

秋吉台における石灰岩の溶解速度：野外風化実験と水文観測に基づく推定 Dissolution rate of limestone at a doline in the Akiyoshidai karst plateau

秋山 沙苗², 八反地 剛^{1*}, 松四 雄騎³, 松倉 公憲⁴

Sanae Akiyama², HATTANJI, Tsuyoshi^{1*}, MATSUSHI, Yuki³, Yukinori Matsukura⁴

¹ 筑波大学生命環境系, ² 筑波大学大学院生命環境科学研究科, ³ 京都大学防災研究所, ⁴ 筑波大学

¹ Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, ² Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, ³ Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, ⁴ University of Tsukuba

カルスト地域に見られる凹地(ドリーネ)の形成過程を議論する上で、ドリーネ内における石灰岩溶解速度の空間分布を明らかにすることは重要である。宇宙線生成核種年代測定法に基づき、長期間の平均的な溶解速度を求めた研究もあるが、今後の地形発達を予測する上では現在の環境における溶解速度を明らかにすることも重要である。そこで本研究では、山口県の秋吉台石灰岩台地にある円形ドリーネ(直径150m、深さ20m)を対象とし、現在のドリーネ地下の水文環境を明らかにするとともに、野外風化実験を行い石灰岩の溶解速度の規定要因を明らかにした。さらにこれらの結果を組み合わせ、ドリーネの現在の環境における石灰岩の溶解速度と、今後のドリーネ地形の発達について検討した。

ドリーネの地下構造を調べるため、比抵抗映像法を用いた2次元電気探査と簡易貫入試験を実施した。比抵抗値の空間分布と簡易貫入試験による基盤岩-土壌境界の結果を比較すると、比抵抗値300 m付近に存在する値の急遷部が基盤岩-土壌境界とほぼ一致した。基盤岩-土壌境界面は斜面上方ほど浅く、ドリーネ底部では深い傾向にあった。基盤岩の形状は滑らかではなく、一部が地表面に露岩として現れている場所もあった。また、基盤岩-土壌境界の上部に沿うように、低比抵抗値(~100 m)の層が存在した。この層は、地表面が非常に乾燥する時期にも存在していた。検土杖により採取した土壌の水分量測定によると、比抵抗値が120 mを示す付近では土壌水分飽和度90%(S3, 深さ70cm)、190 mを示す付近では土壌水分飽和度が83~87%(S1, 深さ50~100cm)であった。地下深部まで土壌粒子の構成や密度が同じだと仮定すると、基盤岩-土壌境界面の上部に存在する低比抵抗部は、土壌水分の飽和度がほぼ100%と推定される。

野外風化実験では、ドリーネの斜面上部(S1)、斜面中部(S3)、斜面下部(S5)、底部(S6)の4地点の土壌中(深さ50cm, S1とS5には更に深さ15cm)に合計6個のタブレット(秋吉台石灰岩, 阿武隈石灰岩の2種類: 直径3.5cm, 厚さ約1cm)を設置した。期間は2009年4月~11月(218日間), 2010年3月~2011年1月(307日間), 3月~11月(243日間)である。同時に実験地点において土壌水分と地温を連続観測し、二酸化炭素濃度と土壌水の水質は定期的に測定した。野外風化実験の結果、秋吉台石灰岩についてS1, S3の深さ50cmでは溶解速度が1.6~3.3%/yと大きく、斜面下部で0.11~0.55%/yと小さかった。ドリーネ底部では0.52~0.88%/yと中間の値であった。これら場所や年度による溶解速度の違いについて、水文観測の結果を説明変数とし回帰分析を行った。最も決定係数が大きいのは、土壌水分が飽和状態であった時間の割合との関係であった($R^2=0.65$)。さらに、土壌空気中の二酸化炭素濃度の平均値を説明変数に加えた重回帰分析を実施したところ、決定係数が上昇した($R^2=0.74$)。これは土壌水分が飽和状態にほとんどならない場所では二酸化炭素濃度の違いが溶解速度に影響するためと考えられる。土壌水の水質については、大部分でカルサイト飽和度が-1.0以下であり、十分な溶解能力をもった土壌水であった。

野外風化実験の結果から、土壌水分が一年を通して飽和状態である場所では3.9%/yの石灰岩溶解速度が推定された。すなわち、基盤岩-土壌境界付近の比抵抗値の低い層が一年を通して土壌水分飽和状態であると仮定すると、年間356 g/m²yの溶解速度に換算される。この結果は同じドリーネでの既存研究で宇宙線生成核種を用いて測定した長期溶解速度(63~256 g/m²y)の最大値と比べてやや大きい。地表付近の野外風化実験による溶解速度の値を換算すると10~298 g/m²yと長期溶解速度と同程度であり、現在の溶解速度は過去の値と比べてほぼ等しいかやや増加していることが推定される。また、低比抵抗層はドリーネの底部に限らず、斜面の一部の地下にも存在したことから、ドリーネの形状変化は斜面の一部と底部のいずれにおいても同程度の速度で進行していると予測される。

キーワード: 石灰岩, カルスト地形, ドリーネ, 電気探査, 溶解速度

Keywords: limestone, karst, doline, electric resistivity survey, dissolution rate