EGJ Engineering Geology of Japan

# ［技術報告］
# 基盤岩種を反映する地形量：吉備高原東部，赤磐－和気地域の例

曽根原 崇文 [1)]

キーワード：吉備高原，ペルム系，白亜紀火山岩，白亜紀花崗岩，傾斜量，QGIS

## 1．はじめに

地形は地表を構成する物質が長い期間にわたり様々な営力を受けることで形成される．したがって，地表を構成する物質，すなわち地質の違いは地形に反映されている場合がある．とりわけ地殻変動が活発でない安定大陸では，地質の違いが地形に表れやすく，水系模様（樹枝状，平行状など）や谷密度（単位面積当たりの谷線の本数ないし総延長）は，地質の種類や地質構造を反映していることが多い（例えば Ray and Fischer, 1960；Morisawa, 1985 など）．

ところで，近年の数値標高モデル（DEM：digital elevation model）に関わる技術発展により，地形については定量的な扱いが容易となっている．とりわけ GIS ソフトは改良が進み，著者のように GIS の専門家でなくても地形量（長さの次元またはその比として定量化できる地形の形態要素：鈴木，1997；例えば，標高，傾斜，曲率，面積，体積）を用いた検討が可能となっている．また，オープンソースのアプリケーションソフトを用いれば低コストでも高度な解析ができる．

そこで小論では地形と地質の関係の定量的な検討として，変動帯である日本列島の中において比較的安定した地塊と考えられる吉備（きび）高原（詳細は本特集号掲載論文を参照）のうち東部の赤磐（あかいわ）－和気（わけ）地域を例として取り上げ，DEM データを用いた地形解析を地質別に行い，地形量（傾斜量など）の比較を試みた．また，その結果に関する地質的要因についても検討した．

## 2．地形・地質概説

吉備高原は中国山地脊梁の南側に分布する定高性のある小起伏の山地からなる．吉備高原には“山砂利層”が分布しており，かつてはその岩質から中新統または更新統とみなされていたが，鈴木ほか（2003）により始新統～漸新統であることが明らかにされ，吉備層群と命名された．吉備層群は河川成の礫岩を主体とする地層で，基盤岩との不整合面の追跡から，古第三紀の谷地形を埋積したものであることが明らかにされている（鈴木ほか，2009）．また，古第三紀当時の地形を埋めた吉備層群が現在の地表部に残されていることから，吉備高原は古第三紀以降の約 6,000 万年の期間において大きな地殻変動を受けていないことが指摘されている（田中ほか，2003）．

研究対象である赤磐－和気地域は吉備高原の東部に位置し，吉井川中流域および砂川（すながわ）中～上流域に当たる．吉井川は脊梁山地の三国山（みくにがせん）（標高 1,252m）を源流とし，その南にある津山盆地（標高 100 ～ 200m）を通り，吉備高原を穿入（せんにゅう）蛇行して南流し，瀬戸内海へ至る河川である．砂川は赤磐市北部の標高 500m 弱の山地を源流域とし，下流域では吉井川と並走して瀬戸内海へ至る．この地域の接峰面図（図 1a）からは，標高 300 ～ 500m 程度の小起伏面，すなわち吉備高原面（広義）が復元される．現在の地形は吉備高原面が侵食されたものであり，定高性のある尾根や頂部緩斜面がその名残として認められる．

赤磐－和気地域に分布する“山砂利層”の基盤地質（先古第三系）は，概ね古い方から順に，ペルム紀火成岩類（夜久野岩類，舞鶴層群苦鉄質火山岩類），ペルム紀堆積岩類（舞鶴層群堆積岩類，超丹波帯構成層），三畳紀海成堆積岩類，白亜紀非海成堆積岩類（いわゆる硯石（けんせき）層），白亜紀火山岩類，および白亜紀花崗岩類に大別される（図 2）．これらのうち三畳紀海成堆積岩類と白亜紀非海成堆積岩類の分布は局所的であり，白亜紀火山岩類と白亜紀花崗岩類がそれぞれ 4 割程度の範囲を占め，残りの 2 割がペルム紀火成岩類および堆積岩類からなる．

赤磐－和気地域には北東－南西ないし東北東－西南西方

Engineering Geology of Japan, No. 7, 45-50 (2017)

**Geomorphic quantity reflecting bedrock types: an example of the Akaiwa-Wake area, eastern Kibi Plateau**

Takafumi Sonehara[1)]

sonehara@geohiruzen.co.jp
[1)] Hiruzen Institute for Geology and Chronology, Co. Ltd.,
2-5 Nakashima, Naka-ku, Okayama 703-8252, Japan

[1)] 株式会社蒜山地質年代学研究所
〒 703-8252　岡山市中区中島 2 番地 5

2017 年 5 月 31 日受付，2017 年 8 月 26 日受理． © 2017 Hiruzen Institute for Geology and Chronology. All rights reserved.

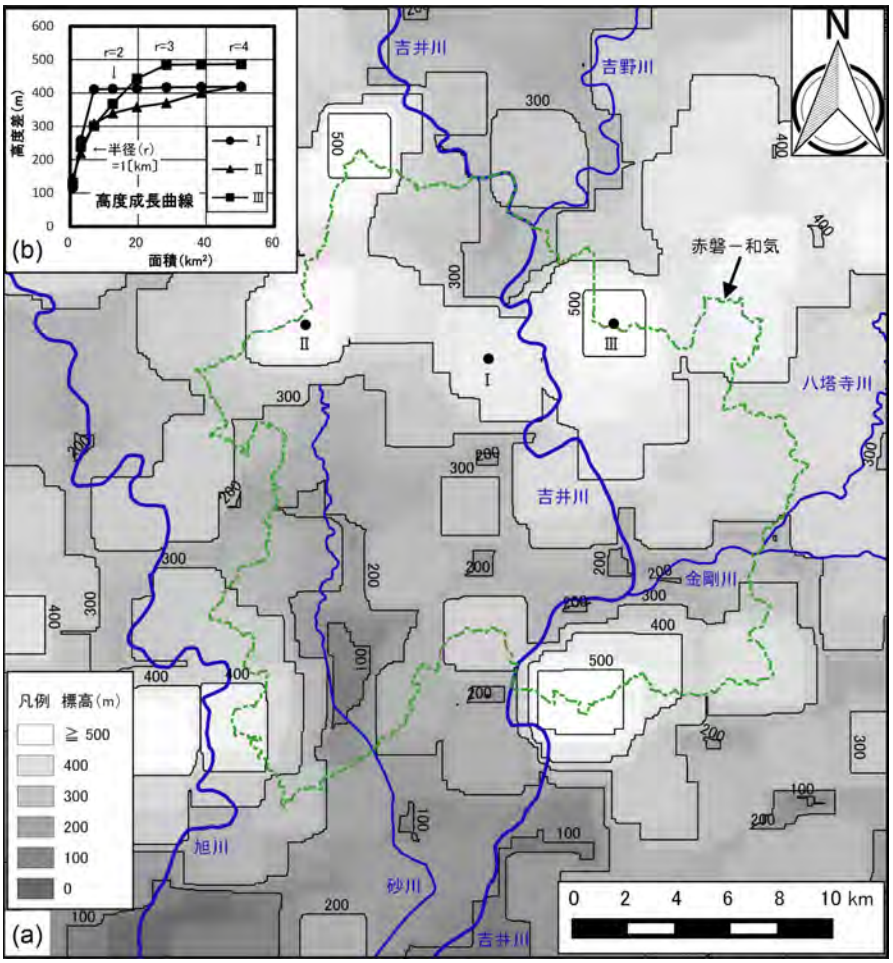


図 1　吉備高原東部の接峰面図．(a) 国土地理院の基盤地図情報数値標高モデル 10m メッシュを基に作成（平面直角座標系Ⅴ）．GRASS GIS（r.neighbors）を用いて各セルにつき近傍 1.5km（サイズ：151 セル）四方内の最高点を求め GeoTIFF ファイルとし，それから QGIS にて 100m コンターの接峰面図（高度段彩図）を作成した．通常の方眼法とは作成方法が異なる（本文参照）．標高 0m を灰色，標高 500m（以上）を白色としてその間を 10m 区切りで段彩し，凡例には 100m ごとの配色を示した．本図には現在の主要河川（太線）と赤磐－和気地域の範囲（一点破線）も示した．(b) 対象地域内の代表的な山頂（a の Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ）についての高度成長曲線図．各山頂から 0.5km 単位の円（半径 0.5 ～ 4.0km）を作成し，山頂と各円内の最低点との高度差（縦軸）を求め，横軸に各円の面積を取りデータをプロットした．明瞭な変曲点は 1.5km 前後にあると考えられる．

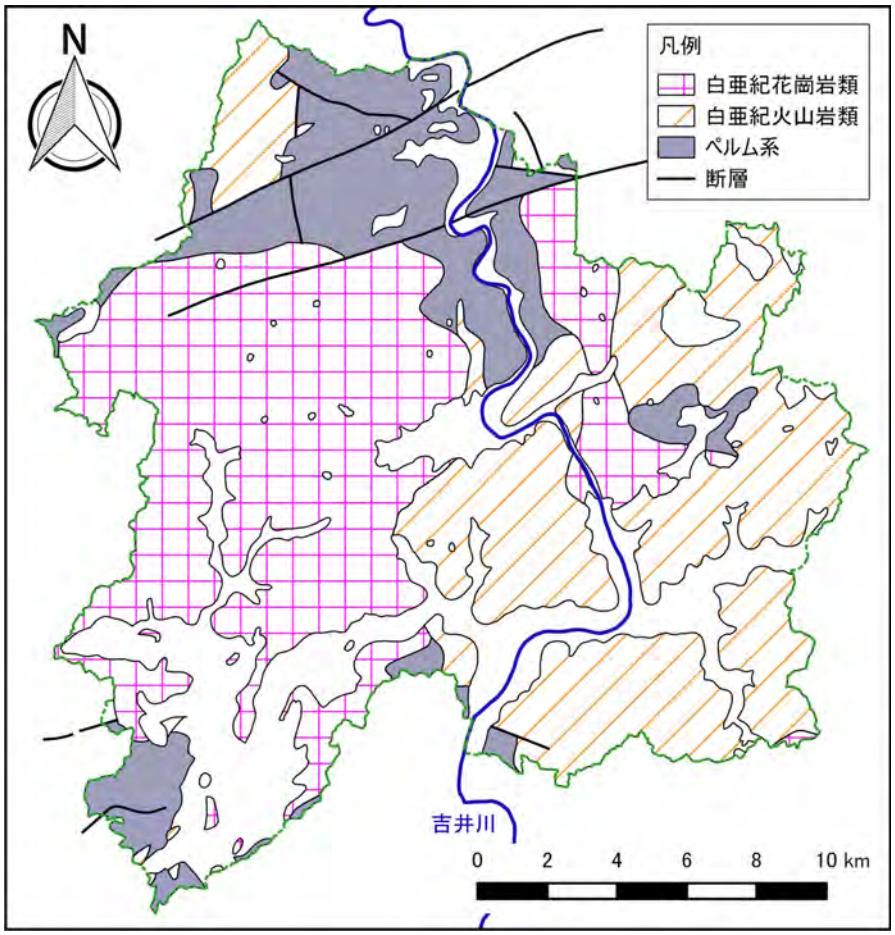


図 2　赤磐－和気地域の基盤地質（先古第三系）．産総研地質調査総合センター（編）(2015) による 20 万分の 1 日本シームレス地質図（詳細版）のシェープファイルを使用（平面直角座標系Ⅴ）．地質区分は，ペルム系（凡例番号：310，311，554，560，1380），白亜紀火山岩類（凡例番号：832，1100）および白亜紀花崗岩類（凡例番号：1331，1332）の 3 区分とし，小規模な分布をなすものは省いた．

向のリニアメント（線状模様）が発達する．これらの一部は地質断層とされている．吉井川の穿入蛇行の一部はこれらリニアメントに規制されている．

## 3．データと解析手法

地形データは国土地理院の基盤地図情報の基本項目および数値標高モデル 10m メッシュ（番号：523307，523317，523327，523337，523400，523410，523420，523430，523401，523411，523421，523431）を使用した．これらデータはオープンソース GIS ソフトである QGIS（ver. 2.18.7），GRASS GIS（ver. 7.2.0）および SAGA GIS（ver. 2.3.2）を用いて処理し，傾斜量図（QGIS ラスタ解析），曲率図（SAGA GIS Terrain Analysis - Morphology），接峰面図（図 1a；GRASS GIS r.neighbors）等を作成した．

接峰面図の作成にあたっては，鈴木（1997）などで示されているように，地域内の主要な山頂について高度成長曲線（図 1b）を作成し，その変曲点から 1.5km（解析上のサイズは 151 セル）という方眼単位を設定した．演算は升本ほか（2004）に倣い，RASS GIS r.neighbors（近傍点解析）を用いた．これは各セルに対して指定した近傍範囲内の最高標高を求める演算，すなわちある範囲内を最高標高値で平滑化しているため，通常の方眼法による接峰面図とは作成方法が異なる．小論では 1.5km 四方という広い範囲を平滑化しているため，恐らく方眼法よりも谷埋め処理が過剰になっていると予想されるが，ある一定の規則に基づき現地形を覆う仮想起伏面を作成するという点では同じ意味合いであると考え，接峰面図として扱うことにする．

地形量の検討では，視覚的に基盤岩種別の地形特性を把握するため CS 立体図（戸田，2012；2014）を作成した．CS 立体図は，GIS ソフトを用いて，標高レイヤ，傾斜レイヤ，曲率レイヤをそれぞれ異なる色調で彩色し，複数のレイヤを重ねて透過処理することにより，視覚情報から地形を読み取ることを可能としたもの（戸田，2012）で，作成方法が長野県（2012）により公開されていることにより，特に森林分野での活用が進んでいる．なお，最近になって CS 立体図作成 QGIS プラグインや全国 CS 立体図 10m データが G 空間情報センター（https://www.geospatial.jp/gp_front/）において無償公開された．

地質データは産総研地質調査総合センター（編）（2015）による 20 万分の 1 日本シームレス地質図（詳細版）のシェープファイルを使用した．地質の区分は，ペルム系（凡例番号：310，311，554，560，1380），白亜紀火山岩類（凡例番号：832，1100），白亜紀花崗岩類（凡例番号：1331，1332）の 3 区分とした．地形データと地質データの精度の違いにより，地質分布が地形に調和的ではない箇所（特に山地と低地の境界）があるが，小論では山地を広く解析することでその影響は少なくなると考え，調整は行わなかった．

なお，解析範囲は流域など自然的要因で区分したものを対象とするのが理想的ではあるが，小論では以下の点から人為的境界である赤磐－和気地域という市町村境界を用いた．ⅰ）地質の違いによる地形量の比較に当たり，同時代で相対的に均質な岩相からなる地質について特に着目したいと考え，白亜紀花崗岩と白亜紀火山岩の分布領域がほぼ等しくなる範囲を選定することとした．ⅱ）赤磐－和気地域という市町村境界は人為的ではあるが，山地においては分水界が境界となっているところが多く，ある程度自然的な区分も反映していると考えた．ⅲ）解析範囲を図 1 で示した範囲まで大きくした場合でも，解析結果（特に傾斜量）に大きな違いは認められず，当該地域の傾向を判断する上では大きく間違った結論には至らないと判断した．ⅳ）公的境界であるので区域設定が容易であり，他者による検証もしやすいと考えた．

## 4．結果

赤磐－和気地域の CS 立体図を図 3 に示す．CS 立体図では，高標高地は白く，低標高地は黒く，緩傾斜地は淡く，急傾斜地は濃く，凸地は赤く，凹地は青く表現される（戸田，2014）．3 つの地質を比べると，直感的にはペルム系と白亜紀火山岩類からなる山地は急峻であるのに対し，白亜紀花崗岩類からなる山地はなだらかな印象を受ける．定性的な表現をすれば，ペルム系と白亜紀火山岩類は谷壁斜面の傾斜量が大きいのに対し，白亜紀花崗岩類は小さい．また，ペルム系と白亜紀火山岩類は尾根筋が狭く尖った形状をなすのに対し，白亜紀花崗岩類はそれに比べて広く丸みを帯びている．以上のように，基盤岩種毎で地形量に差があることを読み取ることができる．

## 5．考察

CS 立体図による検討結果から，ペルム系と白亜紀火山岩類からなる領域と白亜紀花崗岩類からなる領域では，傾斜量の頻度に違いがあることが予想される．すなわち，前二者は傾斜量が大きいセルが多いのに対し，後者は傾斜量が小さいセルが多いという傾向が考えられる．曲率にも違いがあると予想されるが，傾斜量の方が感覚的にも把握しやすい．そこで傾斜量に着目して定量的な比較をするため，QGIS のラスタ解析機能の一つである地域統計を用いて，地質分布区域（地質別のポリゴン）毎に地形量（傾斜量など）のデータ個数，平均値，中央値，標準偏差，最小値，最大値を算出した（表 1）．また，各ポリゴンのレイヤプロパティから地質区分毎のヒストグラム（厳密には度数折れ線図に当たるが，QGIS での表記を用いる）を作成した（図 4）．

表 1 の通り，ペルム系（P），白亜紀火山岩類（Kv）および白亜紀花崗岩類（Kg）はほぼ同じ傾斜量の範囲（P：0 ～ 62°，Kv：0 ～ 63°，Kg：0 ～ 66°）を取る．一方で，その平均値は P：23°，Kv：25°，Kg：18°，中央値は P：23°，Kv：26°，Kg：18° であり（表 1），ペルム系や白亜紀火山岩類に比べ白亜紀花崗岩類は傾斜量の平均値や中央

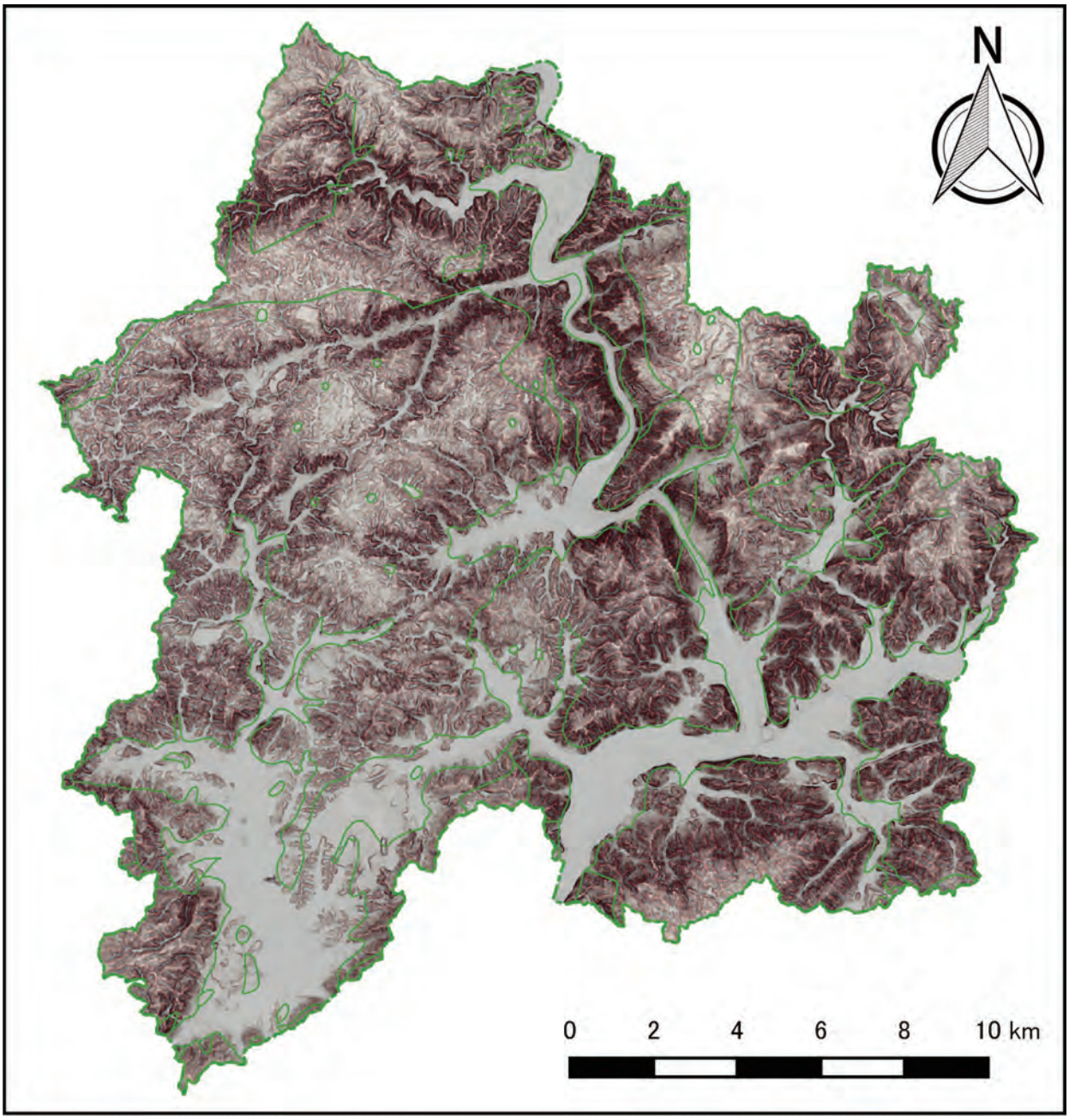


図 3　赤磐－和気地域の CS 立体図．長野県（2012）の作成方法に倣って作成（平面直角座標系Ⅴ）．標高レイヤ（10m メッシュ DEM），傾斜レイヤ（QGIS により作成），曲率レイヤ（SAGA GIS により作成）がそれぞれ異なる色調で彩色されており，高標高地は白く，低標高地は黒く，緩傾斜地は淡く，急傾斜地は濃く，凸地は赤く，凹地は青く表現されている．図 2 の地質境界も併記した．

値が小さい．ただし，地形データと地質データの精度の違いに起因する地質分布の不正確性により，傾斜量の小さいデータは沖積低地に当たるものも含まれるので，その影響を考慮しなければならない．そこで図 4 のヒストグラムにおいて低傾斜量のデータ（例えば 10° 以下：図の灰色部）を除いて考えてみる．この場合，ペルム系は 10 ～ 40° くらいまで緩やかな度数折れ線のピークを示し，白亜紀火山岩類は 20 ～ 40° にかけて比較的明瞭なピークを示す．一方，白亜紀花崗岩類は 10 ～ 25° くらいにかけてピークを示し，傾斜量の大きな部分は少なく，前二者とは異なる度数分布を示す．とりわけデータ個数のほぼ等しい白亜紀火山岩類と白亜紀花崗岩類では度数折れ線のピーク位置が明瞭に異なる．したがって，各地質の傾斜量の違いは本質的なものであると考えられる．

ところで，標高についてみると，最高標高（P：484m，Kv：508m，Kg：518m）ではペルム系（P）や白亜紀火山岩類（Kv）に比べ白亜紀花崗岩類（Kg）は大きいものの，標高平均値（P：222m，Kv：209m，Kg：184m）や標高中央値（P：221m，Kv：209m，Kg：175m）では前二者に比べ後者は小さい傾向を示す（表 1）．白亜紀花崗岩類は白亜紀火山岩類に貫入しているという地質関係を考えれば，それらの形成以降，白亜紀花崗岩類からなる山地の方が相対的に侵食が進んでいると推定される．また，接峰面標高の平均値と中央値をみると，ペルム系（360m；360m）と白亜紀火山岩類（361m；372m）はほぼ等しいが，白亜紀花崗岩類（300m；281m）は低く（表 1），吉備高

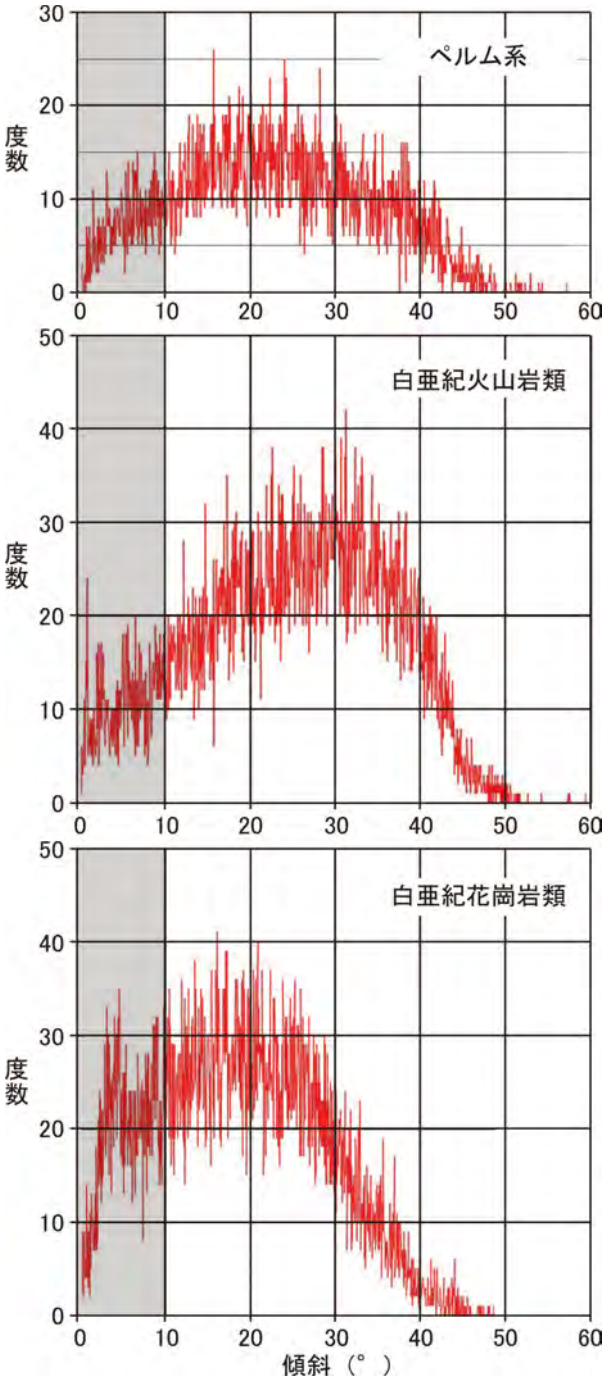


図 4　地質別の傾斜量ヒストグラム．傾斜量図（ラスタデータ）を各地質ポリゴンでクリップし，そのポリゴンのプロパティからラスタヒストグラムを出力した．ペルム系および白亜紀火山岩類に比べ，白亜紀花崗岩類は傾斜量が全体的に小さい傾向がある．

表 1　地質別の傾斜量，標高，接峰面標高，およびその差分の統計値．QGIS ラスタ解析の地域統計を用いて，傾斜量，標高，接峰面標高，およびその差分について，地質毎のデータ個数，平均値，中央値，標準偏差，最小値，最大値を算出した．各地質の傾斜量の範囲はほぼ同じだが，ペルム系や白亜紀火山岩類に比べ白亜紀花崗岩類は相対的に傾斜量が小さい．また，前二者に比べ白亜紀花崗岩類は標高平均値や中央値は低く，接峰面標高との差分平均値や中央値は小さい．* 標高と接峰面標高の差分は QGIS ラスタ計算機により求めたラスタデータの統計値であり，表に示した標高と接峰面標高の値の差とは一致しない．

| 地質区分 | ペルム系 | 白亜紀<br>火山岩類 | 白亜紀<br>花崗岩類 |
|---|---|---|---|
| 面積 (km$^2$) | 54.8 | 102.7 | 118.8 |
| データ数 | 436,992 | 819,422 | 947,376 |
| 傾斜（°）平均値 | 23.3 | 24.8 | 18.4 |
| 中央値 | 23.2 | 25.7 | 18.1 |
| 標準偏差 | 11.3 | 11.2 | 9.9 |
| 最小値 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 最大値 | 62.4 | 62.5 | 65.9 |
| 標高 (m)　平均値 | 221.8 | 209.4 | 183.7 |
| 中央値 | 220.5 | 209.4 | 174.8 |
| 標準偏差 | 98.6 | 109.2 | 97.8 |
| 最小値 | 17.9 | 18.5 | 12.3 |
| 最大値 | 483.7 | 507.9 | 517.8 |
| 接峰面標高 (m)　平均値 | 359.8 | 360.7 | 299.5 |
| 中央値 | 359.5 | 372.1 | 280.6 |
| 標準偏差 | 69.0 | 77.2 | 92.7 |
| 最小値 | 120.0 | 124.3 | 66.7 |
| 最大値 | 510.3 | 517.8 | 517.8 |
| 差分* (m)　平均値 | 138.0 | 151.3 | 115.8 |
| 中央値 | 129.0 | 146.8 | 107.8 |
| 標準偏差 | 75.7 | 71.1 | 61.7 |
| 最小値 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 最大値 | 407.0 | 385.3 | 384.1 |

原面が形成された段階で花崗岩類分布域とそれ以外では既に侵食レベルに差が生じていた可能性がある．一方，QGIS ラスタ計算機により接峰面標高と標高の差分ラスタデータを作成し，その平均値と中央値を比較すると，白亜紀火山岩類（151m；147m），ペルム系（138m；129m），白亜紀花崗岩類（116 m;108m）の順で小さくなる（表 1）．このことは，白亜紀火山岩類やペルム系の山地には白亜紀花崗岩類よりも深い谷が形成されていることを示唆していると考えられ，地質による傾斜量の違いとも整合的である．以上の侵食程度と谷の深さの議論は矛盾があるようにも捉えられるが，深い谷が形成されるのは谷壁斜面を形成する岩盤が相対的に侵食に強いことを反映していると解釈すれば説明がつくと考えられる．

吉備高原は古第三紀以降，大きな地殻変動を受けなかったこと（田中ほか，2003）を考慮すると，これら地形量の違いは主に構成岩の侵食耐性を反映していると考えられる．当該地域の花崗岩類は粗粒であり，主構成鉱物の石英，長石および黒雲母の熱膨張率の違いにより物理風化を受けやすいと考えられる．一方，白亜紀火山岩類は溶結作用や脱ガラス化作用により硬質で緻密な岩石となっている．ペルム系は多様な岩石からなり一概には言えないが，例えば緑色岩や珪質岩は硬質・緻密である．したがって，当該地域においては物理風化を受けやすい花崗岩類ほど侵食が進み，その分布域では相対的になだらかな山容が形成されるに至ったと推定される．

## 6. 結論

吉備高原東部の赤磐－和気地域を例に，DEM データ（10m メッシュ）を用いた地形解析を地質別に行い，地質による地形量（傾斜量など）の違いを検討した．対象地質は，ペルム系（堆積岩類・火成岩類），白亜紀火山岩類および白亜紀花崗岩類である．その結果，各地質の傾斜量が取る範囲はほぼ同じであるが，前二者の平均傾斜量は 23 ～ 25°程度であるのに対し後者は 18°程度で，花崗岩類からなる山地の方が相対的に緩傾斜であることが示された．平均標高についてはペルム系や白亜紀火山岩類の山地に比べ白亜紀花崗岩類は低い傾向があり，相対的に侵食が進んでいる可能性がある．また，接峰面標高と標高の差分の検討から，ペルム系や白亜紀火山岩類の山地には白亜紀花崗岩類に比べ深い谷が形成されており，谷壁斜面を形成する岩盤は相対的に侵食に強いと考えられる．吉備高原は古第三紀以降に大きな地殻変動を受けていないことから，これらの地形量の違いは侵食作用に対する基盤岩の抵抗性に主に起因するものと考えられ，とりわけ傾斜量にその違いがよく表れていると推察される．

なお，本稿投稿後の 2017 年 8 月 7 日に産総研地質調査総合センターからシームレス傾斜量図が公開された．この Web サイトでは傾斜量図にシームレス地質図等を重ね合わせることができ，地形と地質の関係性を検討するのに役立つものと思われる．参考までにその URL を記す．

シームレス傾斜量図　https://gbank.gsj.jp/seamless/slope/

### 謝辞

(株) 蒜山地質年代学研究所の香本佳彦さんには草稿についてご意見をいただきました．査読者の能美洋介教授（岡山理科大学）には的確かつ建設的なコメントをいただき，本稿を改善することができました．編集委員の郷津知太郎博士には本稿の改善にあたりご助言をいただきました．ここに記して感謝申し上げます．

### 引用文献

升本眞二・ベンカテッシュ ラガワン・根本達也・野々垣　進・森亮・丹羽　誠・萩原　顕 (2004) GRASS GIS 日本語版　利用ガイド　リリース 1.1., GRASS 国際化プロジェクト, 101p. http://docs.osgeo.jp/foss4g/grass/2003tutorial/GRASS_User_Guide.pdf, 2017/6/21.

Morisawa, M. (1985) *Rivers*. Longman Geomorphology Texts 7, Longman, London, 222p.

長野県 (2012) 数値地形データを用いた「微地形図」の作成方法. http://www.pref.nagano.lg.jp/ringyosogo/seika/documents/bichikei.pdf, 2017/5/22.

Ray, R. G. and Fischer, W. A. (1960) Quantitative photography - a geologic research tool. *Photogrammetric Engineering*, **25**, 143-150.

産業技術総合研究所地質調査総合センター (編) (2015) 20 万分の 1 日本シームレス地質図 2015 年 5 月 29 日版. 産業技術総合研究所地質調査総合センター .

鈴木茂之・檀原　徹・田中　元 (2003) 吉備高原に分布する第三系のフィッション・トラック年代. 地学雑誌, **112**, 35-49.

鈴木茂之・松原尚志・松浦浩久・檀原　徹・岩野英樹 (2009) 岡山市周辺の吉備高原に分布する古第三系「山砂利層」と海成中新統. 日本地質学会第 116 年学術大会見学旅行案内書, 地質学雑誌, **115**, 補遺, 139-151.

鈴木隆介 (1997) 建設技術者のための地形図読図入門　第 1 巻 読図の基礎. 古今書院, 東京, 200p.

田中　元・鈴木茂之・宝谷　周・山本裕雄・檀原　徹 (2003) 吉備高原周辺の古第三系に関する最近の知見とその古地理学的意義. 岡山大学地球科学研究報告, **10**, 15-22.

戸田堅一郎 (2012) 航空レーザ測量データを用いた微地形図の作成. 砂防学会誌, **65**, 51-55.

戸田堅一郎 (2014) 曲率と傾斜による立体図法 (CS 立体図 ) を用いた地形判読. 森林立地, **56**, 75-79.