1962): *Volcanoes and Their Activities*. John Wiley & Sons, 360p.

Watanbe, K. and Katsui, Y. (1976): Pseudo-pillow lavas in the Aso Caldera, Kyushu Japan. *Journal of the Japanese Association of Mineralogists, Petrologists and Economic Geologists*, **71**, 44–49.

渡辺暉夫 (1996): 「水冷火砕岩」などの用語解説. 北海道地区自然災害科学資料センター報告, **11**, 5–7. [Watanabe, T. (1996): Glossary explanation of "hyaloclastite" *et al*. *Bulletin of the Natural Disaster Science Data Center, Hokkaido*, **11**, 5–7. (in Japanese)]

渡辺　寧 (1992): 西南北海道室蘭半島に分布する室蘭層の K-Ar 年代. 地球科学, **46**, 351–354. [Watanabe, Y. (1992): K-Ar age of the Muroran Formation at Muroran peninsula in southwest Hokkaido. *Earth Science* (*Chikyu Kagaku*), **46**, 351–354. (in Japanese)]

山岸宏光 (1973): 新第三紀中新世水中溶岩の一例. 火山第 2 集, **18**, 11–18. [Yamagishi, H. (1973): Subaqueous lavas in the Miocene volcaniclastic rocks in the southwestern Hokkaido. *Bulletin of the Volcanological Society of Japan Second Series*, **18**, 11–18. (in Japanese with English abstract)]

山岸宏光 (1980): 5 万分の 1 地質図幅「神恵内」および同説明書. 北海道立地下資源調査所, 27p. [Yamagishi, H. (1980): *Geological Map of Kamoenai of 1 to 50,000 in Scale with Explanatory Text*. Geological Survey of Hokkaido, 27p. (in Japanese)]

Yamagishi, H. (1987): Studies on the Neogene subaqueous lavas and hyaloclastites in southwest Hokkaido. *Report of the Geological Survey of Hokkaido*, **59**, 55–117.

山岸宏光 (1994): 水中火山岩—アトラスと用語解説—. 北海道大学図書刊行会, 195p. [Yamagishi, H. (1994): *Subaqueous Volcanic Rocks: Atlas and Glossary*. Hokkaido University Press, 195p. (in Japanese)]

山岸宏光 (1996): ハイアロクラスタイトと岩盤崩落. 北海道地区自然災害科学資料センター報告, **11**, 9–23. [Yamagishi, H. (1996): Hyaloclastite and giant rock fall. *Bulletin of the Natural Disaster Science Data Center, Hokkaido*, **11**, 9–23. (in Japanese)*]

山岸宏光 (1998): 火山岩の形態 (1)—ジョインテッドブロック—. 地球科学, **52**, 244–245. [Yamagishi, H. (1998): Morphology of volcanic rock (1). *Earth Science* (*Chikyu Kagaku*), **52**, 244–245. (in Japanese)]

Yamagishi, H. and Dimroth, E. (1985): A comparison of Miocene and Archean rhyolite hyaloclastites-evidence for a hot and fluid rhyolite lava. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **23**, 337–355.

山岸宏光・志村一夫 (1997): 1997 年 8 月北海道島牧村第二白糸トンネルを破壊した新第三紀ハイアロクラスタイトの岩盤崩落. 地質学雑誌, **103**, xxxiii–xxxiv. [Yamagishi, H. and Kazuo, S. (1997): Giant rock falls of Neogene hyaloclastite crushing the 2nd Shiraito-tunnel in Shimamaki Town, Hokkaido, Japan. *Journal of the Geological Society of Japan*, **103**, xxxiii–xxxiv. (in Japanese)]

山崎哲良 (1985): 北海道南西部, クッタラ火山の地質. 地球科学, **39**, 416–428. [Yamazaki, T. (1985): Geology of Kuttara volcano, south-western Hokkaido, Japan. *Earth Science* (*Chikyu Kagaku*), **39**, 416–428. (in Japanese with English abstract)]

* Translated by H.Y.