

## 1. はじめに

斜面崩壊や土石流といった土砂災害は日本のみならず海外でも発生しており、気候変動の進行に伴い、これまで災害履歴の少なかった地域においても災害発生リスクが増大する可能性が指摘されている (Gariano & Guzzetti, 2016)。これらの土砂災害の発生機構を理解するためには、降雨が地表から浸透し山体内部を移動して再び地表へ流出するまでの降雨-流出プロセスの理解が重要とされている (Sidle et al., 2000)。

著者はこれまで、日本の森林源流域における多地点観測により、山地源流域の降雨-流出プロセスの空間不均一性の解明を目的とした研究を進めてきた。本海外派遣の目的は、ハリケーン Helene による災害後の現地調査および海外研究者との議論を通じて、日本の山地流域研究との比較検討を行い、土砂災害発生機構に関する国際比較の視点を得ることである。また、長期水文観測地である Coweeta 水文試験地の視察および研究者との意見交換を通じて、今後の共同研究の可能性を検討することも目的とした。

## 2. 現地調査

本研究の現地調査は 2025 年 11 月 16 日から 11 月 19 日の 4 日間、アメリカ・ノースカロライナ州 (以下 NC 州) 西部のハリケーン Helene による被災地および長期水文観測地である Coweeta 水文試験地を対象として実施した。NC 州西部では 2024 年 9 月の Helene により広域で斜面崩壊や洪水被害が発生し、人的被害および森林被害が報告されている (Allstadt et al., 2025)。

1 日目は Yancey 郡において森林被害および崩壊地調査を行った。2 日目は Rutherford 郡 Chimney Rock 周辺および Blue Ridge Parkway 周辺において崩壊・土石流被害および森林被害の調査を行った。3 日目は Buncombe 郡において土石流および崩壊地の調査を行った。4 日目は Coweeta 水文試験地において源流域の水文観測環境の確認および研究者との意見交換を行った (図 1)。

崩壊地調査では崩壊面の形状確認、基盤岩露出状況、湧水の有無などの観察を行った。森林被害調査では立木密度、風倒木の形態、風倒木および残存木の樹高・胸



図 1. Coweeta 水文試験地での調査

高直径の計測を行った。

また、本調査では North Carolina State University (NCNU) の研究者と共同で現地観察結果について議論を行った。森林生態学を専門とする Katherine Martin 博士とは森林構造と災害影響の関係について、地質学を専門とする Karl Wegmann 博士とは地質条件と崩壊様式の関係について意見交換を行い、日本の付加体堆積岩流域との比較の観点から重要な示唆を得た。

## 3. 研究成果

### 3.1 斜面崩壊特性

本調査により、Helene による斜面崩壊は降雨量だけでなく地質および風化層厚の違いによって崩壊規模や発生様式が異なることが確認された。北部 (Yancey 郡) では風化層厚が 20~50 cm と薄く、平滑な基盤岩上で浅層崩壊が発生し、平均縦断長 253 m の長距離滑動が確認された。また崩壊地では湧水も確認され、間隙水圧上昇の影響が示唆された (図 2 左)。一方、南部 (Buncombe 郡) では風化層厚が 40~100 cm と厚く、崩壊は風化層内部で発生する平均縦断長 56 m、崩壊面積 300~900 m<sup>2</sup> の比較的小規模な浅層崩壊が主体であった。これらの観察から、同一豪雨条件下でも地質および風化層条件が崩壊規模および土砂移動特性を規定する重要因子であることが確認された。

### 3.2 森林被害特性

森林被害は斜面崩壊に伴う樹木流出と強風による風



図 2. 崩壊地(左)および森林被害(右)

倒被害の 2 形態として確認された。Burnsville 周辺では斜面崩壊に伴い樹高 20~30 m のレッドオーク林が約 1 ha 規模で流出し、数百~数千本の樹木が流木化したと推定された。基盤岩露出により植生回復の長期化も示唆された。一方、Blue Ridge Parkway 周辺では風倒被害が卓越し、10 m×10 m プロットでは立木密度約 2000 本/ha のうち残存木は約 500 本/ha であり、樹冠開空度も約 40% から 57~64% へ増加していた (図 2 右)。これらの結果から、浅い土層による根系制約および尾根地形での風速増大が森林被害の主要因となった可能性が示された。

### 3.3 河川被害特性

河川周辺では上流斜面崩壊による土砂および流木供給と洪水流の相互作用による被害が確認された。Chimney Rock から Bat Cave 区間では河道拡幅、河岸侵食、橋台洗掘などの河道変化が確認された。下流域では粗粒土砂主体の土石流ではなく細粒土砂を多く含む洪水氾濫が主体であり、泥水氾濫や建物内部への細粒土砂流入などの被害が卓越していた。これらの観察から、本災害では多数の小規模崩壊による細粒土砂供給が洪水被害拡大に寄与した可能性が示された。

### 3.4 Coweeta 水文試験地との比較

Coweeta 水文試験地の観察から、源流域スケールでは日本の付加体堆積岩流域と同様に流量の空間的不均一性が存在することが確認された。この結果は、異なる地質条件下においても源流域では流出の空間不均一性が普遍的に存在する可能性を示唆している。

## 4. 共同研究により得られた成果および課題

本海外滞在により、災害後の現地観察結果をもとに海外研究者との議論を行い、日本の山地流域研究との比較検討が可能となった。特に、地質条件が崩壊様式を規定する重要性について国際比較の観点から再確認できたことは重要な成果である。一方、本調査は短期間の現地観察に基づくものであり、定量的な比較には水文データや水質データを含めた継続的観測が必要である



図 3. NCSU での研究報告会

ことが課題として明らかとなった。また、災害後の長期的な地形変化や植生回復過程についても継続的調査が必要である。今後は Coweeta 水文試験地との比較研究を進め、日本の源流域研究との統合的解析を行うことで、流域スケールでの土砂災害発生機構の理解を深化させることを目指す。

## 5. 研究報告および国際交流成果

2025 年 11 月 26 日に NCSU において調査結果の報告会を実施した (図 3)。報告会では日本とアメリカの山地流域における崩壊メカニズムの違いや森林管理のあり方について議論を行った。本議論を通じて、日本の多地点観測研究の国際的意義を確認するとともに、今後の流域比較研究の可能性について意見交換を行うことができた。また、本海外滞在で得られた調査成果は砂防学会災害報告への投稿を予定している。

### 謝辞

本支援をご提供いただいた名古屋大学宇宙地球環境研究所国際連携研究センター若手国際派遣プログラム関係者の皆様、指導教員である名古屋大学生命農学研究科の五味高志教授、受入責任教員である檜山哲哉教授に深くお礼申し上げます。

### 引用文献

- Allstadt, K. E., McBride, S. K., Godt, J. W., Slaughter, S. L., Baxstrom, K. W., Sobieszczyk, S., and Stull, A. (2025). Preliminary field report of landslide hazards following Hurricane Helene (No. 2025-1028). US Geological Survey.
- Gariano, S. L., & Guzzetti, F. (2016). Landslides in a changing climate. *Earth-science reviews*, 162, 227-252.
- Sidle, R. C., Tsuboyama, Y., Noguchi, S., Hosoda, I., Fujieda, M., & Shimizu, T. (2000). Stormflow generation in steep forested headwaters: A linked hydrogeomorphic paradigm. *Hydrological Processes*, 14(3), 369-385.
- [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(20000228\)14:3<369::AID-HYP943>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(20000228)14:3<369::AID-HYP943>3.0.CO;2-P)