

石碑の風化：伊豆半島，須崎恵比寿島における例

Weathering of a stone monument at Suzaki-Ebisujima, Izu Peninsula, Shizuoka Prefecture, Japan

星 博幸
Hiroyuki HOSHI

愛知教育大学自然科学系理科教育講座 (hoshi@aecc.aichi-edu.ac.jp)

キーワード：石碑，砂岩，塩類風化，須崎恵比寿島，伊豆半島

Key words: stone monument, sandstone, salt weathering, Suzaki-Ebisujima, Izu Peninsula

1. はじめに

風化作用は岩石の侵食様式と侵食速度に大きな影響を与える（例えば，松倉，2008，2017）。そのため，ある地域の地形と表層地質分布が形成されたプロセスを明らかにするには，その地域の地質を知ることに加え，その地域の岩石に作用する風化についても理解を深める必要がある。

筆者は 2019 年 2 月に伊豆半島を訪ねた折，偶然に今回紹介する石碑を観察する機会を得た。この石碑は歌人・若山牧水の歌碑であり，牧水が 1913 年（大正 2 年）に神子元島（下田市南方沖の島）に一週間滞在したときの体験を詠んだ一首が刻まれている。石碑の裏に刻まれた説明によると 1980 年（昭和 55 年）に建立されたものらしい。後述するように，この石碑の表面には風化によってハニカム構造（honeycomb structure：風化・侵食によって生じた小穴が蜂の巣状に多数密集した構造）が生じており，刻まれた文字の一部が見えなくなっている。今回，石碑とその周辺の観察によってこのハニカム構造の形成に関する事実と解釈を得ることができたので，それらについて報告する。

2. 石碑の位置と岩石

今回調査した石碑は伊豆半島南部の下田市須崎半島南端の恵比寿島にある（図 1；石碑の緯度・経度＝ $34^{\circ}39'04.2''\text{N}$ ， $138^{\circ}57'54.3''\text{E}$ ）。恵比寿島には海岸沿いに島を一周できる遊歩道が整備されており（図 1b），それに沿って白浜層群須崎層（後期中新世～鮮新世）の火山角礫岩や凝灰角礫岩，凝灰質砂岩などの地層が途切れなく露出している（狩野・伊藤，2016）。現在，この島は伊豆半島ジオパークのジオサイトの一つになっている（2019 年現在，伊豆半島ジオパークはユネスコ世界ジオパークの一つに認定されている；URL1）。石碑は島南部の，遊歩道から 10 m ほど内陸側に入ったところにあり，遊歩道から視認できる。石碑の北方は標高が高くなり植生も見られるが，東・西・南の地形は開けており干潮時には広い干潟（海食台）が広がる。なお，筆者が訪問したのは晴天の夕方の干潮時だったが，西風が強く，西側の低潮汀線付近で発生したと思われる海水飛沫によって眼鏡が汚

れてしまう状況であった。

石碑は幅約 240 cm，高さ約 120 cm，厚さ 15～20 cm の大きさで，薄いスラブ状の形状で，ほぼ鉛直に立ててある（図 2）。長軸方向（横幅方向）は $\text{N}45^{\circ}\text{E}$ で，石碑の表側（牧水の一首が刻まれている面）が北西を，裏側（建立の説明が刻まれている面）が南東を向いている。石碑の岩石は分級度の低い凝灰質中粒～粗粒砂岩で，所々に極粗粒砂粒や細礫が含まれている。

3. 石碑の風化状況

石碑の表側（北西面）は風化が進行し，ハニカム構造がほぼ全面に生じている（図 2b, c）。それにより刻字の一部が判読困難になっている。全体的に粗粒～極粗粒砂が浮き立ちざらついている。刻字の縁の部分が周囲よりも盛り上がっている。また，節理に沿って同様にミミズ腫れのように盛り上がっているところがある。最下部は黒ずみ，部分的に薄く剥落した痕跡も認められる。

それに対し，石碑の裏側（南東面）は，下部を除くと肉眼的には風化が微弱である（図 2d）。石碑の角の部分がやや丸みを帯びていたり欠けたりしているが，刻字は下部を除くと明瞭である。表側のようなざらつきはほとんどない。下部の一部は表面が剥落し，それによって刻字も一部不明瞭になっている。また，最下部（地面付近）の 5～20 cm は黒ずみ，部分的に白華物も生じている。

石碑の周囲の地面には緑色片岩の石材がコンクリートとともに敷かれているが，そこにはハニカム構造やタフオニは認められない（図 2a, b, d）。さらにその周囲には火山岩の巨礫が組まれているが，そこには部分的にハニカム構造およびタフオニが認められる（図 2 には写っていない）。

4. 考 察

ハニカム構造とタフオニの主要な成因は一般に塩類風化であることが知られている（松倉，2008）。それでは，この石碑北西面の風化も塩類風化が主要な成因なのだろうか？ 石碑なので，地層の場合と異なり塩溶液としての間隙水が石

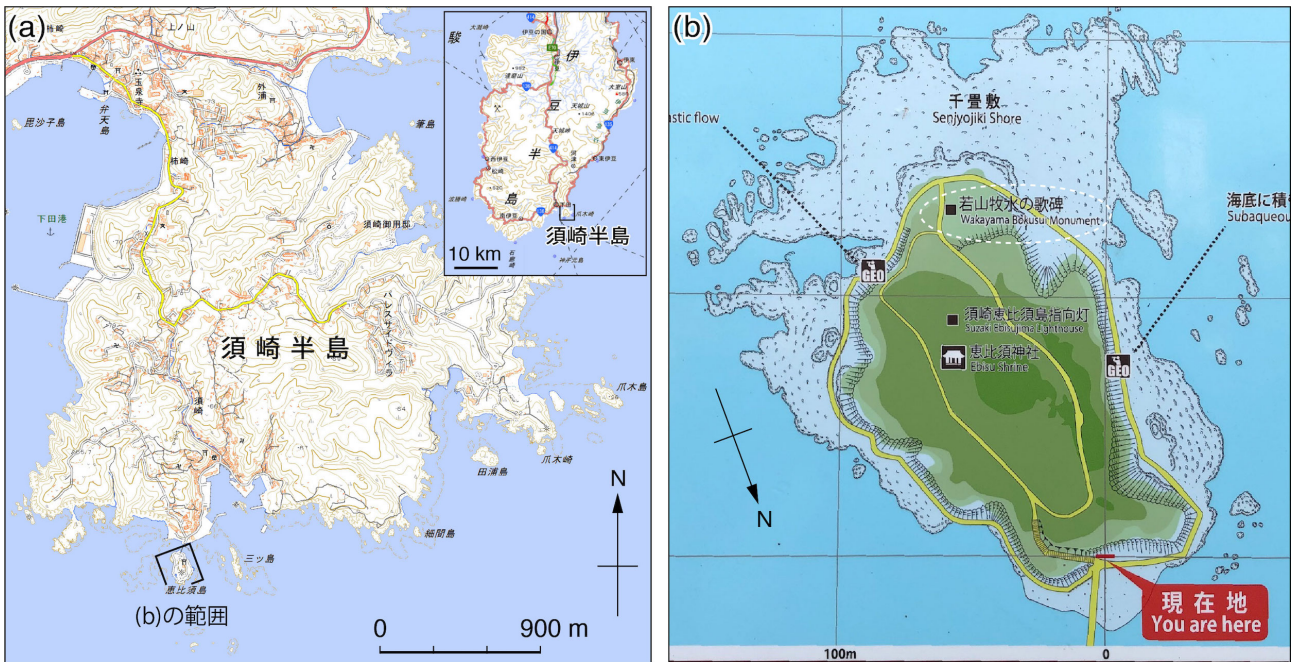


図 1 a) 須崎半島および恵比寿島の位置。地理院地図（電子国土 Web；URL3）を使用（一部加筆）。b) 恵比寿島の地形の概要と若山牧水石碑（歌碑）の位置。北の方向に注意。恵比寿島北端の伊豆半島ジオパーク案内板を写真撮影して使用（一部加筆）。

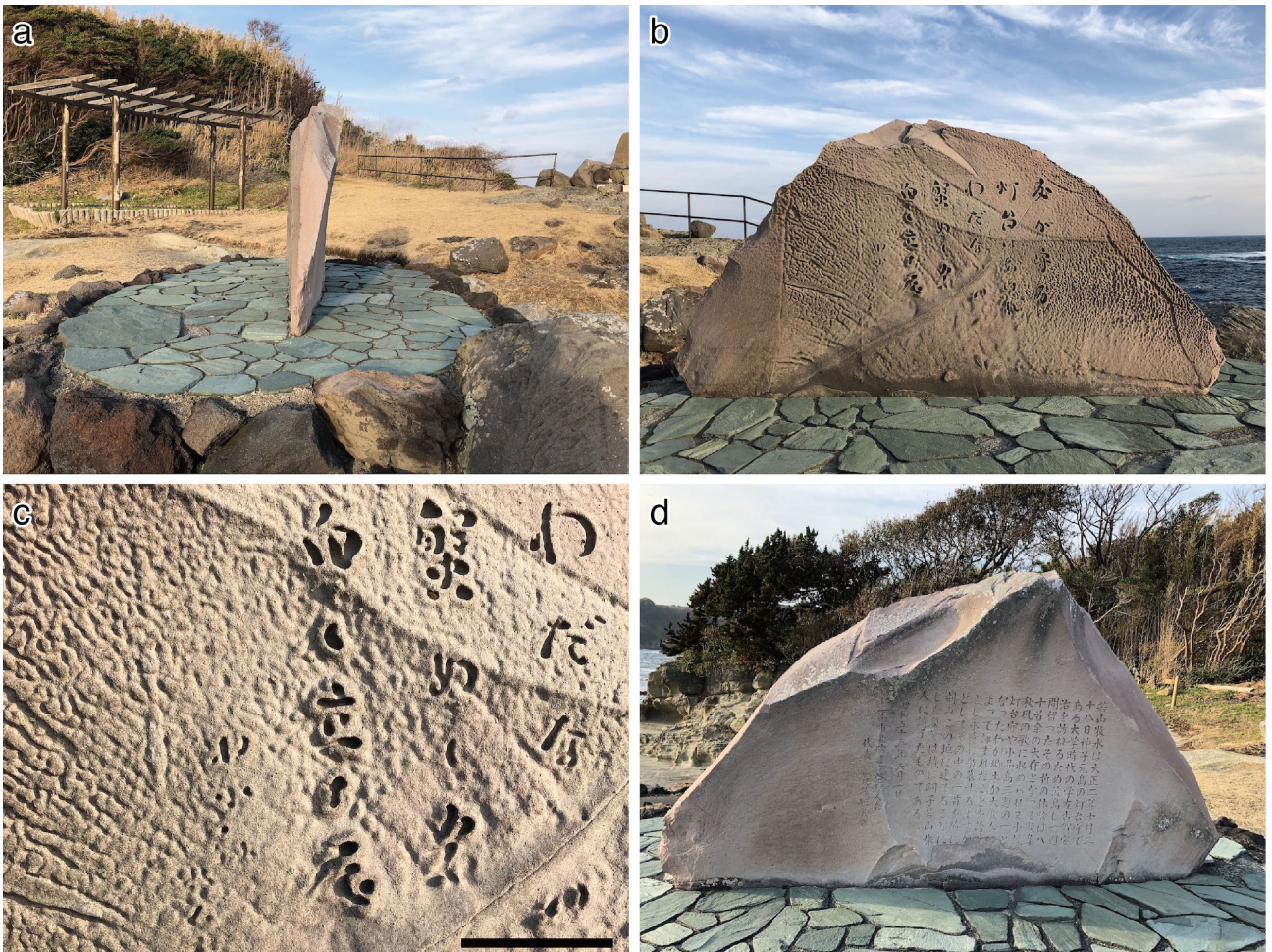


図 2 若山牧水石碑（歌碑）。a) 真横から見た形状（南西から北東を望む）。b) 石碑の表側（北西面）。夕方に撮影したためこの面が直達日射を受けている。c) 表側（北西面）のクローズアップ。スケール 20 cm。d) 石碑の裏側（南東面）。夕方に撮影したため日陰になっている。

碑中を移動し表面で水分が蒸発して塩が析出したとは考えにくい。そのため、塩類風化ならば塩のもとが石碑外部から供給されたと考えられる。前述のように、北方を除くと石碑の周囲は岩石海岸である (図 1b)。何らかの形で海水が石碑に付着し、水分蒸発に伴い塩が析出すれば、塩類風化が進行すると考えられる。

興味深いことに、北方の植生を見ると、木々の多くが強風を受けて偏形樹あるいは風衝樹と呼ばれる形になっている (図 2a および図 3)。それらの形状からは西寄りの卓越風が推定される。一般に非積雪地域の偏形樹はその場における冬季の卓越風が主な形成要因であることが多い (小野寺, 1963; 小川, 1974)。そのため、この石碑周辺では冬季に西風が卓越している可能性が考えられる。事実、前述のように筆者が調査した日時にも強い西風が吹いていた。ただし太平洋側では偏形樹が春～夏の卓越風の影響を強く受けていることもあり (甲斐, 1977)、偏形樹形が形成される季節の推定には注意を要する。

石碑周辺で西寄りの風が卓越することを想定すれば、石碑の北西面で強い塩類風化が起こっていることが説明可能である。筆者の仮説は次の通りである (図 4)。西寄りの強風・暴風時に、石碑から西に数 10 m の岩礁で波が砕け、それによって生じた海水飛沫が風に乗って石碑北西面に吹き付けられる。それに対して南東面は影になるので、そこには海水飛沫がほとんど付着しない。風がおさまり水分が蒸発すると塩が析出する。その塩の成長時に発生する結晶圧や塩の熱膨張によって岩石が破壊される。破壊された岩石は暴風や風雨により侵食され、碎屑物は風下に運搬される。波飛沫の影響で塩類風化が進み、それによって砂岩やそれ以外の岩石にハニカム構造が形成されたと考えられる事例は数多く報告されている (例えば, Mustoe, 1982)。

塩類風化以外の可能性も検討してみよう。この砂岩石碑は、夕方を除き直達日射を受けない北西面の風化が著しく、反対側の南東面は下部を除くと風化が微弱である。そのため、風化の主要メカニズムとして日射風化は考えにくい。同様に、乾湿風化も主要メカニズムとしては考えにくい。この石碑の砂岩は分級度が悪く、基質部分には乾湿風化の主役である粘土鉱物も相当量含まれている可能性がある。しかし、直達日射を受ける時間が長く乾湿差が大きいはずの南東面で風化が微弱である事実を乾湿風化で説明するのは困難である。また、凍結風化も考えにくい。下田市に近い石廊崎の気温データを見ると (気象庁ウェブサイト; URL2)、日最低気温の平年値 (1981～2010 年) は冬季でも 0℃を上回っている。このように考えると、この石碑の北西面の風化はやはり塩類風化によるものとみなすのが妥当と考えられる。

なお、石碑の北西面でも南東面でも最下部で白華物生成や岩石剥落が起こっている。これは地面から毛細管現象で塩溶液が上昇し、途中で水分が蒸発することによって塩が析出して塩類風化が生じたことが原因と筆者は推測している。この種の塩類風化はアンコール遺跡の砂岩石材 (内田, 2003, 2007)、コンクリート構造物 (吉田ほか, 2010a, b) などでも数多く確認されている。



図 3 石碑北方の植生の偏形樹形。写真は南南西から北北東を望むように撮影。左奥のタワーは須崎恵比寿島指向灯。

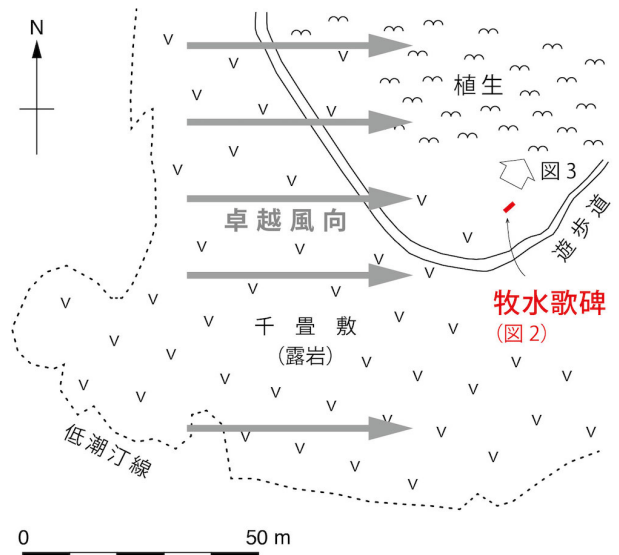


図 4 石碑 (牧水歌碑) の風化を説明するモデル。詳しくは本文を参照。

小論で筆者は偶然発見した石碑の風化について短時間で観察した内容をもとに事実とその解釈を示したが、事実としては野外での観察結果しかなく、地球化学や岩石物性などの分析データに基づく定量的検討ができていない。化学的風化作用と生物風化作用の検討もできていない。それゆえ小論は予察的報告というべきものであるが、今後この石碑を詳細に調査すれば風化・侵食速度の検討 (藁谷, 2017) が可能と考えられる。数 10 年間での風化・侵食速度の検討は宮崎県の青島弥生橋での調査事例が知られているが (例えば, 高橋, 1975; 高橋ほか, 1993), これと同様のタイムスケールの風化・侵食について詳細なデータが得られる可能性がある。

5. 謝 辞

山本康平氏 (愛知教育大学大学院生) には現地での調査を補助していただいた。初期の原稿に対して星 理絵氏 (名古屋大学大学院生命農学研究科) からいただいた批判的コメン

トは原稿の改善に役立った。本研究の一部には JSPS 科研費 (17K05680) を使用した。

6. 文献・URL

- 甲斐啓子 (1977) 偏形樹から推定した卓越風向による本州山地の地域区分. 地理学評論, **50**(1), 45–54.
- 狩野謙一・伊藤谷生 (2016) 伊豆半島南部の新第三系白浜層群に見られる浅海底火山活動と堆積・造構過程との相互作用. 地質学雑誌, **122**(8), 413–432.
- 松倉公憲 (2008) 地形変化の科学：風化と侵食. 朝倉書店, 242p.
- 松倉公憲 (2017) 地形学からみた風化研究の問題点と今後の課題. 地学雑誌, **126**(3), 271–296.
- Mustoe (1982) The origin of honeycomb weathering. *Geological Society of America Bulletin*, **93**(2), 108–115.
- 小川 肇 (1974) 尾瀬ヶ原南稜における風による偏形樹の成因およびその分布の示す意味について：その総観気候学的方法による検討. 地理学評論, **47**(7), 437–461.
- 小野寺齊 (1963) 奥羽山脈南部における針葉樹の偏形について. 東北地理, **15**(3), 112–119.
- 高橋健一 (1975) 日南海岸青島の「波状岩」の形成機構. 地理学評論, **48**(1), 43–62.

- 高橋健一・松倉公憲・鈴木隆介 (1993) 海水飛沫帯における砂岩の侵蝕速度：日南海岸・青島の弥生橋橋脚の侵蝕形状. 地形, **14**(2), 143–164.
- 内田悦生 (2003) アンコール遺跡（カンボジア）における砂岩材の劣化現象. 地質学雑誌, **109**(6), XI–XII.
- 内田悦生 (2007) アンコール遺跡の石材と非破壊調査. 物理探査, **60**(3), 223–234.
- 藁谷哲也 (2017) 石造物を利用した岩石の風化速度に関する研究動向. 地学雑誌, **126**(4), 455–471.
- 吉田夏樹・松浪良夫・永山 勝・坂井悦郎 (2010a) 温度条件が硫酸ナトリウムによるモルタルの塩類風化に及ぼす影響. コンクリート工学年次論文集, **32**(1), 677–682.
- 吉田夏樹・松浪良夫・永山 勝・坂井悦郎 (2010b) モルタルの塩類風化に及ぼす細孔構造および引張強度の影響. セメント・コンクリート論文集, **64**(1), 398–405.

URL1: <https://izugeopark.org>

URL2: https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/nml_sfc_ym.php?prec_no=50&block_no=47666&year=&month=&day=&view=

URL3: <http://maps.gsi.go.jp/>
(ウェブサイトはすべて 2019 年 2 月 24 日閲覧・確認)