円礫砂岩に見られる円磨表面の微細構造

－タイ国北部の中新世の礫層に含まれる砂岩の例－

三上禎次[1)]，田中里志[2)]

1）京都教育大学理学科　rcacky@mail.goo.ne.jp

2）京都教育大学理学科　stanaka@kyokyo-u.ac.jp

キーワード：砂岩，円磨，円礫表面，微細構造，磨耗

（受付：2008 年 1 月 22 日）

Ⅰ．はじめに

2006 年夏，新生代第三紀層の地質調査で，タイ国北部・チェンマイ近郊を訪れた。タイには湖沼成を中心とした陸域の地層が広く分布し，一部河川成の礫層を含む。この礫層には亜角礫～円礫が混在して含まれている。この堆積場を考察するにあたり，亜角礫から円礫が混在するというのが，単純に後背地からの距離を反映していないことに気づく。ではいったい礫が円磨され，角がとれるというのはどういうことなのか？実際に礫の円磨がどのような過程で進行し，その微細構造がどのような特徴をもっているのかは意外と知られていない。本論では，この礫がどのような円磨表面を持ち，実体顕微鏡下や薄片でどのように見られるのかを観察し，円礫になるまでの過程要素を考察した。 また実際の学校教育の野外観察において，実際に礫の円磨を扱う際に，単純に供給源からの距離を反映していないことへの疑問が生じた場合，その理解の担い手となることを期待した。

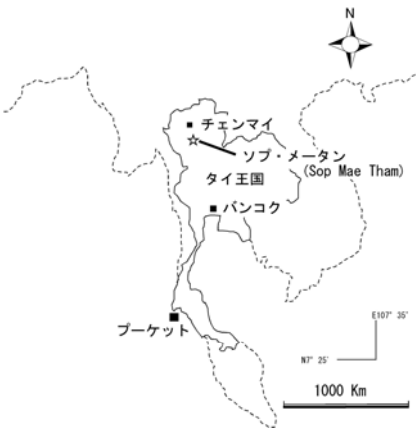


図１ タイ国での礫採取地概略図

Ⅱ．タイ国北部の中新統

タイ国は大陸の衝突帯の東端に位置する東南アジアの国である。中生代後期にはゴンドワナが分裂したインド大陸とユーラシア大陸の衝突が始まり，アルプスーヒマラヤ造山運動が活発になった。現在の東南アジアの山脈の多くは，大陸地塊の衝突によって形成された山脈や火山で形成されている。新生代に入り，タイ周辺の複数の山脈の山間部では，陸水域の堆積物が堆積する堆積盆となる。本論で用いた砂岩礫はそうした新第三紀中新世に陸域で堆積した，メー・モー（Mae Moh）層群の礫岩層から採取したものである。採取地点はタイ北部チェンマイからおよそ 60km 南東付近のソプ・メータン（Sop Mae Tham）と

いう町の東方である（北緯 18° 3’，東経 99° 8’）（図 1）。近隣には湖沼成の地層や洪水氾濫堆積物などの地層が多く分布し，それらから脊椎動物の化石が多数報告されている。古地磁気などの研究も合わせて，周辺の地層が中新世のものであることも知られている（長岡・菅沼，2002；菅沼ほか，2002 など）。

Ⅲ．採取した砂岩礫

礫層は大礫～巨礫を含む層であり，石英脈，砂岩，変成岩などを含んでいる。 全体的に亜角～亜円礫が多く，時折円礫を含んでいる。採取した砂岩礫は長径約 20cm，短径約 10cm の大礫である。円磨度は良い。礫表面は酸化鉄の付着によって茶褐色を呈しているが，容易に破損するものではなく，切断面は白色～淡灰色である。偏光顕微鏡における鏡下観察では，石英質な中～粗粒砂岩であり，比較的基質が多く，分類上ワッケとして区分される。ワッケとは構成粒子のうち基質部分が 15%以上占める砂岩である。構成鉱物の多くは石英であり，しばしば斜長石，雲母，電気石，ジルコンを含んでいる。基質は微粒な石英がほとんどであり，少量のイライトなどの雲母系粘土鉱物が充填している。時折割れ目に沿って赤鉄鉱などの酸化鉄が入り込んでいる。砕屑粒子はよく円磨された石英粒子が多く，石英粒子内部にしばしばルチル（正方晶系の鉱物）を含んでいるものも見られる（図 2）。

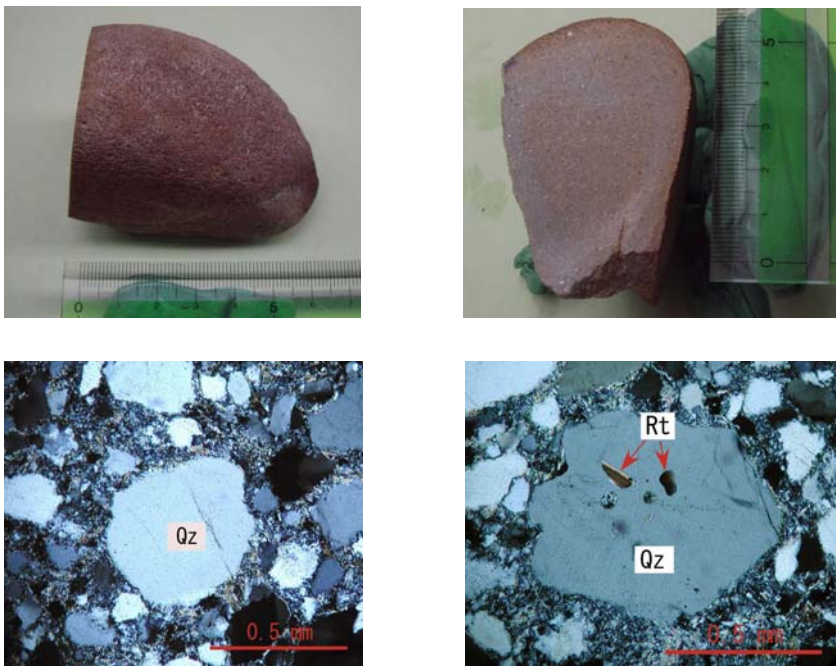


図 2　　上段：観察に用いたタイ国の砂岩礫
下段：砂岩礫の偏光顕微鏡写真（いずれもクロスニコル）
左写真は円磨された石英粒子が特徴的に見られる（Qz：石英）.
右写真の石英にはルチルが含まれている（Rt：ルチル，Qz：石英）.

このようなルチルを含む石英は，主にペグマタイト鉱物中の石英や火山岩起源のものによく見られ，火成岩起源の砕屑物を多く含む砂岩露頭から供給された礫と考えられる。

本論においてタイ国ソプ・メータンの砂岩を例にあげた理由は以下の通りである。

1）粒度にある程度の分散があり，堆積岩であること。

2）構成鉱物が粒度に関わらず，ある一定の鉱物組成（本論のタイ砂岩礫は石英質）であること。

3）砂粒子が円磨されていること（礫の円磨表面にて堆積時の粒子の形状かその後の礫の衝突による破砕・欠損によるものかが区別できる）。

4）礫そのものがよく円磨されていること。

結果的に，これらの理由から円磨されていることを観察するのに好都合であったため，今回はタイの砂岩を例として観察を進めた。

Ⅳ．砂岩礫の円磨表面

円磨されている礫表面と垂直になるように岩石カッターで切断し，切断面を研磨した。円磨表面の輪郭を双眼実体顕微鏡にて観察した。礫の円磨表面から 1cm 程度は赤鉄鉱などの酸化鉄が粒子間に見られる。丸みを帯びた石英粒子でも，礫表面では石英粒子が凹凸を成している。 円磨されている表面に接線を想定するとしたら，その接線に沿う方向に石英粒子が削られている（図 3）。

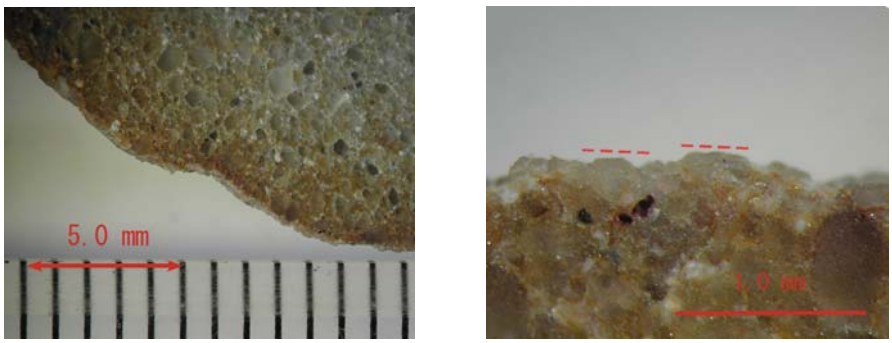


図 3　左写真：礫の円磨表面の実体顕微鏡写真

右写真：円磨表面の拡大写真．点線の方向に石英粒子が表面で平滑化されている．

次に偏光顕微鏡下における円磨表面の輪郭を調べた。薄片作成過程では，円磨表面に見られる粒子や，粒子間の基質部分がなくならないように配慮した。その際，先に双眼実体顕微鏡にて，表面に見られる写真撮影など行なって粒子を確認しておき，薄片の作成時にチェックを行いながら作成した。 丸みを帯びた石英粒子が礫の円磨表面で，他の礫や物質の衝突によって破砕され，波状に尖った破損部分を持つものが多く認められる（図４，写真 A）。また石英粒子と基質部分がともに波状に破損した部位も見られる（図４，写真 B）。写真 C では，石英粒子と基質部分が概ね直線的に平滑化している。

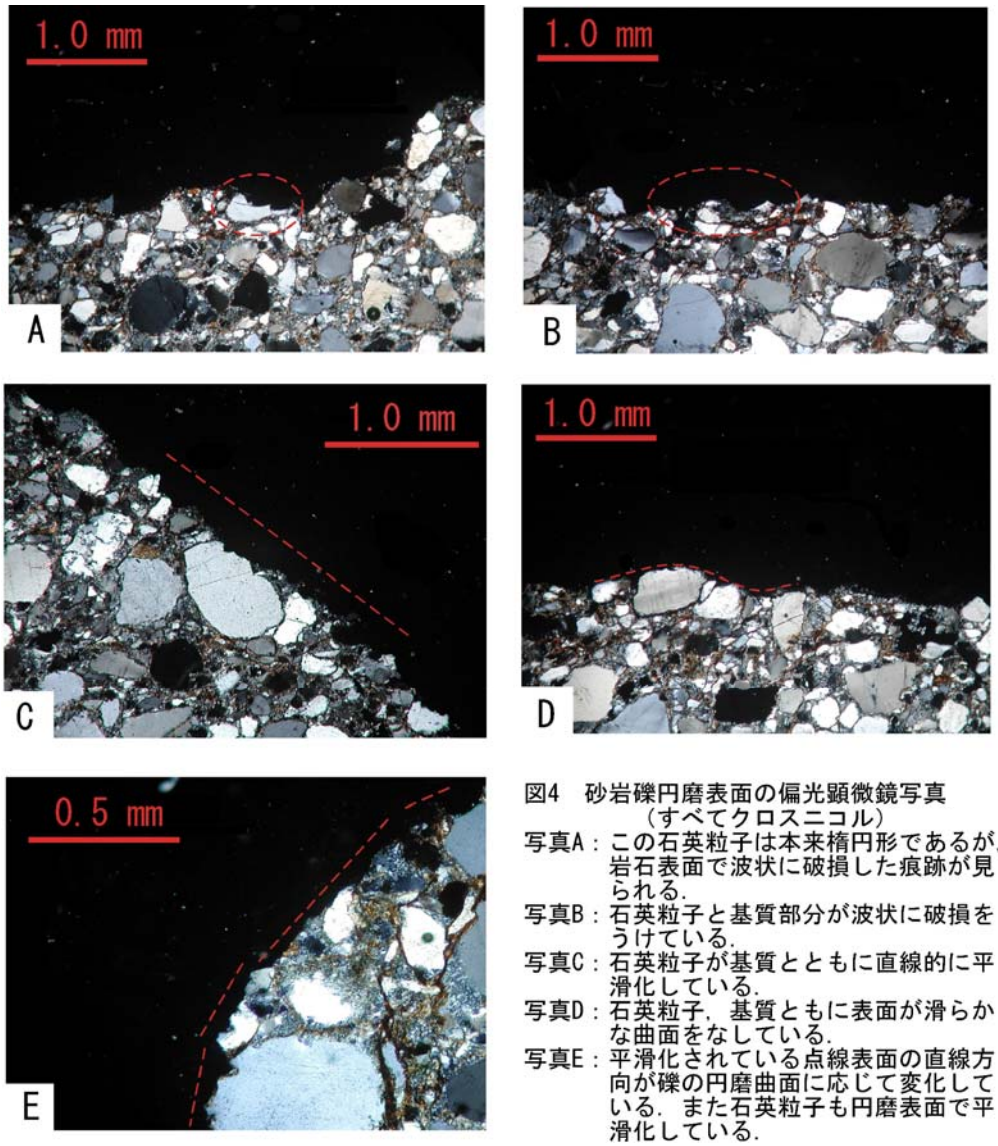


図4　砂岩礫円磨表面の偏光顕微鏡写真
（すべてクロスニコル）
写真A：この石英粒子は本来楕円形であるが，岩石表面で波状に破損した痕跡が見られる．
写真B：石英粒子と基質部分が波状に破損をうけている．
写真C：石英粒子が基質とともに直線的に平滑化している．
写真D：石英粒子，基質ともに表面が滑らかな曲面をなしている．
写真E：平滑化されている点線表面の直線方向が礫の円磨曲面に応じて変化している．また石英粒子も円磨表面で平滑化している．

図4の写真Dでは，複数の石英粒子や基質が，表面で曲線的に平滑化している様子が認められる。写真Eでは，礫表面の直線的に平滑化された部分が少しずつ円磨曲面に応じて変化している様子が認められる。

V．円磨される要素

岩石の表面構造の観察から，砂岩が露頭から砕けて，現在の円磨された状態になるまでの過程で考えられる，円礫にさせる要素は，(1) 礫の衝突による破砕・欠損，(2) 水や他の物質・微粒子による礫の磨耗，(3) 基質部の微粒な構成鉱物の化学的分解による物性変化，が考えられる。このうち (3) については礫種による違いが大きいうえ，検証が困難で

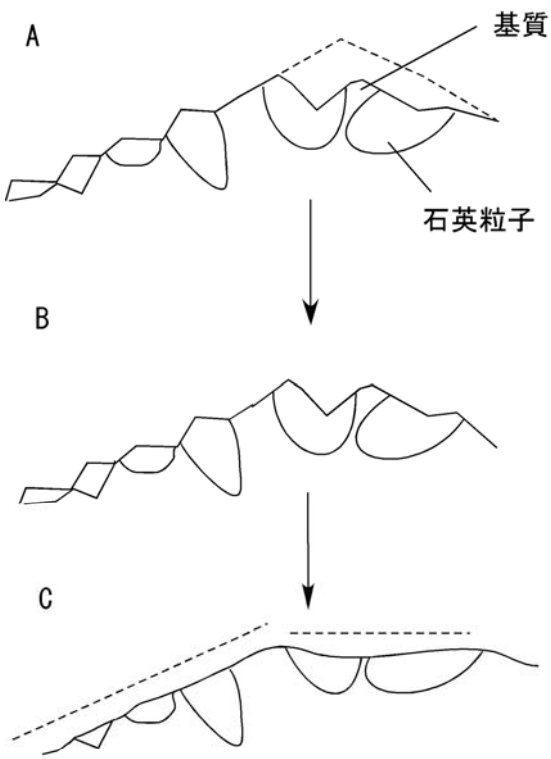


図5　礫の円磨表面の平滑化

A　角礫表面の角が衝突などで欠損する.

B　水や粒子，他の礫などの物質で表面が磨耗される.

C　礫表面は砕屑粒子が基質部とともに平滑化される.

ある。本論に用いている試料の円磨表面は，鏡下観察から微粒な石英が充填していることがわかる。石英は SiO_2 であり，化学的分解の影響を受けにくい鉱物である。このことから，円磨表面での化学的分解の影響は比較的少ないと考えられる。

図4の写真A，Bのような波状の鋭利な破損が見られる部分（図4，写真A，Bの点線で囲んだ部分）では,衝突によって打撃を受け,破損したものと考えられる。写真Bでは，粒子と基質が波状に破損している。衝突などで破砕されたものは，このような形状で表面構造が残ることが推測される。一方,図3の写真右，図4の写真C，Dは，石英などの砕屑粒子と基質部分が同じ直線的または曲線的な平滑面を作っている。これらの平滑面は，衝突などによって破損したものではなく，水や粒子または他の物質などとの磨耗によって形成されたと考えられる。図4の写真Eでは，直線的な平滑面が徐々に方向を変えている様子が観察できる。礫の衝突によって角が破損した後，現れた礫表面が磨耗・平滑化され，円磨表面が形成されたものと考えられる（図5）。

礫の円磨過程は，角礫の角が礫の衝突によって破砕されていく要素と磨耗される要素がある。磨耗に関しては山崎ほか（2003）は，アルミボトル缶を用いた円磨実験を行なっており，水を入れて礫を振とうしたものと，水を入れずに礫のみを振とうしたもので実験を行い，水を入れた方が短時間で円磨されやすくなることを示している。そして円磨される原因として，礫の衝突による破砕と磨耗によるものであることを述べている。本論で扱っている砂岩の円磨表面では，石英粒子と基質部分が単一に平滑化されている部位がある。このことは，水やその他の物質によって磨耗される要素を礫が残していることを示唆している。実際の河川では破砕岩片や破砕粒子が水とともに流れてくるため，磨耗される機会も多くなる。この砂岩の場合は，このような微細構造から礫が円磨された経緯を推測することができた。また，一般に露頭または標本レベルにおいては，礫の衝突によって爪状に形成されたパーカッションマークが知られているが，薄片レベルでもこのような衝突や円磨過程の構造形態があることが観察できた。

Ⅵ. 円礫の円磨に関する理解

礫の円磨は，礫種によってもその形態が異なってくる。砂岩や泥岩などの砕屑岩は，比較的円磨されやすく，角がとれやすい。粘板岩や片岩は，もともと剥離性があるため比較的扁平になりやすく，砂岩などとは異なった円磨の形態をなす。本論で用いた砂岩については，円礫になる要素として，礫の衝突による破砕や欠損，水や他の物質による磨耗によって円磨されていることが主な要素であるが，他の岩石種では円礫になっている要素が異なる可能性がある。例えば，チャートのような緻密で堅固な岩石は，同じ層に含まれる他の礫よりも円磨度が悪く，やや角ばった傾向を示すものが多くなる。また花こう岩類はもともとたまねぎ状風化をするため，水による運搬とは無関係に円礫になる傾向がある。

今後は様々な岩石種で円礫表面の微細構造を観察し，どのような要素が円礫にさせているのかを検証したい。このようなことから，野外での教育活動で，礫の円磨度に関して単純に供給源からの距離を反映していないことへの疑問が生じた場合，何の礫について円磨されているのか考慮に入れる必要がある。そのそれぞれの岩石種で円礫表面の微細構造について検討することで，その表面構造から河川の運搬によって円磨されたものなのか，構成鉱物の結晶の特徴を反映した風化によるものなのかということが検証可能となる可能性がある。川原の石の堆積場と供給源との距離関係が，円礫の円磨表面とどの程度関係しているかを知る手がかりではないかと考える。

謝辞

本研究を進めるにあたり，タイ国 Chiang Mai 大学の Benjavun Rattanasthien 教授，Rattanaporn Hanta 博士，Yupa Thasod 博士，　Jaroon Duangkrayom 氏には現地を案内していただいた。鹿児島大学の福地　亮博士には，タイの地質や現地の事情についてご意見をいただいた。また同志社女子中学・高等学校の楠　利夫教諭には，砂岩の薄片についてのコメントをいただいた。これらの方々に謝意を表する。

文献

長沼信治・菅沼悠介　2002. タイ北部における哺乳類化石を伴う第三紀の堆積盆地，特集「ホミノイドの進化とその背景」. 霊長類研究，**18**，159-164.

菅沼悠介・岡田誠・長岡信治　2002. タイ北部 Chiang Muan に分布する第三系 Mae Moh 層群の古地磁気層序，特集「ホミノイドの進化とその背景」. 霊長類研究，**18**，165-173.

山崎寛己・宇都宮恵・角縁進　2003. アルミボトル缶を用いた礫の円磨実験. 佐賀大学教育実践研究，**19**，91-100.