



1. はじめに

ヨーロッパ、特にフランス、ドイツ、英国などでは地震がほとんど起こらない。しかし、一時期ヨーロッパ(英国、ドイツ、イタリア、スイス、特にフランス)では洞内構造物が破壊されているのを見て、地震(古代の地震も含む)の影響ではないかと考えられ、盛んに研究が行われた(文献1)。洞窟地震学(Speleoseismology)という専門用語さえも作り出されている。その結果と現状を紹介し、日本での可能な対応を考えてみた。

2. ケイバーの地震体験報告

地震発生時に洞窟に入っているのはまれではあるが、それでも2001年のGilliとDelangeによる聞き取り調査や文献調査によると、さまざまな結果が得られている(文献2)。

Audra(1999年)やRenault(1970年)は洞窟に入っているとき何も感じず、外に出て地震があったと聞いて驚いた場合があると報告している。

1952年のアリゾナで発生したM5.2のFlagstaff地震発生時、グランドキャニオンのBuddha洞窟では、ケイバーによる雷のような異常な音が聞こえたとの報告がある。

Audraは同様に1999年にパプアニューギニアで発生したM5.1の地震のときに、洞窟内でも雷のような音を聞いたと報告している。

1974年のセラネヴァダで起きたM5.5の地震のとき、Kings Canyon 国立公園内にあるChurch洞窟で、ボーイング747のジェットエンジンに似た音が聞こえたとの報告がある。また、同時に別のケイバーは、狭い縦穴を通過中に振動マッサージをうけている感じがしたと表現している。

1995年にスロヴェニアで発生したM4.0-4.2地震時で震源から20-30km地点にあるDimnice洞窟では、岩片の落下はなく、洞内構造物は損傷を受けなかったが、地面が揺れ、風が吹き、ノイズが聞こえ、水面のレベルが振動したのをケイバーが見ている。

1997年のイタリアで起きたM5.6のAssisi地震では、ウンブリアのFrasassi洞窟で、ケイバーが怪我をした動物の遠吠えのような音を聞いている。

2004年のスロヴェニアで起きたM4.9のBovec地震のとき、Postojna洞窟では、ケイバーが列車が近づいて来て遠ざかって消えるような音を感じている。大

きな損害があったとの報告があるのは1928年のブルガリアで起きたM7.0のChirpan地震で、震源から55kmにあるShepran洞窟のみであった。

3. 関連研究者による地震後の洞窟観察結果

ここでは地震後に洞窟に入洞し、地震後の影響調査が洞窟研究者や地震研究者によって行われた結果を紹介する(文献1)。

GilliとDelangeは2001年の報告書で、1995年に発生したM7.2の兵庫県南部地震後に訪れ、淡路島の断層近くにある野島鍾乳洞では何も損害はなかったと報告している。

Renaultは1970年の報告書で、1967年にフランスで発生したM6.8のArette地震のとき、周辺のいくつかの洞窟で壁から表面がはがれ、断片が落下していたと記述している。

1995年にオーストラリアのWiburds Lake洞窟で発生した1m×0.5mの大きさの岩塊が落下したのは、近くで起きたJenolan地震で誘起されたと考えられている。

もっとも詳細に地震の影響が調査されたのは、Gilliらによる1999年の報告にある1996年にピレネーで起きたM5.2の地震の影響である(文献3)。震源から2-10kmにある八つの洞窟について調べられたが、最も大きな被害が観察されたのは、Saint-Paul-de-Fenouillet近くにある、最も高い標高840mにあるBarrenc du Paradet洞窟であった。洞内ではストローが散乱し、壁や天井から岩の小片が落下していた。落下したストローの床面上の散乱分布を調べると、地震の振動方向と一致していたとのことである。

4. モデル化による実験結果と現状で導き出された結論

洞窟内での経験や調査以外に、それと並行してストロー、鍾乳石、石筍などの地震強度検討が行われた。フランス原子力庁機械技術部におけるモデル試験、ベルギーのリエージュ大学研究室における試験、スイスのLacaveらによって行われた理論モデルと試験など(文献4)により以下のことが明らかとなっている。

1) 地震加速度による洞内構造物の破壊は、ストローなどの繊細で細長いこわれやすいものしか考えられない。最大地震加速度の検討範囲は300cm/sec²から1,000cm/sec²(300ガルから1,000ガル)の範囲である。大きさとしては、ストローでは直径2cmで長さは少なくとも40cm以上、鍾乳石では直径2cm