

¹⁴C年代測定による深層崩壊発生頻度推定手法の 検討と適用

THE EXAMINATION AND APPLYING THE METHOD TO ESTIMATE THE
OCURENCE INTERVAL OF THE DEEP-SEATED LANDSLIDES
BY CARBON DATING

田中健貴¹・小竹利明¹・菅原寛明²・木下篤彦³・小川内良人⁴・藤原美波⁴
Yasutaka TANAKA, Toshiaki KOTAKE, Hiroaki SUGAWARA, Atsuhiko KINOSHITA,
Yoshito OGAWAUCHI and Minami FUJIWARA

¹農修 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター
(〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

²国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター
(〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

³農博 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター
(〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

⁴国土防災技術株式会社 (〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1-9-21)

We need the frequency of deep-seated landslides when we plan the countermeasure for them. In recent years, the method by estimating the frequency by carbon dating has been proposed. However, the method to estimate the frequency in very large area such Kii mountain area is not established.

In this paper we tried to propose the research flow to estimate the frequency in large area, and showed the frequency of deep-seated landslide in Kii mountain area. The flow was consisted of three section which are preliminary research, detailed research and sample analysis. We listed the point to extract landslide deposit in preliminary research and developed the sampler to collect samples in detailed research. The frequency from carbon dating was approximately 100-200 years which was not conflicting to some historical document.

Key Words : deep-seated landslide, LiDAR, carbon dating, Kii mountain area

1. はじめに

平成23年台風12号によって紀伊山地では深層崩壊と呼ばれる大規模な斜面崩壊が多数発生した¹⁾ (図-1)。深層崩壊では一度に大量な土砂が崩壊する。このことによって崩壊した土砂の直撃ならびに土石流としての流下, また崩壊土砂による河道の堰き止めによる天然ダムの形成および決壊による大規模な土石流の発生によって, 下流へ大きな被害を与える可能性がある。

深層崩壊への対策としては, 深層崩壊の発生を抑制または抑止する施設として山脚固定のための砂防堰堤等が挙げられている²⁾。これらの施設の配置や規模を検討する上では, 深層崩壊が発生しうる場所を推定するとともに, 発生しうる深層崩壊の規模や頻度を推定する必要が

ある。

これまで深層崩壊が発生する規模の推定は, 地域の災



図-1 平成23年台風12号によって発生した深層崩壊

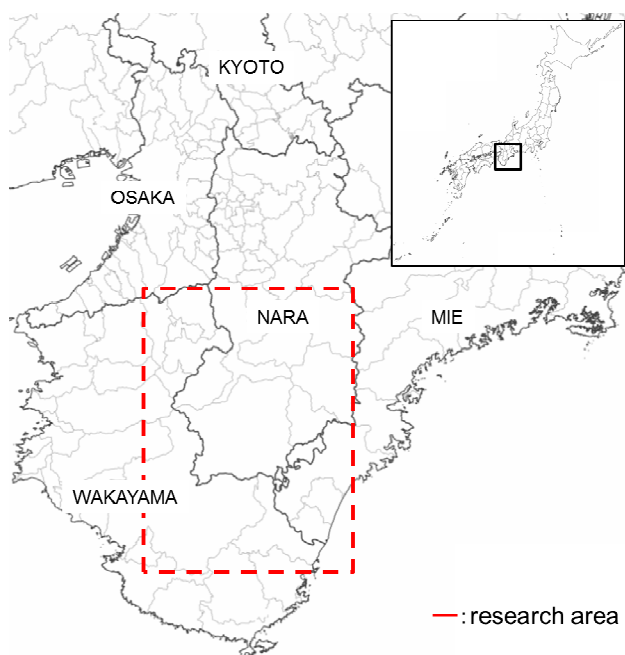


図-2 調査範囲

害をとりまとめた歴史資料を活用する方法^{3)・4)}や火山噴出物の堆積によって深層崩壊の発生年代を推定する研究⁵⁾がされている。しかしながら、これらの資料は必ずしも存在するわけではなく、地域によっては活用できない場合がある。また火山噴出物による年代推定は数千から数万年オーダーでの推定となるため、砂防事業として対象とする100年オーダーでの推定は出来ないおそれが考えられる。

過去に発生した土砂災害の発生年代を推定する方法として、炭化物を利用する方法がある^{6)・7)}。ここで炭化物とは木片等を指す。この方法では、崩壊発生時に崩壊土砂内部に埋没した樹木等を対象として分析を行い、これまでも多くの分析事例が報告されている。しかしながら、紀伊山地のように広範囲を対象として調査を行う場合、効率的に調査を実施する必要がある。

そこで本研究では、深層崩壊の発生頻度を推定する方法として、炭化物を利用した炭素年代測定法による方法について、事前調査や現地調査で着目すべき点や炭化物を採取する際の簡便な調査方法について提案するとともに実際に紀伊山地を対象として、深層崩壊の発生頻度を推定した。

2. 調査地概要および調査方法

(1) 調査地概要

調査対象地を図-2に示す。当該調査地では、過去の文献から確認できる範囲で1889年に発生した一般に明治十津川大水害として知られる災害、2011年に発生した紀伊半島大水害など複数回大規模な斜面崩壊が発生している。

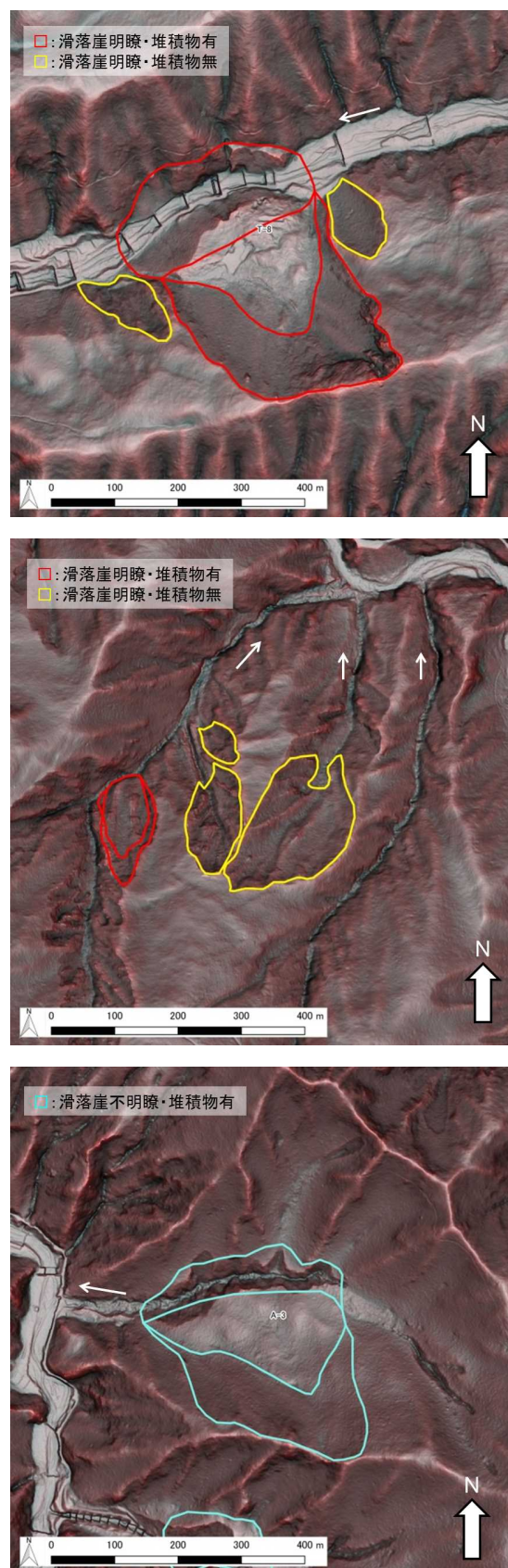


図-3 抽出した崩壊堆積物の例

上：崩壊土砂が対岸に到達し、河道閉塞したことが推定される
中央：崩壊の輪郭は鮮明であるが、崩壊堆積物は存在しない
下：崩壊の輪郭が不鮮明であるが、崩壊堆積物は存在

調査地は、主に付加体である四万十帯から構成され、頁岩や砂岩、泥岩等の互層構造が発達している。また重力により斜面が徐々に変形し、崩壊に至る危険が高い重力変形斜面（岩盤クリープ）が多く見られる。

(2) 調査方法

調査対象斜面の選定は、航空レーザー測量データによって作成された地形図を基に、深層崩壊跡地周辺に崩

壊堆積物が残存していると考えられる堆積段丘面の有無に着目して微地形判読して抽出した（図-3）。なお、深層崩壊が発生している1889年明治十津川水害と2011年紀伊半島大水害による深層崩壊箇所は対象から除外した。概略調査により現地への到達の容易さや微地形判読結果の照合、炭化物が含まれている可能性のある崩壊堆積物かどうか確認した。詳細調査では概略調査を受けて、実際に炭化物の採取を行った（図-4）。

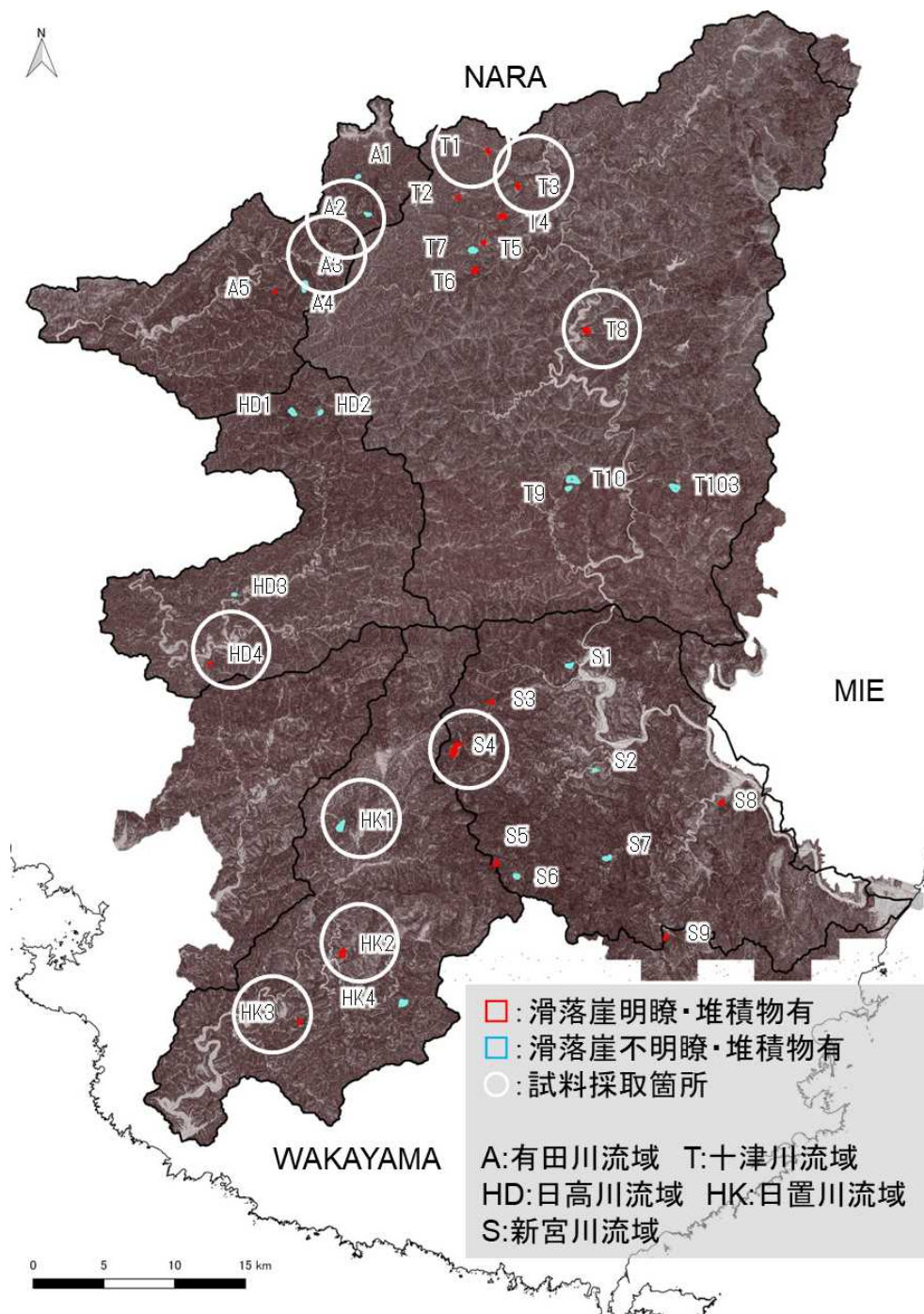


図-4 試料採取箇所候補箇所と実際の試料採取箇所の位置図

LPデータから作成された地形図から滑落崖の明瞭さ、崩壊堆積物が残存していると考えられる地形の有無に着目して現地調査対象箇所を抽出した。なお、実際に現地調査を実施したのは図中に示すうちの14箇所であり、さらに試料を採取できたのは10箇所である。

また分析の結果、明治十津川水害よりも古い年代が測定されたのは10箇所23試料である。

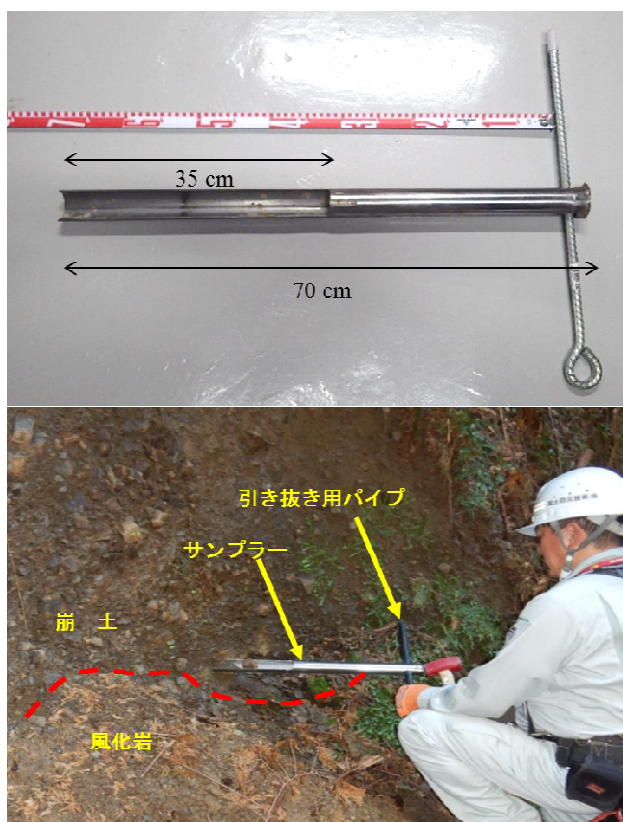


写真-1 試料採取に使用したサンプラー
ハンマー打撃で貫入し、回転させながら引き抜く

実際には、選定された箇所へ行き、採取すべき木片等があるか調査して採取する。資料の採取には写真-1に示すサンプラーを用いた。サンプラーは全長70cmであり、35cm部分からは半円に加工した。このサンプラーをハンマー打撃で貫入させ、回転させながら引き抜いた。

採取した試料の分析は、加速器質量分析法（AMS法）によって実施した。使用した機器はNEC社製 ^{14}C -AMS専用装置（写真-2）である。AMS法とは、原子量に応じて質量を分析する方法であり、採取した炭化物を燃焼させて発生した二酸化炭素を鉄の触媒により水素で還元してグラファイトを生成させて測定用試料とした。測定は、 ^{14}C の計数、 ^{13}C 濃度（ $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ）、 ^{14}C 濃度（ $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ ）の測定を行った。ここで放射性同位体である ^{14}C は生物が光合成や摂食を通じて取り込んだ後に死亡すると生物の体内では ^{14}C が減少するのみとなる。 ^{14}C の半減期は5568年とされ、これを追跡することで年代の測定が可能である。なお本研究では米国国立標準局（NIST）によるシュウ酸（ HOx II ）を標準試料とした。

採取した炭化物の形成過程は複数考えられ、対象とする崩壊時に樹木が巻き込まれて炭化した場合以外にも、既に炭化した木片を巻き込んで堆積した場合、堆積後に繁茂した後に炭化した場合などが考えられる。また測定結果から得られた暦年較正年代は、年代がすでに分かっている試料の ^{14}C 濃度を基にした較正曲線と照らし合わせて、過去の ^{14}C 濃度変化を補正し、実年代に修正した



写真-2 AMS法で使用した測定機器
イオンを高エネルギーで加速させ、質量分析を行う

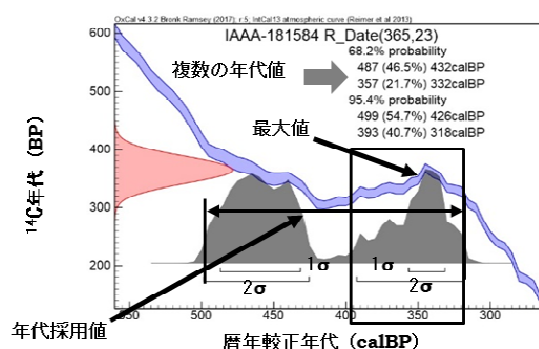


図-5 暦年較正グラフの例

測定結果からは幅のある年代が算出される。そこで 2σ の範囲における暦年較正年代の最も古い年代と最も新しい年代、また確率分布が最大値を示す年代を概略年代として扱う

値である。なお、暦年較正年代の計算には、IntCal13データベース⁸⁾を用い、OxCalv4.2較正プログラム⁹⁾を使用した。暦年較正年代は ^{14}C 年代に対応する較正曲線上の暦年代範囲であり、1標準偏差（ $1\sigma=68.2\%$ ）あるいは2標準偏差（ $2\sigma=95.4\%$ ）で示され、1試料である程度幅のある暦年較正年代結果が得られる場合がある。

以上から、ここでは明治より新しい年代が測定結果として算出された場合にはこれを棄却し、暦年較正年代の最も古い年代と最も新しい年代を示すとともに、さらに複数の近似した年代が得られた場合はその測定年代を崩壊年代として採用した。なお、詳細な測定年代については示すことが難しいため、 2σ の幅で示される暦年較正年代の最大、最小をあわせて示すこととする（図-5）。

3. 結果

表-1に分析結果を示す。採取した試料は、炭化物、木片、土壌の3種類であった。700年代が1箇所、1300年代が3箇所、1400年代が1箇所、1500年代が1箇所、1700年

表-1 試料分析結果

試料が採取できた10箇所の分析結果を示す。このうち2箇所については紀元前23000年、29000年と古い年代が測定されたが、8箇所の試料分析結果から概ね100～200年に1度の頻度で深層崩壊が発生している可能性が示された。

箇所名	試料採取場所	崩壊跡地分類 (全て堆積物有り)	地質帯	試料状況	2 σ 最大・最小値暦年較正年代を利用した採用年代	
					採用年代 (1950年-calBP)	概略年代
T-1	野迫川村今井	滑落崖明瞭	中・古生代	炭化物	AD1,677～1,776	AD1,727
T-3	五條市大塔町辻堂	滑落崖明瞭	中・古生代	木片	AD1,680～1,764	AD1,722
T-8	十津川村上野地	滑落崖明瞭	中・古生代	炭化物	AD695～881	AD788
S-4	田辺市本宮町静川	滑落崖明瞭	中・古生代	炭化物	AD1,287～1,394	AD1,341
A-2	高野町相ノ浦	滑落崖明瞭	中・古生代	炭化物	AD1,299～1,409	AD1,354
HD-4	龍神村柳瀬	滑落崖明瞭	中・古生代	炭化物	AD1,446～1,623	AD1,535
HK-1	中辺路町大内川	滑落崖明瞭	古第三紀	炭化物	AD1,416～1,449	AD1,433
HK-3	白浜町市鹿野	滑落崖明瞭	古第三紀	炭化物	AD1,282～1,391	AD1,337
A-3	かつらぎ町花園北寺	滑落崖不明瞭	中・古生代	土壌	BC29,625～29,209	BC29,000
HK-2	中辺路町大内川	滑落崖不明瞭	古第三紀	土壌	BC23,612～23,176	BC23,000

表-2 年代測定結果と既往文献による災害の対比

年代測定結果と既往文献による過去の災害との対比の結果、今回の年代測定結果の範囲で災害が発生していることが分かる

箇所名	2 σ 最大・最小値暦年較正年代		既往文献との対比
	採用年代	概略年代	
A-3	BC29625～29209	BC29000	
HK-2	BC23612～23176	BC23000	
T-8	AD695～881	AD788	775年、宝亀6年東海暴風雨 778年、宝亀9年洪水
HK-3	AD1282～1391	AD1337	1230年、寛喜2年、豪雨 1301年、正安3年、豪雨 1324年、元亨4年、洛中暴風雨 (100年来の大洪水)
S-4	AD1287～1394	AD1341	
A-2	AD1299～1409	AD1354	
HK-1	AD1416～1449	AD1433	1442年、嘉吉2年、紀伊国風雨
HD-4	AD1446～1623	AD1535	1487年、長享元年、洪水 1540年、天文9年、暴風雨 1557年、弘治3年、暴風雨 1606年、慶長11年、洪水 1612年、慶長17年、9月暴風雨 1614年、慶長11年、洪水 1618年、元和4年、暴風雨
T-1	AD1677～1776	AD1727	1693年、元禄6年7、8月、暴風雨 1713年、1742年、1754年、1756年、1763年、1764年、1765年、1768年、 1772年、1781年(以上、暴風雨・洪水) 1788年、天明8年7月17日、豪雨洪水
T-3	AD1680～1764	AD1722	

代が2箇所見られた。先述の通り、紀伊山地では1889年および2011年に深層崩壊が発生している。これらのことから概ね100年～200年に1度の頻度で深層崩壊が発生している可能性がある。

既往文献による過去の災害との対比^(例えば4)について表-2に示す。その結果、年代測定で算出された年代の範囲内で複数の災害が発生していた記録が残されている。ここで測定された年代は暦年較正年代の2 σ の幅を持って示しており、特定の災害で発生したとは言えないため、該当する災害は可能な限り示している。

4. 考察

(1) 試料採取方法について

結果を基に作業フローを図-6に示す。まず事前調査としてLPデータを利用した微地形判読により崩壊堆積物が残存していると考えられる箇所の抽出を行う。この時、可能な限り明瞭な滑落崖を有する崩壊地を抽出し、現地調査のアクセスが可能であるかを検討する。試料の採取には今回使用したようなサンプラーを活用することが有効である。土壌表面は風化で炭化物が流出するため、堆積物の内部から、必要な量を確保出来る。

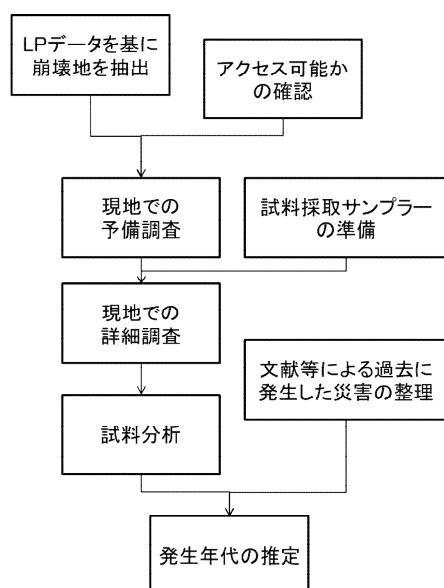


図-6 深層崩壊発生頻度調査フロー

なお、不明瞭な滑落崖を有する崩壊地から採取した試料は紀元前の測定結果を示した。このことは滑落崖が不明瞭な崩壊堆積物は崩壊の発生年代が極めて古い可能性を示す。また崩壊堆積物の中心部よりも、上部および下部から炭化物が採取できることが多かった。これは崩壊の移動土塊が岩塊のまま流下している場合が多く、崩壊の中心部では炭化物となりうる樹木等を取り込むことが出来なかったからと考えられる。さらに河道閉塞跡は、周辺に水中堆積物が存在する場合があります。炭化物や埋没木が良好な状態で残存していることが多い。一方で、河川構造物など人工構造物周辺は盛土や土砂の埋め戻し土は固結しており、古い崩壊堆積物と誤認する場合があるので、試料の探索には適さない。

(2) 年代測定結果について

紀伊山地では概ね100～200年程度の頻度で深層崩壊が発生していることが分析結果から示された。これらの結果は既往文献の整理による過去に発生した災害の発生年代とも整合的である。ここで近年においては1889年十津川災害、1953年有田川水害、2011年紀伊半島大水害と概ね数十年程度の頻度と考えることもでき、深層崩壊の発生頻度が高まっている可能性がある。

5. まとめ

(1) 深層崩壊発生頻度調査フローの構築

調査フローによれば、広大な範囲を対象として調査を実施した場合でも、LPによる事前調査やサンプラーを活用することで比較的簡便に試料採取を行えると考えられる。一方で、地域を代表できる調査箇所の選定方法については、今後さらなる検討が必要である。

(2) 紀伊山地における深層崩壊発生頻度について

紀伊山地では概ね100～200年程度の間隔で深層崩壊が発生している可能性があることが示され、既往文献に基づいて整理した過去の災害発生状況との整合的であった。しかし、試料採取箇所は限定的であり、測定年代には幅があるため特定の災害で発生したとは判断できない。また当該地域は大規模な地震が過去に複数回発生している。そのため地震と深層崩壊発生についても整理する必要があると考えられる。今後も試料を収集し、測定年代の精度を上げる必要がある。

謝辞：徳島大学大学院社会産業理工学研究部西山准教授には炭素年代測定法に関する調査について丁寧にご指導いただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 松村和樹, 藤田正治, 山田孝, 権田豊, 沼本晋也, 堤大三, 中谷加奈, 今泉文寿, 島田徹, 海堀正博, 鈴木浩二, 徳永博, 柏原佳明, 長野英二, 横山修, 鈴木拓郎, 武澤永純, 大野亮一, 長山孝彦, 池島剛, 土屋智: 2011年9月台風12号による紀伊半島で発生した土砂災害, 砂防学会誌, Vol.64, No.5, pp.45-53, 2012.
- 2) 蒲原潤一, 内田太郎: 深層崩壊対策技術に関する基本的事項, 国総研資料第807号, 2014.
- 3) 蒲田文雄, 小林芳正: 十津川水害と北海道移住 シリーズ日本の歴史災害2, 古今書院, 2006
- 4) 井上公夫: 歴史的な大規模土砂災害地点を歩く, 丸源書店, 2018
- 5) 清水収, 畑中健志: 深層崩壊発生危険地におけるテフクロノロジーによる斜面変動履歴の解明-宮崎県鰐塚山の2005年崩壊地周辺-, 砂防学会誌, Vol.63, No.2, pp.12-19, 2010.
- 6) Hafeza AKTHER, Etsuro SHIMOKAWA, Yuki Yoshi TERAMOTO, Takashi JITOUSONO: Geomorphological features and prediction of potential sites for deep-seated landslides on Wanitsuka Mountain, Miyazaki Prefecture, Japan, 砂防学会誌, Vol.63, No.5, pp.14-21, 2010.
- 7) 西山賢一, 若月強: 日本の山地斜面における豪雨に起因した斜面崩壊・土石流の発生頻度, 応用地質, Vol.55, No.6, pp.325-333, 2015.
- 8) Paula J Reimer, Edouard Bard, Alex Bayliss, J Warren Beck: IntCal13 and Marine 13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0-50,000 Years cal BP, Radiocarbon, vol.55, issue 4, pp.1869-1887, 2013
- 9) Bronk Ramsey, C., Scott, E.M., van der Plicht, Johannes, Reimer, Paula J.: Calibration for Archaeological and Environmental Terrestrial Samples in the Time Range 26-50 ka cal BP, vol.55, issue 4, pp.2021-2027, 2013

(2019. 4. 2受付)