

3. 5 屏風山・恵那山-猿投山断層帯（赤河断層帯）の調査

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 屏風山・恵那山-猿投山断層帯（赤河断層帯）の調査

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人 産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門	主任研究員	吾妻 崇
国立大学法人 富山大学	准教授	安江健一

(c) 業務の目的

屏風山・恵那山-猿投山断層帯（赤河断層帯）（以下、「赤河断層帯」と略す）は、岐阜県加茂郡白川町から恵那市に至る北西－南東方向に伸びる長さ約 23 km の南西側隆起で左横ずれ成分を伴う活断層であり、赤河断層、権現山断層、中野方北方の断層からなる（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2004）。長期評価では平均変位速度、最新活動時期、平均活動間隔のいずれの情報も得られておらず、将来の地震発生確率が算出されていない。本研究では、赤河断層帯の南東部において UAV（ドローン）を用いたレーザー測量を実施して詳細なデジタル標高モデルを作成し、詳細な断層変位地形に関する検討を行う。また、ボーリング調査及びトレンチ調査を実施して、赤河断層帯の断層活動履歴に関する情報を取得する。さらに、断層運動による水系の屈曲量（D）と活断層よりも上流の長さ（L）を計測し、産業技術総合研究所（2021）が示した中国地方における横ずれ断層の平均変位速度の評価手法の検証を試みる。

(d) 年度毎の実施業務の要約

1) 令和 5 年度

赤河断層帯に関する既往研究を収集し、同断層に関するこれまでの研究成果を整理する。赤河断層帯の南東部において、UAV を用いたレーザー測量とボーリング調査を実施し、次年度に実施する活断層調査の実施地点の検討を行う。

2) 令和 6 年度

赤河断層帯の断層活動履歴に関する情報を充実させるため、トレンチ調査等を実施する。また、横ずれ変位を受けた水系について、水系の屈曲量と上流の長さを計測して水系の屈曲量（D : m） / 上流の長さ（L : m）の値（ α ）を算出し、横ずれ成分の平均変位速度が既知の中部地方に分布する活断層の事例を参照した係数 k の値を用いて、赤河断層帯の平均変位速度を検討する。

(2) 令和5年度の成果

(a) 業務の要約

赤河断層帯は、岐阜県東部に位置する北西－南東走向で長さ約23 kmの南西側隆起で左横ずれ成分を伴う断層帯であり、赤河断層、権現山断層、中野方北方の断層からなる(図1；地震調査研究推進本部地震調査委員会，2004)。この活断層および地形・地質に関する既往研究を収集し、赤河断層帯に関するこれまでの研究成果を整理した。また、赤河断層の南東部(図2)においてUAVを用いたレーザー測量を実施し、断層変位地形の分布と形態について検討を行った。さらに、同地域においてボーリング調査を実施し、採取された試料の年代測定を行なった。

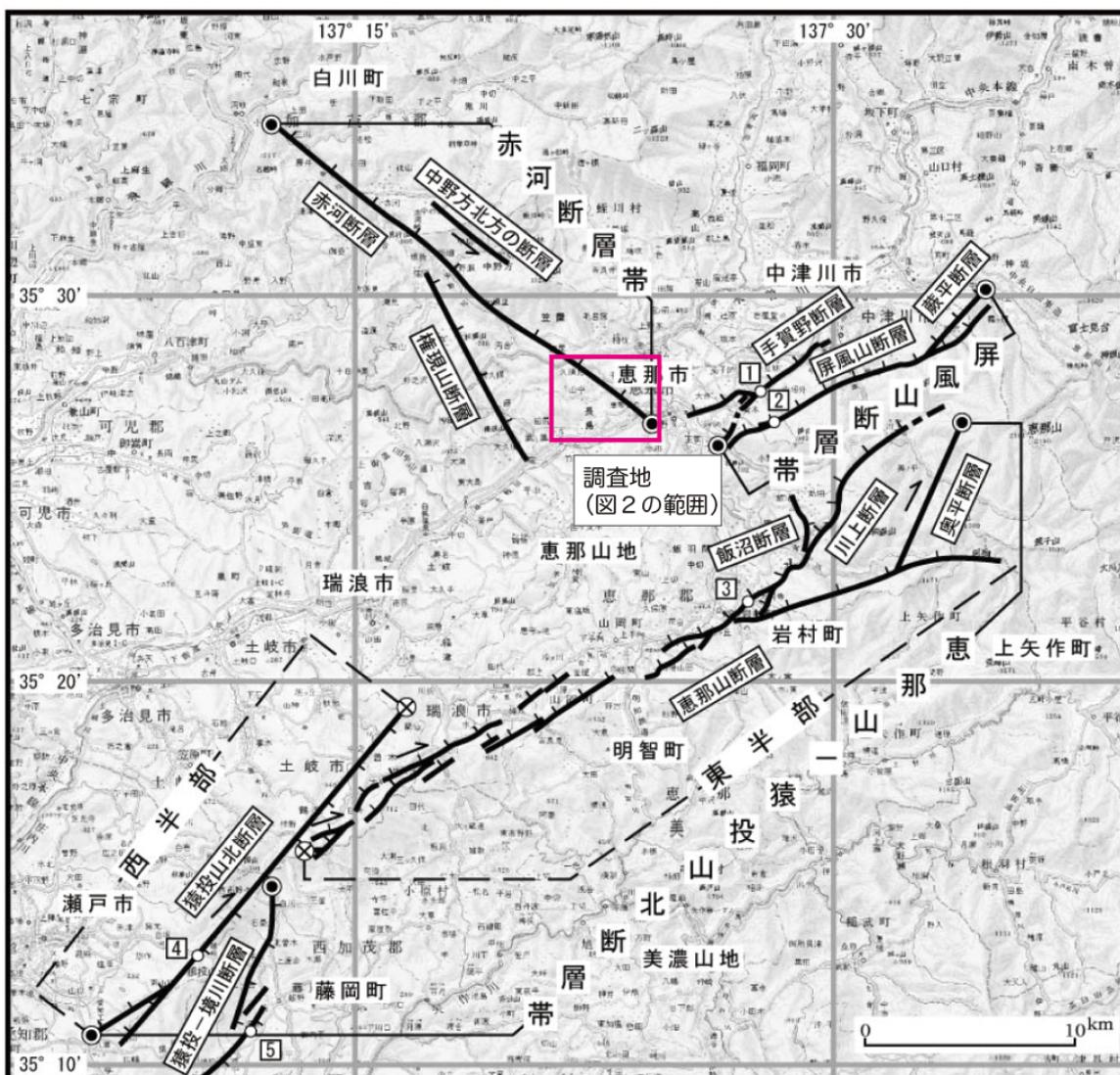


図1 赤河断層帯の位置 (地震調査研究推進本部地震調査委員会，2004)

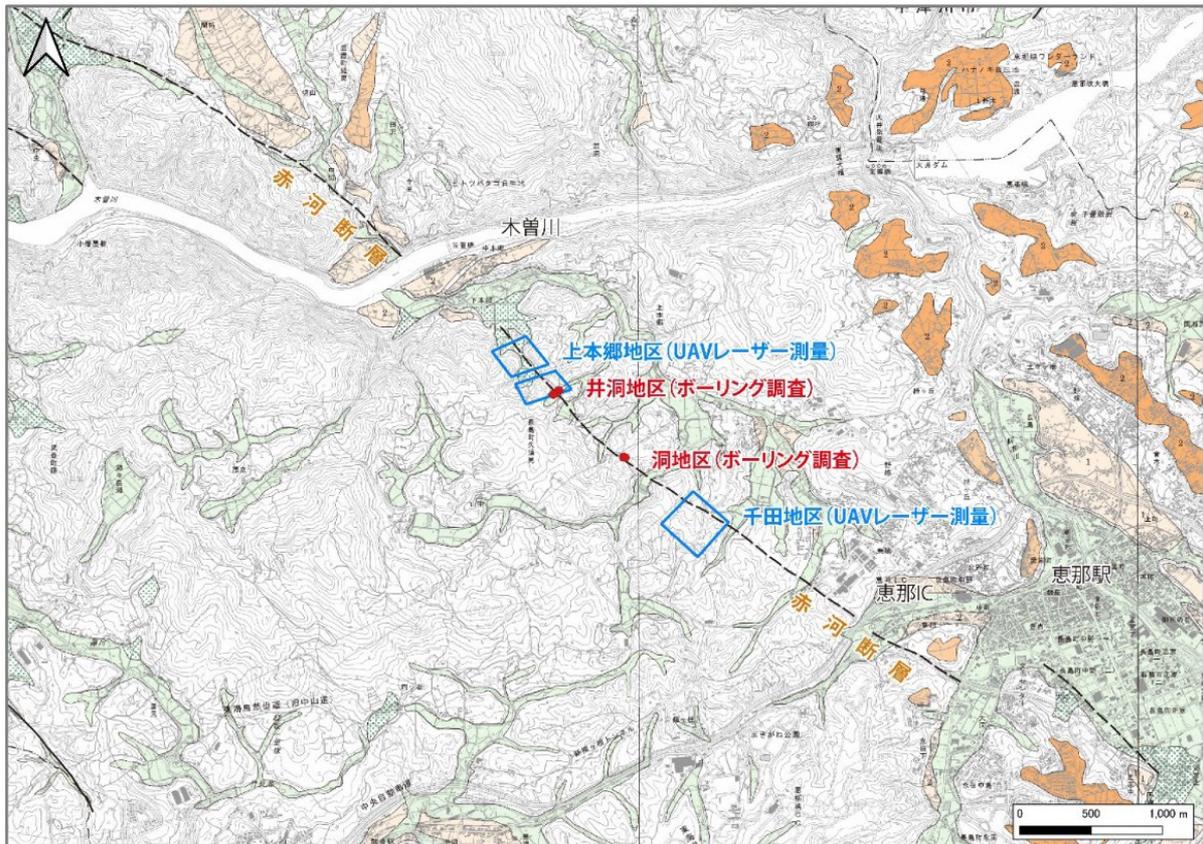


図2 令和5年度に赤河断層帯で実施した調査の位置図

(b) 業務の実施方法

1) 既往研究の整理

赤河断層帯に関する既往研究を収集し、同断層帯に関するこれまでの研究成果を整理する。

2) 航空レーザー測量

赤河断層帯を構成する活断層のうち、赤河断層の南西部において、UAV を用いたレーザー測量を実施し、詳細なデジタル標高モデルを作成する。

3) ボーリング調査

赤河断層帯を構成する活断層のうち、赤河断層の南西部においてボーリング調査を実施し、水系における堆積物の厚さや層相を確認する。

4) 年代測定

ボーリング調査によって採取された試料について年代測定を実施し、横ずれ変位を受けている水系の形成年代の検討を行う。

(c) 業務の成果

1) 既往研究の整理

赤河断層帯を構成する活断層のうち、赤河断層については、河田（1961）が5万分の1地質図の解説書において花崗岩と流紋岩を切る断層として記載し、赤河峠周辺における同断層の位置を図示した。木曾（1963）は、赤河断層と権現山断層について、恵那盆地の西縁を限る南西上がりの断層として記載した。活断層研究会編（1980）は、「飯田」に赤河断層、権現山断層、中野方北方の断層を確実度Ⅰ～Ⅱの活断層として図示し、それぞれの長さ、走向、変位形態、変位基準を記載した。森山（1987）は木曾川・矢作川流域の地形と地殻変動を論じ、この地域に分布する活断層の特性を整理した。活断層研究会編（1991）は、権現山断層の形状を変更した。水谷・小井戸（1992）は赤河断層について恵那市市街地付近から北西方へ20km以上にわたり続く断層とし、その北西部の約7kmの区間を図示した。地震調査研究推進本部地震調査委員会（2004）は、屏風山・恵那山断層帯および猿投山断層帯を構成する活断層を構成する断層帯として赤河断層帯を示し、長さ約23kmの南西側隆起で左横ずれ成分を伴う活断層として評価している。岡田・他（2006）は恵那市中野方町伊勢後付近から加茂郡白川町赤河付近にかけて分布する推定活断層として赤河断層を図示している。鈴木・杉戸（2010）は岐阜県の詳細な活断層図を作成し、赤河断層について長さ22kmで南西側隆起の縦ずれ運動を主体とする推定活断層であるが、最近約10万年間の活動を示す証拠は見つかっていないことを示した。宮内・他（2017）は、岡田・他（2006）が図示した赤河断層の南東延長にあたる推定活断層を恵那市大井町付近から中野方町伊勢後付近に図示しているが、その名称は記していない。また、宮内・他（2017）は既往文献による権現山断層とほぼ同じ位置に推定活断層を図示しているが、これについても名称は記していない。

2) 航空レーザー測量

赤河断層帯のうち赤河断層の南東部の2地区（千田地区、上本郷地区：図2）でUAVを用いて航空レーザー測量を実施し、詳細デジタル標高データを作成した。

千田地区においては、宮内・他（2017）が推定活断層の存在を示した位置よりも南西側に活断層が存在する可能性があるため、詳細な地形データを作成して検討を行った（図3）。レーザー測量の計測面積は約110,000 m²、点群密度は574点/m²である。

上本郷地区においては、水系の左屈曲と鞍部の地形を詳細に検討するため、詳細な地形データを作成して検討を行った。計測範囲に高圧線が存在していたため、北部と南部に分けてレーザー測量を行い、計測結果を統合して詳細地形データを作成した（図4）。レーザー測量の計測面積は、北部が約58,000 m²、点群密度は689点/m²、南部が約52,000 m²、点群密度は689点/m²である。なお、上本郷地区の南部にはボーリング調査を実施した井洞地区の一部が含まれているため、ボーリング調査結果の地形地質断面の作成において、レーザー測量の結果を用いた。

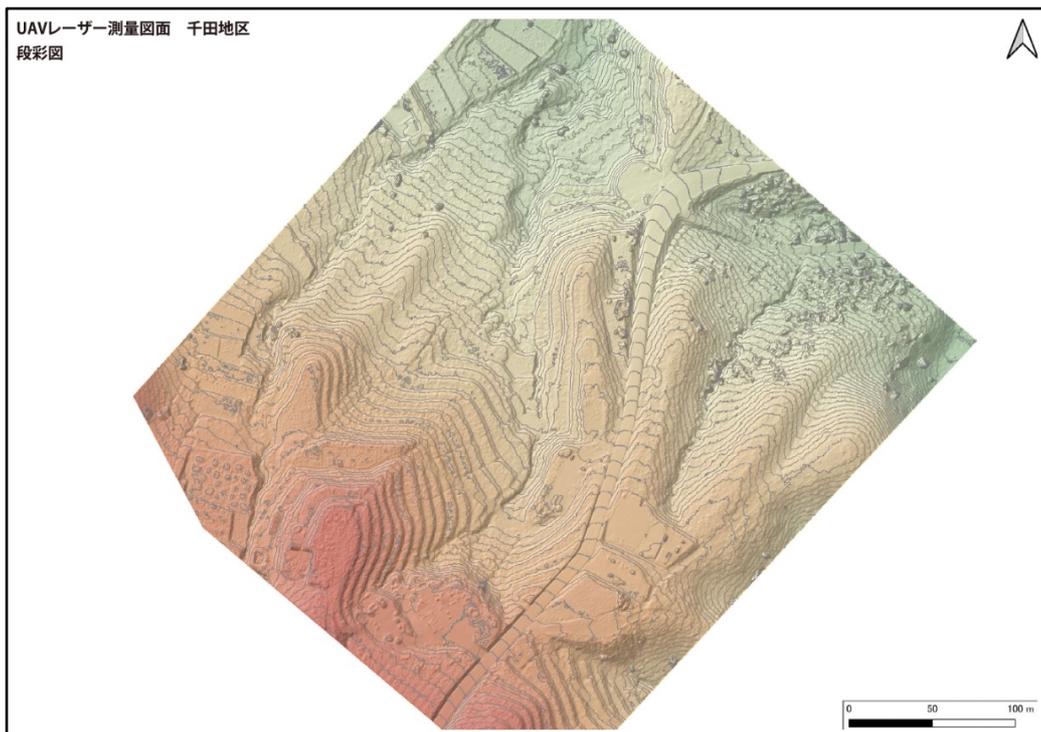


図 3 赤河断層南東部千田地区の段彩陰影図

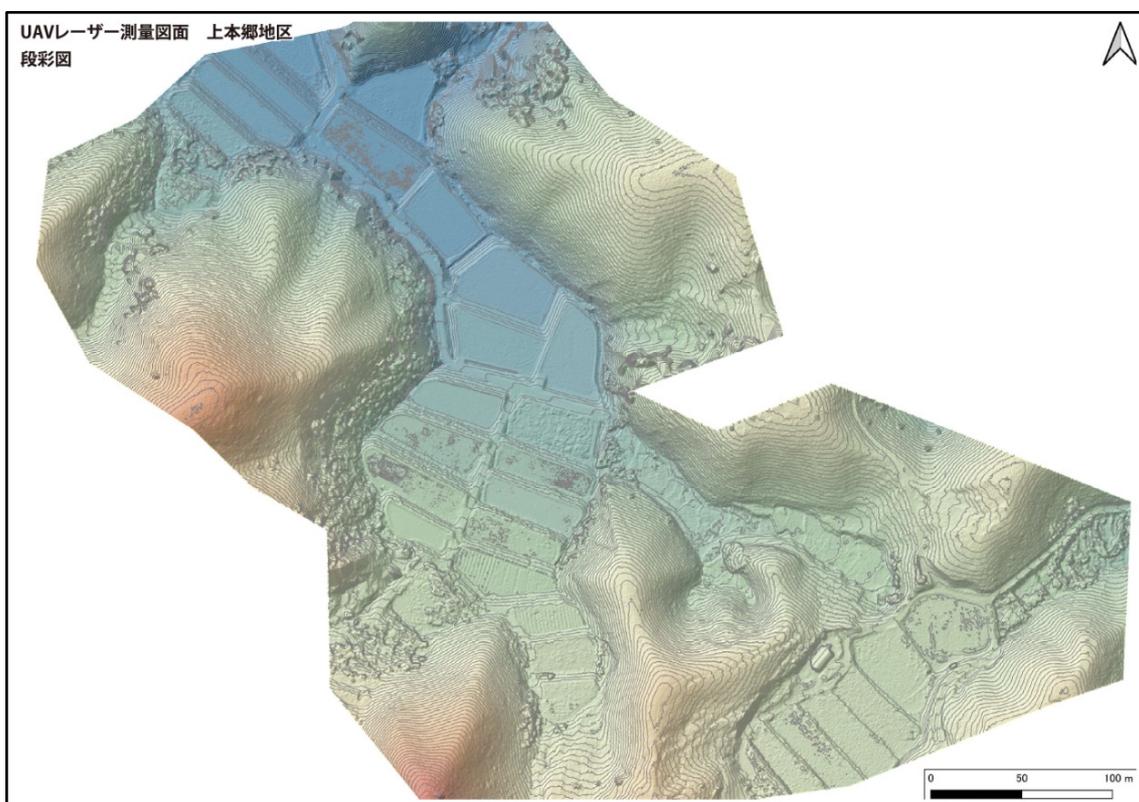


図 4 赤河断層南東部上本郷地区の段彩陰影図

3) ボーリング調査

赤河断層帯の活動により左横ずれの変位を受けていると推定される水系についてボーリング調査を実施し、掘削したボーリングコアから採取した試料の年代を測定した。掘削地点は、恵那市長島町久須見の洞地区と井洞地区である。洞地区で2孔（HRA-1、HRA-2）、井洞地区で3孔（IBR-1～IBR-3）のボーリングを掘削した（図5）。掘削深度はHRA-1が9 m、HRA-2が5 m、IBR-1が8 m、IBR-2が9 m、IBR-3が9 mである。

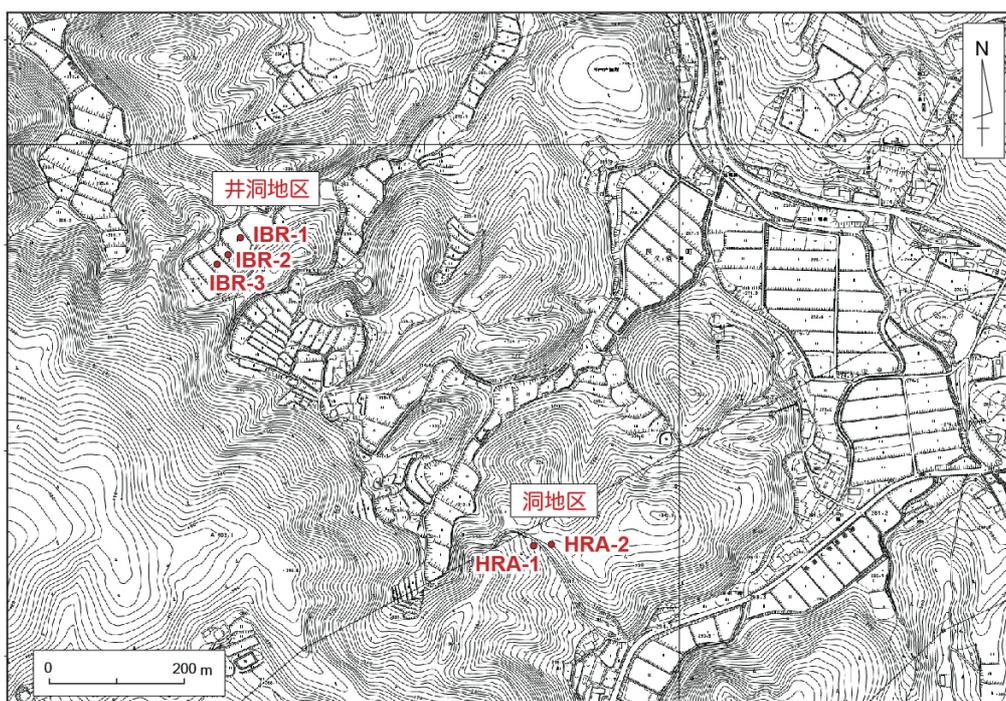


図5 赤河断層南東部で実施したボーリング調査の掘削位置
基図には恵那市が発行する恵那市白図（2,500分の1）を使用した。

【HRA-1】（図6）

深度0.00-0.14 mは、砂礫混じり粘土からなる黒色の表土である。

深度0.14-2.21 mには、淡褐色～黒褐色の砂礫まじり粘土が分布する。粗粒砂や細礫、炭化物を含み、淘汰が悪い。含水比が高く、軟質である。深度1.00-1.60 m及び深度1.78-2.21mは、腐植質で炭化物を多く含む。深度2.20 m付近には径40 mm程度の岩片を含む。

深度2.21-6.00 mには、淡緑色のシルト混じり砂が分布する。粗粒砂～細礫を含み、不均質である。下位に向かって粒径が粗くなり、深度5.00 m以深では、径5-20mmの岩片をまばらに含む。全体的に未固結で、指圧でわずかに凹む程度の硬さである。

深度6.00-9.00 mには、淡緑灰色～褐色の凝灰角礫岩が分布する。濃飛流紋岩の溶結凝灰岩である。硬質だが、風化して一部粘土状～砂礫状を呈す。粒径は細粒～中粒を主とし、径5-30 mm程度の扁平状の岩片をまばらに含む。深度6.00～6.48mは比較的新鮮で硬質であり、深度6.48-7.25 mは風化して一部粘土状～砂礫状になっている。深度7.25-9.00 mでは、高角度の亀裂を含み、全体に酸化色を帯びて、コア表面は砂状を呈す。深度7.25-7.90 m付近は、特に強く酸化する。

HRA-1

(m)



(m)

0	表土	砂礫混じり粘土	1
1		砂礫混じり粘土	2
2	砂礫混じり粘土	花崗閃緑岩（風化）	3
3		花崗閃緑岩（風化）	4
4		花崗閃緑岩（風化）	5
5		花崗閃緑岩（風化）	6
6		花崗閃緑岩（風化）	7
7		花崗閃緑岩（風化）	8
8		花崗閃緑岩（風化）	9

図6 赤河断層帯南東部（恵那市長島町久須見）洞地区で掘削した HRA-1 のボーリングコア写真（上）と層相区分図（下）

【HRA-2】（図 7）

深度 0.00-0.18 m は、砂礫混じり粘土からなる茶褐色の表土である。

深度 0.18-0.71 m には、黒褐色の砂礫混じり粘土が分布する。植物片や径 2-8 mm の礫を含み、不均質である。深度 0.45-0.71 m は腐植質である。

深度 0.71-1.04 m には、茶褐色の砂礫混じり粘土が分布する。黒色の粗粒砂や細礫を含み、不均質である。指圧で凹む程度の硬さである。

深度 1.04-5.00 m には、青灰色を呈する濃飛流紋岩の溶結凝灰岩が分布する。最大粒径 25 mm 程度の岩片を含み、淘汰が悪い。全体に風化しており、酸化色を呈す。コアは棒状だが、ハンマー打撃で崩れる程度に脆く、一部角礫岩状～砂状となる。深度 1.04-3.00 m は、全体に強く酸化しており、コア表面が砂状となる。深度 2.50 m 付近には、高角度の亀裂を含み、白色鉱物が充填する。深度 3.00-5.00 m は、亀裂を多く含み、亀裂に沿って酸化する。また、深度 3.80-4.00 m、4.60-4.75 m、4.90-5.00 m においては、全体的に風化して角礫岩状を呈す。

HRA-2

(m)



(m)

0	表土	砂礫混じり粘土	1
1		凝灰角礫岩	2
2		凝灰角礫岩	3
3		凝灰角礫岩	4
4		凝灰角礫岩	5

図 7 赤河断層帯南東部（恵那市長島町久須見）洞地区で掘削した HRA-2 のボーリングコア写真（上）と層相区分図（下）

【IBR-1】(図8)

深度 0.00-0.16 m は、シルト質砂からなる淡褐色の表土(耕作土)である。やや不均質で、細礫や細かい材片を含む。

深度 0.16-0.70 m には、黄褐色のシルト混じり砂が分布する。深度 0.16-0.43 m では細粒砂主体で比較的均質である。その下位の深度 0.43-0.60 m では、炭化物や細礫、腐植質シルトをまばらに含み、不均質である。深度 0.60-0.70 m では、石英粒を多く含む。

深度 0.70-2.32 m には、砂まじり粘土～砂質シルトが分布する。全体に腐植質で植物片や細礫をまばらに含み、やや不均質である。

深度 2.32-3.28 m には、緑灰色のシルト質砂が分布する。細粒砂～中粒砂を主とし、まばらに細礫を含み、やや不均質である。全体に石英粒を含む。

深度 3.28-4.57 m には、風化花崗閃緑岩の岩片および花崗閃緑岩を起源とする礫混じり砂が分布する。礫は角礫状である。指圧で凹まないが、ハンマー打撃で崩れる程度の脆さである。

深度 4.57-8.00 m には、暗緑色の花崗閃緑岩が分布する。全体に亀裂を含み、風化している。深度 4.57-5.80 m では、強く風化し、部分的に砂礫状となる。深度 5.80-8.00 m では、コアは棒状を呈するが、水平あるいは高角度の亀裂を含み、亀裂に沿って強く酸化する。全体に風化しており、コア表面は砂状である。

【IBR-2】(図9)

深度 0.00-1.76 m は、淡褐色の表土(耕作土)である。細礫や植物片を多く含み、不均質な砂礫混じり粘土からなる。含水比が高く、非常に軟質である。

深度 1.76-3.38 m には、暗褐色の砂礫混じり粘土が分布する。砂、細礫や 1-2 mm の炭化物を含み、不均質である。全体に腐植質である。深度 2.50-2.55 m には、材が存在する。深度 3.00-3.38 m は、細礫をあまり含まず、比較的均質である。

深度 3.38-4.32 m は、褐色の風化花崗岩起源のシルト混じり砂礫である。礫は径 2-15 mm 程度の垂角～角礫状で、不均質である。全体に酸化色を呈し、指圧で容易に崩れる程度の硬さである。

深度 4.32-9.00 m には、褐色～白色の風化花崗閃緑岩が分布する。全体に強く風化し、錆色を呈する。コアは棒状だが、風化してコア表面は砂礫状であり、部分的に粘土状となり、容易に崩れる程度に脆い。深度 6.00-7.20 m 付近は、特に酸化が著しく、強い錆色を呈する。深度 7.85-9.00 m では、コア径大の比較的新鮮な岩片をまばらに含む。

IBR-1



図8 赤河断層帯南東部（恵那市長島町久須見）井洞地区で掘削した IBR-1 のボーリングコア写真（上）と層相区分図（下）

IBR-2

(m)



(m)

0	表土		1
1	表土	砂礫混じり粘土	2
2	砂礫混じり粘土		3
3	砂礫混じり粘土	シルト混じり砂礫	4
4	シルト混じり砂礫	花崗閃緑岩（風化）	5
5	花崗閃緑岩（風化）		6
6	花崗閃緑岩（風化）		7
7	花崗閃緑岩（風化）		8
8	花崗閃緑岩（風化）		9

図9 赤河断層帯南東部（恵那市長島町久須見）井洞地区で掘削した IBR-2 のボーリングコア写真（上）と層相区分図（下）

【IBR-3】(図 10)

深度 0.00-0.20 m は、砂礫混じり粘土からなる褐色の表土である。不均質で非常に軟質である。

深度 0.20-1.68 m には、淡褐色のシルト混じり砂が分布する。植物片や細礫を多量に含み、不均質な砂礫混じり粘土を含む。深度 0.20-0.50 m は茶褐色を呈し、深度 0.50-1.60 m は淡褐色で緑色を帯びる。

深度 1.68-3.31 m には、暗褐色の粘土混じり砂が分布する。砂は細粒砂主体で比較的均質である。植物片や材片、細礫を含み、全体的に腐植質である。

深度 3.31-4.03 m には、淡緑色のシルト混じり砂礫が分布する。砂は花崗閃緑岩起源で白色の粗粒砂～極粗粒砂を主とする。径 2-5 mm の岩片をまばらに含み、不均質である。シルトは淡緑色を呈する。

深度 4.03-9.00 m には、褐色の風化花崗閃緑岩が分布する。全体に強く酸化し、錆色で一部砂状～砂礫状となる。指圧で崩れる程度に脆く、岩片は軟質である。深度 4.03-4.25 m では、比較的新鮮な岩片が見られ、暗緑色を呈する。深度 4.40-4.60 m 及び深度 5.32-5.60 m では、風化が著しく、砂状を呈する。

(4) 年代測定 (表 1)

ボーリングコアから採取した試料 (6 試料) について、AMS 法による放射性炭素年代測定を行った。年代測定については、株式会社地球科学研究所に測定を依頼した。

HRA-1 の深度 2.10-2.15 m から採取した腐植質シルトについて年代測定を実施した。得られた年代は、暦年校正した 2σ の値で、905-698 cal. BP の範囲である。

HRA-2 の深度 0.65-0.70 m から採取した腐植質シルトについて年代測定を実施した。得られた年代は、暦年校正した 2σ の値で、3,383-3,227 cal. BP の範囲である。

IBR-1 の深度 2.25-2.30 m から採取した腐植質シルトについて年代測定を実施した。得られた年代は、暦年校正した 2σ の値で、1,379-1,299 cal. BP の範囲である。

IBR-2 では、深度 2.50-2.55 m から採取した材と、深度 3.28-3.33 m から採取した腐植質シルトについて年代測定を実施した。得られた年代は、暦年校正した 2σ の値で、上位の材は 915-740 cal. BP、下位の腐植質シルトは 3,455-3,355 cal. BP の範囲である。

IBR-3 の深度 3.25-3.30 m から採取した腐植質シルトについて年代測定を実施した。得られた年代は、暦年校正した 2σ の値で、1,467-1,306 cal. BP の範囲である。

洞地区の 2 地点で掘削したボーリングの柱状図を、標高を合わせて並べ、年代測定結果を示した図を図 11 に示した。また、井洞地区で掘削したボーリング 3 孔の柱状図に地形断面図に重ね、年代測定結果を示した図を図 12 に示した。

IBR-3



0	表土	シルト混じり砂	1
1	シルト混じり砂	粘土混じり砂	2
2	粘土混じり砂		3
3	粘土混じり砂	シルト混じり砂礫	4
4	花崗閃緑岩（風化）		5
5	花崗閃緑岩（風化）		6
6	花崗閃緑岩（風化）		7
7	花崗閃緑岩（風化）		8
8	花崗閃緑岩（風化）		9

図 10 赤河断層帯南東部（恵那市長島町久須見）井洞地区で掘削した IBR-3 のボーリングコア写真（上）と層相区分図（下）

表 1 令和 5 年度に実施した赤河断層帯の調査で採取した試料の年代測定結果
 暦年代 (cal. BP) は Ramsey (2009) に従い、Intcal20 (Reimer et al., 2020) を用いて算出した。

試料名 (試料採取深度)	Labo 番号 (Geo ID)	試料種類	前処理	Measured Age (BP)	Conventional Age (BP)	$\delta^{13}\text{C}$	cal BP (2 σ)
AKO_HRA-1_C1 (深度 2.10-2.15 m)	Beta-68355 (690803)	organic sediment	acid washes	900 ± 30	880 ± 30	-26.09	905 - 865 (16.9%) 858 - 846 (1.6%) 830 - 722 (76.5%) 702 - 698 (0.4%)
AKO_HRA-2_C1 (深度 0.65-0.70 m)	Beta-68356 (690804)	organic sediment	acid washes	3,120 ± 30	3,100 ± 30	-26.05	3,383 - 3,227 (95.4%)
AKO_IBR-1_C1 (深度 2.25-2.30 m)	Beta-68357 (690805)	organic sediment	acid washes	1,430 ± 30	1,450 ± 30	-23.86	1,379 - 1,299 (95.4%)
AKO_IBR-2_C1 (深度 3.28-3.33 m)	Beta-68358 (690806)	organic sediment	acid washes	3,180 ± 30	3,180 ± 30	-24.79	3,455 - 3,355 (95.4%)
AKO_IBR-2_C2 (深度 2.50-2.55 m)	Beta-68359 (690807)	wood	acid/alkali/acid	940 ± 30	920 ± 30	-26.32	915 - 770 (88.5%) 762 - 740 (6.9%)
AKO_IBR-3_C1 (深度 3.25-3.30 m)	Beta-68360 (690808)	organic sediment	acid washes	1,540 ± 30	1,500 ± 30	-27.17	1,467 - 1,460 (0.9%) 1,414 - 1,306 (94.5%)

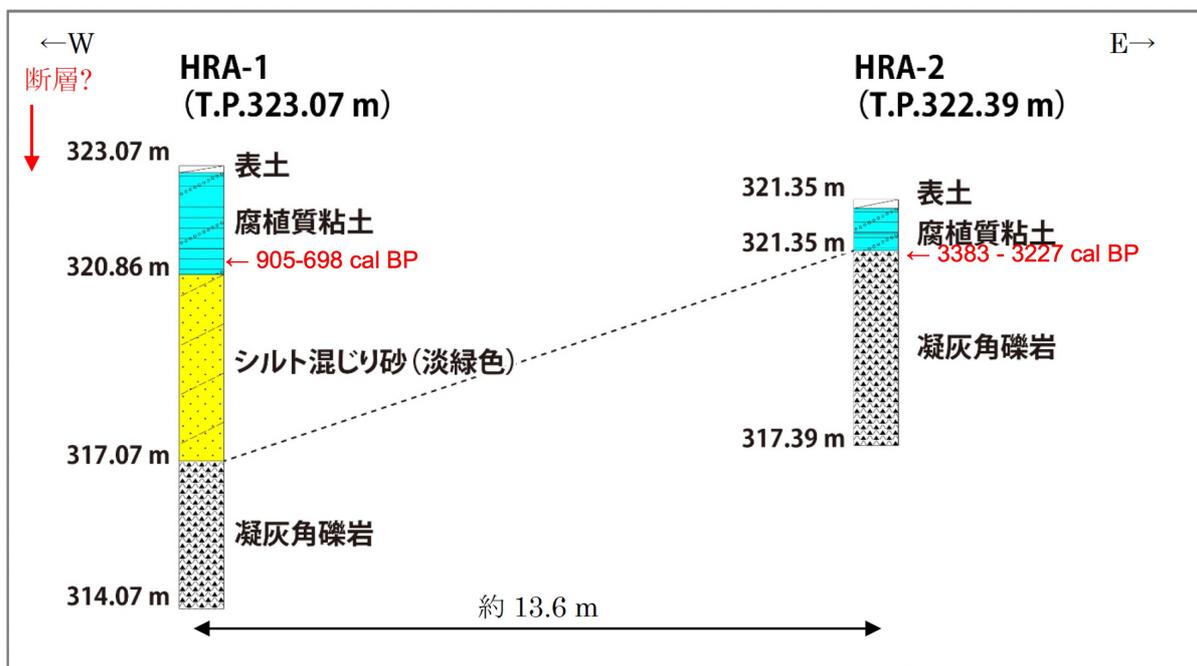


図 11 赤河断層帯南東部 (恵那市長島町久須見) 洞地区で掘削したボーリングの柱状図と年代測定結果

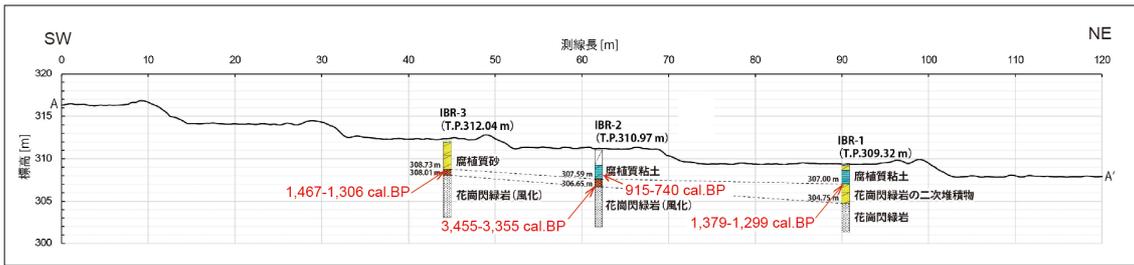


図 12 赤河断層帯南東部恵那市長島町久須見井洞地区で掘削したボーリングの柱状図と年代測定結果

(d) 結論ならびに今後の課題

赤河断層帯を構成する活断層（赤河断層，権現山断層，中野方北方の断層）について、既往文献を調査し、それぞれの活断層の特性について確認した。これらの活断層のうち、赤河断層の南東部（恵那市長島町久須見）において、UAV を用いたレーザー測量（千田地区、上本郷地区）を実施し、詳細な断層変位地形の抽出を行った。また、ボーリング調査（洞地区、井洞地区）を実施し、横ずれを示す水系の堆積物の厚さと層相を確認した。さらにボーリング調査によって採取された試料について放射性炭素年代測定を実施し、水系における堆積物の堆積開始時期について検討した。その結果、洞地区において左横ずれ変位したことが推定される 2 本の水系のうち、北西側の水系の堆積物の基底付近で採取された腐植質シルトから 905-698 cal.BP (HRA-1) の年代が、南東側の水系の堆積物の基底付近で採取された腐植質シルトから 3,383-3,227 cal.BP (HRA-2) の年代が、それぞれ得られた。一方、井洞地区の水系の堆積物に含まれる材から 915-740 cal.BP の年代が、堆積物の基底付近から採取された腐植質シルトから 1,379-1,299 cal.BP (IBR-1)、3,455-3,355 cal.BP (IBR-2)、1,467-1,306 cal.BP (IBR-3) の年代が得られた。

令和 6 年度には、今年度を実施した調査の結果を踏まえつつ、トレンチ掘削調査を実施し、赤河断層帯の活動時期について詳細な検討を実施する予定である。

(e) 引用文献

地震調査研究推進本部地震調査委員会，屏風山・恵那山断層帯及び猿投山断層帯の長期評価，51p，2004。

活断層研究会編，日本の活断層-分布図と資料-，東京大学出版会，363p，1980。

活断層研究会編，新編日本の活断層-分布図と資料-，東京大学出版会，437p，1991。

河田清雄，5 万分の 1 地質図幅解説書「付知」，地質調査所，81p，1961

木曾敏行，木曾川流域の地形発達．地理学評論，36，87-109，1963。

宮内崇裕・岡田篤正・杉戸信彦・鈴木康弘・吉田英嗣，1:25,000 都市圏活断層図 屏風山・恵那山断層帯及び猿投山断層帯とその周辺「恵那」．国土地理院技術資料 D1-No.758，2017。

水谷伸治郎・小井土由光，金山地域の地質．地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅），地質調査所，111p，1992。

- 森山昭雄, 木曾川・矢作川流域の地形と地殻変動. 地理学評論, 60, 67-92, 1987.
- 岡田篤正・澤 祥・後藤秀昭・熊原康博・越後智雄・池田安隆, 1:25,000 都市圏活断層図 阿寺断層とその周辺「白川」. 国土地理院技術資料 D・1-No.458, 2006.
- Ramsey, C.B., Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360, 2009.
- Reimer, P.J., Austin, W.E.N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., Manning, S.W., Muscheler, R., Palmer, J.G., Pearson, C., van der Plicht, J., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Turney, C.S.M., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, u., Capano, M., Fahrni, S.M., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Reinig, F., Sakamoto, M., Sookdeo, A. and Talamo, S., The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kBP), Radiocarbon 62(4), 725-757, 2020.
- 産業技術総合研究所, 活断層評価の高度化・効率化のための調査 令和2年度成果報告書, 250p, 2021.
- 鈴木康弘・杉戸信彦, 1:25,000 岐阜県活断層図解説書. 岐阜県, 104p, 2010.