



段丘堆積物を構成する礫が風化してできる「クサリ礫」とはどのようなものですか？



段丘堆積物のうち、離水（形成）年代が数 10 万年経過したものは、構成する礫が、ねじり鎌で容易に削れるほど軟質化していることがあり、これを「クサリ礫」と呼びます。最終間氷期以前の古い段丘群などでしばしば見られます。岩石の長期的な風化作用の産物ですが、これを利用することで、段丘面の対比などに応用できます。

（１）はじめに

段丘堆積物は、一般的にかつての河川または海浜に堆積した礫層から構成されています。礫の運搬・堆積の過程で、風化して軟質化した部分は摩耗するので、硬質な部分のみが礫として残存すると推定されます。すなわち、堆積直後の礫は新鮮硬質であるはずですが、ところが、段丘の離水後、礫は運搬されて摩耗することはなくなり、現位置で物理的・化学的風化作用を受け、しだいに礫の物性が変化していくことになります。このため、離水年代が古い段丘中の礫ほど、より風化が進行していると考えられます。

日本に分布する段丘堆積物は、海水準変動や気候変動、さらには地殻変動の影響を受け、数万年程度の時間スケールで、多段化した段丘群が作られてきました。

一方、岩石の風化作用は、スレーキング（乾湿風化）のように急激に進行する現象もありますが、風化作用の多くは時間的にゆっくり作用するため、100 年オーダーで強度低下が生じるような岩石は少なく、より長期間が必要となります¹⁾。数万年オーダーで多段化した段丘群が分布する地域では、このような時間オーダーで進行する風化現象の実態を把握するうえで有用です。

（２）段丘礫の風化程度と赤色土

段丘礫の風化程度と古土壌（赤色土）の関係が検討された初期の事例として、九州北部の段丘堆積物の例が挙げられます²⁾。福岡県八女地域に分布する 3 段の段丘堆積物（高位段丘、中位段丘、低位段丘）の風化程度と、段丘堆積物最上部の土壌化程度を検討した結果、高位段丘を構成する礫の風化が最も顕著でクサリ礫となっており、かつ明瞭な赤色土を伴うこと、中位段丘を構成する礫の風化程度は高位段丘のそれより弱く、かつ赤色土の赤みが薄いことが判明しました。低位段丘の礫の風化程度は微弱であり、赤色土も認められません。中位段丘は、約 9 万年前の Aso-4 火砕流堆積物に覆われていますから、その離水年代は 9 万年よりやや古く、最終間氷期（約 12 万年前）と推定されます。高位段丘はそれより大幅に古い（20 万年以上前？）ことになります。したがって、クサリ礫の形成には、数 10 万年オーダーの長期間を要することが示唆されます。また、段丘最上部にある赤色土の存在は、間氷期の高温多湿な気候条件を経験した結果を反映するものとみなされています。同様のことは、宮崎平野などの段丘堆積物上の赤色土でも指摘されています³⁾。

（３）花崗岩のマサ化に要する時間

次に、花崗岩の長期的な風化過程を検討した研究例を挙げます⁴⁾。花崗岩は、新鮮なものでは石材として多用される岩石ですが、山地斜面ではしばしば砂状の「マサ」となり、物性変化が著しい岩石としても知られています。新鮮な花崗岩が風化した「マサ」に変化するのに要する時間の見積もりは、一般に困難ですが、段丘堆積物や鮮新世の礫層を用いた検討がなされています。その結果、新鮮な花崗岩がマサ化するまでに要する時間は 100 万年オーダーであるを見積もられました。

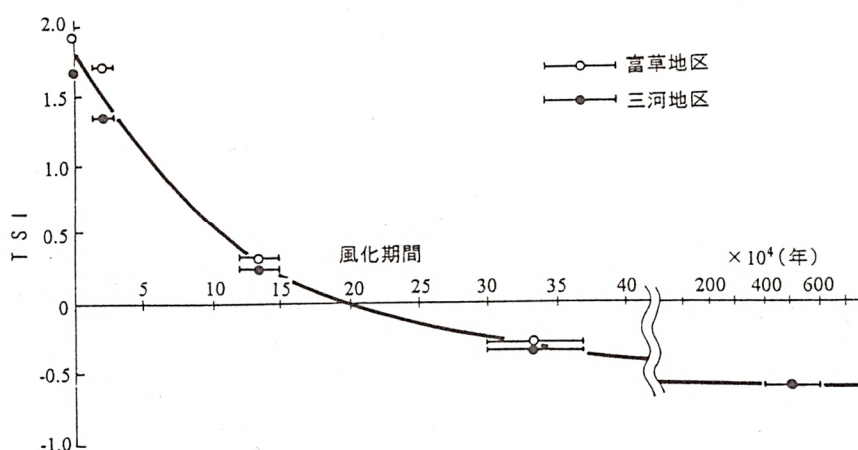


図-1 花崗岩礫の風化に伴う強度低下（木宮、1975）。縦軸は花崗岩礫の引張強度の常用対数を取った値、横軸は礫層の堆積年代（＝風化継続時間）。

（４）四万十帯を構成する砂岩礫の風化

段丘堆積物の礫を利用して、四万十帯を構成する砂岩の風化過程を検討した例を紹介します^{5) ~8)}。宮崎平野に分布する、多段化した段丘堆積物に含まれる砂岩礫（後背地である九州山地に分布する四万十帯起源の砂岩）を用いて、約 35 万年間もの長期間において砂岩の物性がどのように変化したかが議論されています（議論に当たっては、現在の河床礫は、未風化の新鮮な岩石と仮定）。その結果、段丘の離水年代（＝風化時間）が 12 万年を超えると礫の褐色化が進行し、35 万年になると顕著に赤色化すること、色彩の変化に対応して、比重・強度の低下、間隙率・間隙径の増加が起こっていること、その原因として、砂岩の基質と斜長石が溶解するとともに、基質部分に鉄鉱物が増加していることが明らかにされました。

なお、宮崎平野には、正確な形成年代が未詳（約 100 万年前？）の礫質堆積物が開析された丘陵に分布していますが、この礫（後背地に分布する中新世の溶結凝灰岩）は顕著に風化して「クサリ礫」となっており、ねじり鎌で容易に削ることができ、非破壊状態での試料の採取が困難です⁹⁾。

（５）礫の風化皮膜

段丘堆積物中の礫には、切断面にリング状の変色部が形成されていることがあり、風化皮膜と呼ばれています¹⁰⁾。風化皮膜は、少なくとも数万年以上経過した段丘堆積物中の礫でしばしば見ることができ、段丘の離水年代が古いほど、リング状の風化皮膜がより厚く

なる傾向が認められます¹¹⁾。風化皮膜は、火山岩など細粒緻密な岩石で認められやすい傾向があります¹²⁾。風化皮膜の厚さを用いた相対的な年代推定法は、テフラなどの年代指標が乏しい日本の高山地域の周氷河性堆積物（岩盤の凍結融解に伴って形成される）にも適用されてきました¹³⁾。

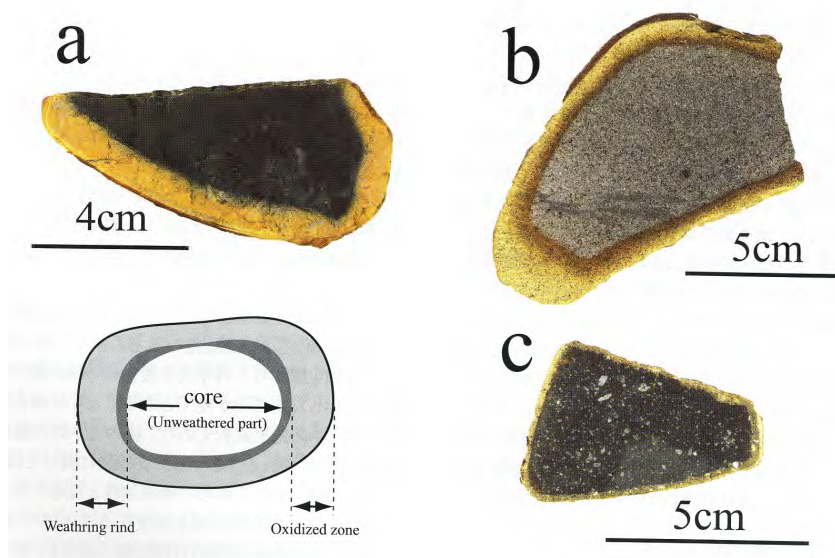


図-2 福井県に分布する段丘堆積物中の礫にみられる風化皮膜の例（栗山ほか、2006）。a：玄武岩（約 30 万年）、b：砂岩（約 12 万年）、c：安山岩（約 5 万年）

（6）段丘面の対比への応用

礫の風化程度の違いや、風化皮膜の厚さなどを利用して、段丘面の対比を行った研究が複数あります。段丘面の対比は、一般には段丘面を覆う指標テフラの同定などに基づいて行われることが多いのですが、中国四国地方のように、指標テフラの分布が少ない場合、テフラを用いた対比だけでは不十分となりがちです。このような場合、風化皮膜の色彩・厚さに基づいた対比が活用できます。中国四国地方での適用例として、高知県室戸岬の段丘群¹⁴⁾や、愛媛県肱川沿いの河成段丘群¹⁵⁾などがあります。

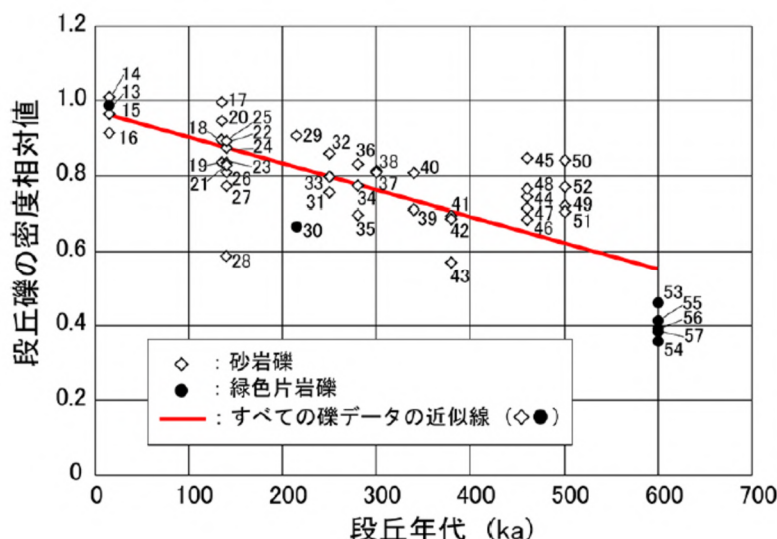


図-3 愛媛県肘川沿いに分布する段丘堆積物の風化に伴う密度の変化（柳田ほか、2022）。縦軸は礫の密度の相対値（現河床礫を 1.000 としたときのそれぞれの礫の値を相対値として表現）、横軸は段丘形成年代（＝風化継続時間）。

【引用文献】

- 1) 松倉公憲（2008）地形変化の科学．朝倉書店．
- 2) 松井 健（1963）筑後平野周辺の赤色土の産状と生成時期－西南日本の赤色土の生成に関する古土壌学的研究第一報．資源科学研究所彙報，60，1－12．
- 3) 赤木 功・井上 弦・長友由隆（2003）九州南部に分布する赤黄色土（古赤色土）の産状．日本土壌肥料学会誌，74，623-630．
- 4) 木宮一邦（1975）三河・富草地域の花こう岩礫の風化速度－花こう岩の風化・第二報－．地質学雑誌，81，683-696．
- 5) 西山賢一・松倉公憲，2001，四万十帯砂岩の風化：色彩および鉱物化学的性質の変化．地形，22，23-42
- 6) 西山賢一・水上陽成・小池克明・松倉公憲，2001，風化による間隙構造の時間変化．応用地質，42，2-14．
- 7) 西山賢一・松倉公憲，2002a，風化による砂岩礫の物性変化速度．応用地質，43，216-225．
- 8) 西山賢一・松倉公憲，2002b，風化による砂岩の岩石組織の変化：南九州における四万十帯砂岩の例．地質学雑誌，108，410-413．
- 9) 長岡信治・西山賢一・井上 弦（2010）過去 200 万年間における宮崎平野の地層形成と陸化プロセス－テクトニクスと海面変化に関連して－．地学雑誌，119，632-667．
- 10) 小口千明（2017）風化変質層の発達速度に関する一考察－風化皮膜，風化殻，ロックバーニッシュの研究史から－．地学雑誌，126，473-485．
- 11) 栗山健弘・吉田英一・山本博文・勝田長貴（2006）河岸段丘礫の表面風化にみる酸化フロントの形成とその移動速度．地質学雑誌，112，136－152．
- 12) Oguchi, C. T., 2001, Formation of Weathering Rinds on Andesite. Earth Surface

Processes and Landforms, 26, 847-858.

- 13) 渡辺悌二 (1990) 氷河・周氷河堆積物を主対象とした相対年代法. 第四紀研究, 29, 49-77.
- 14) Akojima Isao, 1974, Red weathering crust in terrace gravel as a key to terrace chronology. The Sci. Rep. Tohoku Univ. 7th Series (Geogr.), 23, 91-119.
- 15) 柳田 誠・池田倫治・西坂直樹・大西耕造・木村一成 (2022) 愛媛県肱川沿いの河岸段丘の編年と地形発達 ―地形的連続性, 段丘礫の風化程度を基準として― 地学雑誌, 131, 521-544.

(回答者 西山 賢一)