縞状堆積物に認められる土石流堆積物と層内褶曲

—土石流発生と内陸地震の周期を探る—

川上 紳一^{*1}・金折 裕司^{*2}・荒川 崇史^{*1}・長屋 啓子^{*3}・長谷川 ゆか^{*4}

Debris Flow Deposits and Minor Folds in Rhythmical Lacustrine Sediments

—Implications for Cyclic Debris Flows and Inland Earthquakes—

Shin-ichi KAWAKAMI^{*1}, Yuji KANAORI^{*2}, Takafumi ARAKAWA^{*1},
Keiko NAGAYA^{*3} and Yuka HASEGAWA^{*4}

Abstract

Four debris flow deposits and many intraformational folds were found in the late Pleistocene Takigoshi lacustrine sediments near the Ontake volcano, central Japan. The debris flow deposits have been regarded to be supplied from a large slope failure around the Kamikurosawa valley, which is identified in the present study. The size of the failure is estimated to be comparable with the Denjokuzure, which was caused by the Nagano-kenseibu earthquake on September 14th, 1984. Detailed stratigraphic study of the Takigoshi sediments revealed that debris flows took place three times in 500~2500 years. It is suggested that periodic inland earthquakes generated the debris flows, because a large fraction of historical large-scale debris flows was induced by them and active faults densely occur in central Japan. A brief description of other lacustrine sediments suggests that debris flow deposits and intraformational folds are ubiquitous. It is pointed out that a detailed stratigraphic study of rhythmical sediments provides a significant method for estimating recurrence interval of inland earthquakes.

1. はじめに

中部日本には数多くの活断層が分布している(図-1)。そして、これらの活断層を震源として有史以来たびたび内陸で直下型地震が発生している。最近では、1984年9月14日にマグニチュード6.9の長野県西部地震が発生し、御獄山の南西麓に大崩壊が発生させた。この崩壊は伝上崩れと呼ばれている⁴⁾。この時、大崩壊した物質は土石流(岩屑流)となって伝上川を流下し、十数

名の犠牲者を出したことは記憶に新しい。

このような内陸直下型地震の発生周期を調べることは、地震の予知のみならずそれに誘発される自然災害を未然に防ぐうえでも重要である。御獄山南西麓では、過去にも類似の大規模崩壊が起きたことはあるのだろうか。もし起きていたとしたら、それはどこに記録されているのだろうか。われわれは御獄山南西麓を調査し、滝越北方の上黒沢上流で長野県西部地震で発生した伝上崩れに匹敵する大崩壊の跡を発見した。その下流に分布する滝越湖成層中には土石流堆積物が挟まれ⁵⁾、上記の大崩壊の証拠と考えられる。

従来から、内陸直下型地震の発生周期を調べるための有効な方法として、トレンチ発掘調査が主要な活断層において実施されてきている⁶⁾。この方法では、活断層に直交するトレンチ壁面の地層を調べ、断層運動に伴う表

^{*1} 岐阜大学教育学部地学教室 (Faculty of Education, Gifu University)

^{*2} 岐阜大学教養学部地学研究室 (Faculty of General Education, Gifu University)

^{*3} 岐阜県多治見市共栄小学校 (Kyoei Elementary School)

^{*4} 岐阜県池田中学校 (Ikeda Junior High School)

図-1 中部地方の活断層の分布^{1,2)}と歴史地震³⁾
Tk: 滝越湖成層調査地点, Tg: 立山地獄谷縞状堆積物調査地点, At: 阿多岐層調査地点。

層堆積物の擾乱から地震の発生周期を推定するものである。本論では、(1)滝越湖成層を詳細に調査し、それに挟まれる土石流堆積物や層内変形構造の存在から、大規模崩壊の発生周期を探り、(2)さらに大規模崩壊の原因と内陸地震との関連を考察する。そして、(3)内陸地震の発生周期を調べるうえで、湖成層の層序解析が重要な方法となることを提案する。

2. 地質概説

御嶽山南西麓には、白亜紀後期の濃飛流紋岩類を基盤として、これらを第四紀更新世御嶽火山噴出物が覆っている(図-2)。さらに、白巣峠から北東ないし北北東に流下する白川に沿って、新期崖錐堆積物が堆積している。王滝村滝越周辺には、沖積層が発達している。濁川およびそれとの合流点より下流の王滝川には、随所に1984年の伝上崩れで発生した土石流堆積物が堆積し、この崩壊の規模の大きさを物語っている。

濃飛流紋岩類は一般に灰白色を示し、堅固で緻密である。この流紋岩類中には、NW—SE方向の破碎帯が顕著に認められる。破碎帯は主として角礫から構成され、やや固結している。破碎帯の幅は1~10 m程度のもの

図-2 滝越湖成層の分布と周辺の地質
山田⁷⁾と山田・小林⁸⁾を簡略化したものである。

が多い。

御嶽火山噴出物は、古期と新期の御嶽火山岩類に分けられる(表-1)。滝越湖成層は新期御嶽火山岩類に属し、王滝村滝越周辺と柳ガ瀬東方の小谷沢に分布している。その最上位の標高は約1250 mで、下位は上黒沢河床まで認められ、層厚は170 m以上である。滝越の北では河刻作用によって中央部を削られ、上黒沢の両側斜面にへばりつくように残存している。小谷沢でもこれと同様な分布形状をしている。滝越南の白川沿いでは新期崖錐堆積物に覆われており、この崖錐堆積物が削り取られた場所に局所的に露出している。

3. 崩壊地の概要

上黒沢上流部本谷には、図-2の地質図に示すように、御嶽火山岩類中の下位に基盤の流紋岩類がほぼ円状に露出している。本谷周辺の地質断面図と地形図(図-

表-1 御嶽図幅層序表⁸⁾

地質時代		層 序	岩相 (括弧内は貫入岩)	地 史
新 生 代	第 四 紀	更新世後期 完新世	1984年岩屑なだれ堆積物 (da) 沖 積 層 (a) 岩屑堆積物 (db) 崖錐・崩積堆積物 (tl) 段丘堆積物 (t)	1984年 長野県西部地震 1979年 御嶽山水蒸気爆発
		更新世後期	御嶽火山噴出物 新期御嶽火山岩類 〔ng, nd, kn, jd, ok, od〕 〔ks, mm, ic, yn, sn〕 摩利支天火山群 〔s, y, n, m〕 滝越層 (T) 繼母岳火山群	成層火山群の形成 木曾川上流部に火山性 碎屑物堆積 溶岩円頂丘群の形成 多量の降下軽石 (Pm-Iなど) の噴出とカルデラ生成 古期火山体の侵食
		更新世中期	古期御嶽火山岩類 〔ts, sh, sl, ha, ma, ku〕 〔se, su, nu, mz, mi〕	古期成層火山の形成
	鮮 新 世	後期	鈴蘭高原玄武岩 (B) 丹生川火砕流堆積物 (Ny)	湯ヶ峰デイサイト噴出 阿寺断層系活動開始 上野玄武岩類噴出 乗鞍岳付近で火砕流噴出
		前期		乗鞍岳付近で火砕流噴出
	古第三紀	後期		乗鞍岳付近で火砕流噴出
		中期		乗鞍岳付近で火砕流噴出
		前期		乗鞍岳付近で火砕流噴出
	白 亜 紀	後期	濃飛流紋岩類 ステージⅤの火砕岩類 (V) ステージⅣの火砕岩類 (IV) 黒沢角礫岩層 (K) 白 川 層 (S) ステージⅢの火砕岩類 (Ⅲ ₁ , c, Ⅲ ₂ , Ⅲ ₃) 阿 寺 層 (A) ステージⅡの火砕岩類 (Ⅱ ₁ , Ⅱ ₂ , r, Ⅱ ₃ , Ⅱ ₄)	全般的隆起・侵食
		中期		全般的隆起・侵食
		前期		全般的隆起・侵食
中生代	ジュラ紀	後期	奥リスストローム (ol) 砂岩・泥岩・凝灰質泥岩 (sm) 及び礫岩 (cg)	奥リスストローム (ol) 砂岩・泥岩・凝灰質泥岩 (sm) 及び礫岩 (cg)
		中期		奥リスストローム (ol) 砂岩・泥岩・凝灰質泥岩 (sm) 及び礫岩 (cg)
		前期		奥リスストローム (ol) 砂岩・泥岩・凝灰質泥岩 (sm) 及び礫岩 (cg)
	三疊紀	中・後期	層状チャート (ch) 石灰岩 (ls)	層状チャート (ch) 石灰岩 (ls)
		前期		層状チャート (ch) 石灰岩 (ls)

御嶽火山の活動

山間盆地の形成
と火山活動

珪長質火成作用

美濃帯中生層の堆積
と変形

図-3 上黒沢本谷崩れの地質断面図(右上)と地形図
地形図の範囲は図-2と同じ。この地形図は国土地理院発行5万分の1地形図「加子母」と「御嶽」の一部を使用した。

3) から、その東西および北側の尾根は御嶽火山岩類に覆われ、緩傾斜地となっているのがわかる。一方、本谷との間は標高約1700 m 付近から本谷河床(標高約1450 m)まで急崖が形成されている。この急崖斜面は現在植生に覆われてはいるが、頂部が半月状の形態をなすことから古い滑落崖であると認定できる。ここで過去に崩壊が起きたことが推察される。実際上黒沢本谷と東俣の合流部より少し下流の左岸に崖堆積物が分布することや、後述するように滝越湖成層中に土石流堆積物が介在することは、この地域が崩壊地であることを強く示唆する。ここではこの崩壊地を“上黒沢本谷崩れ”と呼ぶ。

崩壊地の末端を本谷と東俣合流部付近と考えてこの崩壊域を推定すると、比高約350 m, 最大幅約750 m, 奥行き約1400 m となる。この範囲がすべて崩壊に關与し

図-4 滝越湖成層の露頭位置図

たとすると、その崩壊土石量は、約 10^8 m^3 となる。1984年の長野県西部地震で生じた伝上崩れ^{9)~11)}では、崩壊域は比高655 m, 最大幅420 m, 奥行き1320 m とされ、その崩壊土石量は $3.4 \times 10^7 \text{ m}^3$ と報告されている¹²⁾。したがって、上黒沢本谷崩れは、1回の崩壊で形成されたかどうかについては疑問が残るものの、伝上崩れに匹敵するか、もしくはそれ以上の規模を持つものである。

4. 滝越湖成層の分布と性状

滝越湖成層は王滝川と上黒沢合流部周辺および白川流域にかけて分布し、高度1250 m 以下の河川開析の進んだ斜面や林道沿いの切り取り斜面に露出している(図-4)。この滝越湖成層は数 cm のオーダーでリズムカルに互層した粘土質の縞状堆積物を主体とし、上部にいくほどシルト、砂などを多く含むようになる。下部では円礫を主体とする河床堆積物や軽石、パミスなどの火山性堆積物、上部では淘汰の悪い角礫からなる土石流堆積物を含む。層厚は約170 m である。一般に傾斜は 15° 以内で、ほぼ水平である。

滝越湖成層の露頭の位置を図-4に、各露頭での柱状

図-5 各露頭での地質柱状図
露頭位置は図-4に示されている。

図を図-5に示す。Loc. 2-6における数cmのオーダーでリズミカルに互層した粘土質の縞状堆積物を写真-1A, Bに示す。ここでは写真-1Aに示すように、縞状堆積物に挟まれる厚さ約1mの河床堆積物が認められる。この層は濃飛流紋岩類の礫を主体とし、一部御嶽火山岩類の礫を含む。これらの礫は径10cm程度で円磨度は高いが淘汰が悪い。この河床堆積物の上位約5m (Loc. 2-5) から採集した木片の ^{14}C 年代は 30760 ± 770 年 (GaK-14541) であった。

上黒沢の西側を走る林道に沿うLoc. 2-1~2-4では、下位はリズミカルに互層した粘土層が卓越するが、上位ほど砂質になる傾向が認められた。Loc. 2-2では、直径50cm程度の濃飛流紋岩類の亜角礫を含む土石流堆積物 (D4) と付随する層内褶曲が認められた (写真-1C)。写真-1Dには、縞状堆積物中に認められる小断層の例を示す。

滝越地区の北側を走る林道に沿うLoc. 1-1~1-8では、数cmオーダーのリズミカルに互層した粘土層を主体とし、厚さ1~2mの土石流堆積物が3枚認められ

図-6 滝越湖成層の総合柱状図 凡例は図-5と同様。

た (写真-2)。土石流堆積物に伴ってその下盤の縞状堆積物が引きずられて著しく褶曲していることがある (写真-2B, C)。土石流堆積物に含まれる礫は主に濃飛流紋岩類からなり、角礫から亜角礫を示す。Loc. 1-3では、不整合の下位に層内褶曲が認められ、ここでは土石流を伴わない (写真-2D)。Loc. 1-3のD3土石流の下位2mにある上記不整合の直下で採集した木片の ^{14}C 年代を測定し、 30280 ± 1400 年 (GaK-14542) という結果を得た。

調査結果から作成した滝越湖成層の総合柱状図を図-6に示す。この図に示すように、滝越湖成層は標高約1050mから1250mにかけて認められ、リズミカルな湖成堆積物中に厚さ1~2mの土石流堆積物4枚と、2枚の河床堆積物を挟んでいる。標高1060mから1130mまでは層序の欠落がなく、全層準が確認された。

5. 土石流と河床堆積物の周期性

河床堆積物と土石流堆積物の発生周期を調べるため、縦軸に土石流および河床堆積物の厚さを取り、横軸に縞状堆積物の厚さをとって、層厚ダイアグラムを作成した (図-7)。ここでは連続的に層序が確立できた標高1060

写真-1 滝越湖成層の露頭写真

A: 縞状堆積物とそれに挟まれる C1 河床堆積物 (Loc. 2-6)。 B: 縞状堆積物の拡大部 (loc. 2-6)。 C: 縞状堆積物に挟まれる最上位の D4 土石流堆積物 (Loc. 2-2)。 D: やや砂質の縞状堆積物にみられる小断層 (Loc. 2-3)。

m から1130 m までについて図を作成した。この図からわかるように、数 m から20 m の縞状堆積物が堆積すると、下位では河床堆積物が、上位では土石流堆積物が周期性を持って堆積していることがわかる。

これから土石流の発生周期を求めるには、縞状堆積物の堆積速度または縞状組織の成因を調べる必要がある。堆積速度を直接的に求めるには、堆積物の絶対年代を求めればよい。今回求めた滝越湖成層に挟まれる木片の ^{14}C 年代値は3万年以上を示し、精度的に問題がないとは言えないが、これを用いて堆積速度を計算すると12 cm/年となる。この値を用いると約500年の間に3回土石流が発生したことになる。また、 ^{14}C 年代の測定誤差を最大限考慮すると堆積速度は2.4 cm/年となり、この場合には約2500年に3回となる。浜名湖の湖底堆積物では、堆積速度が1.78 cm/年や異常に速い値である30 cm/年が報告されている¹³⁾。堆積時代、堆積相の違い、

図-7 層厚ダイアグラム

図中の記号は図-6 に示された河床堆積物、土石流堆積物に対応する。

写真-2 滝越湖成層の露頭写真。

A: 縞状堆積物とそれに挟まれる D3 土石流堆積物 (Loc. 1-6)。 B: A の中央部の拡大写真 (D3 土石流堆積物直下の縞状堆積物は著しく褶曲していることに注意)。 C: D3 土石流堆積物の先端の縞状堆積物に認められる褶曲 (Loc. 1-3)。 D: 土石流堆積物を伴わない縞状堆積物の層内褶曲 (Loc. 1-3)。褶曲した縞状堆積物を裂くように下位から堆積物が巻き上がっている。この形態は地震時の液状化に伴う噴砂現象によって生じた形態に良く似ている。矢印は不整合面の位置を示す。 E: 縞状堆積物とそれに挟まれる D2 土石流堆積物 (Loc. 1-8)。 F: E の中央部の拡大写真。D2 土石流堆積物の直下の縞状堆積物は、写真 B と比較すると明らかに、あまり褶曲していない。

表-2 16世紀以降に発生した日本の山地の巨大崩壊⁴⁾

崩壊 (県名・河川名)	崩壊年次	誘 因	崩壊物総量 (千万 m ³)	崩土の主 運動様式	到達距 離(km)	崩壊地の地形・地質	災害・影響
大谷崩れ (静岡・安倍川)	1530 ～1702	豪雨・地震	12	土石流	>10	古第三紀層(砂岩・頁岩)の急峻山地	支谷をせき止め、金山集落を埋める。
綿雲崩れ (岐阜・庄川)	1586	地震	1～3	地すべり	3	濃飛流紋岩山地	綿雲城と城下町の埋没。
加奈木崩れ (高知・佐喜浜川)	1746	?	3	土石流	3.5	古第三紀層(砂岩・頁岩)の山地	
眉山 (長崎・島原)	1792	地震、水蒸気爆発、熱水上昇	11～48	岩屑流	6	溶岩円頂丘斜面	島原の半分が埋没、岩屑流入水し大津波が発生。死者1万～1万5000人。
立山大崩れ (富山・常願寺川)	1858	地震	27～41	岩屑流	6	急峻なカルデラ壁(上部溶岩、下部風化した花崗閃緑岩)	二次的土石流が2回発生。30～40 km 流下。
磐梯山 (福島・長瀬川)	1888	水蒸気爆発	150	岩屑流	11	成層火山の峰	村落埋没し、河川せき止め。死者472人。
稗田山 (長野・浦川)	1911	地下水?	15	岩屑流	6	成層火山の峰	村落埋没し、河川せき止め。土石流発生。
御岳伝上崩れ (長野・伝上川)	1984	地震	4	岩屑流	12	成層火山の斜面	死者15人。河川せき止め。

¹⁴C年代の信頼性なども考慮しなければならないが、ここで示した滝越湖成層の堆積速度は、浜名湖での堆積速度とオーダーでは一致している。

ここでの堆積物の縞模様はリズムカルであり、周期的に堆積したことを示唆している。また、層準による岩相変化も小さい。縞模様の成因と堆積周期の解明は今後の課題である。SIMS¹⁴⁾の示した氷縞粘土の場合には、縞模様の数が年数を表している。ここで示した縞模様も同様に年層であると仮定すると、縞模様の間隔から、堆積速度は数 cm/年となる。この値は¹⁴C年代の誤差を最大限考慮して求めた値と一致している。

¹⁴C年代測定結果から推定された堆積速度には、測定精度や木片の再堆積などの問題点が挙げられる。縞状組織の成因を明らかにすることができれば、縞状堆積物の堆積速度の推定値の妥当性を検討できよう。

6. 大規模崩壊の原因としての内陸地震

御嶽南西麓では、1984年の長野県西部地震がきっかけとなって大崩壊が発生した。今回調査した上黒沢本谷の崩壊も、この地震で発生した伝上崩れと同様の規模を持っている。表-2に示すように、わが国に16世紀以降に発生した大規模崩壊の5割以上は地震が誘因である。土石流の発生には台風などによる豪雨、火山噴火も要因として考えられるが、豪雨による土石流の規模はあまり大きくない場合が多い。したがって、上黒沢本谷崩れも長野県西部地震に匹敵する規模の内陸直下型地震に誘発された可能性がある。

滝越湖成層中の土石流堆積物は層厚1～2 m であるが、広範囲に分布しており、内陸直下型地震で発生した

土石流により供給されたと考えられる。一方、滝越湖成層中の層内褶曲は、写真-2Dのように地震時の液状化現象に伴って形成されたと考えられる形態と類似している¹⁶⁾。このような土石流堆積物を伴わない層内褶曲は、震度5以上の地震動によって生じたものであろう。

7. 縞状堆積物の変形の普遍性

縞状堆積物中の土石流堆積物や層内褶曲の存在から、それを発生させたと考えられる内陸地震の周期性を読み取ることを試みた。この方法を広く適用するには、ここで見られたような縞状堆積物に層内褶曲や土石流堆積物を伴う変形が普遍的に認められなくてはならない。以下に他の地域に分布する湖成層にも、上記のような変形構造が普遍的に認められることを指摘する。

立山連峰室堂北方の地獄谷には、立山火山の水蒸気爆発で形成されたカルデラ湖に堆積した、3,000～6,000年前の縞状堆積物が分布する^{17,18)}。写真-3にこの縞状堆積物中に認められた小褶曲とその軸部に発達する小断層を示す。この褶曲や断層の形成原因として、南西約5 kmに位置する跡津川断層の活動の可能性が挙げられる。

岐阜県郡上郡白鳥町阿多岐周辺に分布する湖成層(阿多岐層)は、鮮新世の縞状堆積物である。縞状堆積物中には土石流堆積物を挟み、その下盤の縞状堆積物には、特徴的な引きずり褶曲が認められる⁹⁾(写真-4)。この土石流と褶曲を発生させた原因として、阿多岐層の北東約5 kmに存在する郡上断層の活動で発生した地震が挙げられる。

また、山田・竹内¹⁹⁾は、富山県上新川郡有峰の跡津

写真-3 立山地獄谷縞状硫黄堆積物に認められる小褶曲とその軸部に認められる小断層
褶曲と断層は中央部に認められる黒色シルト層より上位に限られて発達している。

写真-4 阿多岐層の露頭写真

A：傾斜した縞状堆積物に挟まれる土石流堆積物。 B：土石流堆積物直下に認められる著しい褶曲。
BはAの中央左上部を拡大したもの。著しく褶曲した層準とその下位の変形の認められない層準の境界は明瞭である。

川断層周辺に分布する湖成層にも縞状堆積物中に褶曲構造が認められることを報告し、断層運動との関係を考察している。SIMS¹⁴⁾は、米国西海岸の時代の新しい湖成堆積物中の変形構造が地震の再来周期を知る手がかりになることを提案している。

地震予知の観点から、中部日本に分布する多くの活断層でトレンチ発掘が行われ、その断層の活動周期や最終活動時期が明らかにされてきている。人工的なトレンチ掘削では10 m程度の断面で地層を観察するのが一般的である。また、ボーリングによるコア調査では、鉛直方向に連続な試料を採集できるが、水平方向の広がりについては全容を解明することが困難である。ここで述べて

きたように、地表に露出している縞状堆積物では、長期間に堆積した古い堆積物を広い範囲にわたって直接観察することができる。従来の方法とのスケールの違いや経済性を考えると、今後、縞状堆積物を系統的かつ精密に調査することは価値がある。

8. おわりに

縞状堆積物を主体とする淹越湖成層の層序解析を行い、それに認められる堆積学的特徴から、土石流発生イベントの周期を推定する方法を提案した。土石流を発生させた原因は直接明らかにすることはできなかったが、地震による大規模崩壊が有力であると考えられる。類似

の堆積物が、時代の異なる湖成層にも広く認められることから、この方法は、中部日本で起きた直下型地震の発生周期を調べるうえで重要となろう。今後、ここで提示した方法を用いて、多くの事例研究を積み重ねていく予定である。

謝 辞

本研究をすすめるに当たり、環境庁国立公園立山黒部管理官岡本光之氏には現地調査について便宜を図って頂いた。また、本研究には、文部省科学研究補助金 (No. 63540608) の一部を使用した。

参 考 文 献

- 1) 加藤碩一, 杉山雄一 (1985): 1:500,000活構造図, 金沢, 図幅第10号, 地質調査所.
- 2) 寒川 旭, 杉山雄一, 衣笠善博 (1983): 1:500,000活構造図, 京都, 図幅第11号, 地質調査所.
- 3) 宇佐見龍夫 (1987): 新編日本被害地震総覧, 東京大学出版会, 434p.
- 4) 町田 洋, 小島圭二編 (1986): 自然の猛威, 日本の自然8, 岩波書店, 218p.
- 5) 長谷川ゆか, 長屋啓子 (1988): 縞状堆積物について, 岐阜大学教育学部卒業論文, 79p.
- 6) 山崎晴雄 (1989): 日本の地震予知のための活断層調査の実際, 日本応用地質学会, 平成元年度シンポジウム予稿集, pp. 27-34.
- 7) 山田直利 (1961): 5万分の1地質図幅「加子母」および同説明書, 地質調査所, 25p.
- 8) 山田直利, 小林武彦 (1988): 御嶽山地域の地質, 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅, 金沢10第61号), 地質調査所, 136p.
- 9) 松本盆地研木曾谷サブグループ (1985): 昭和59年長野県西部地震による地盤災害と御岳山南麓の第四系 (その1), 地球科学, Vol. 39, No. 2, pp. 89-104.
- 10) 三村弘二, 鹿野和彦, 中野 俊, 星住英夫 (1988): 1984年御嶽岩屑なだれ—堆積物からみた流動・堆積機構, 地質調査所月報, Vol. 39, No. 8, pp. 495-523.
- 11) 松田時彦, 有山智雄 (1985): 1984年長野県西部地震にともなう御岳山の岩屑流堆積物—とくに“岩屑しぶき”について—, 震研彙報, Vol. 60, pp. 281-316.
- 12) 長岡正利 (1987): 地形条件と地形変化に関する研究—1984年御嶽くずれの地形特性と発生条件—, 昭和59年 (1984年) 長野県西部地震による土砂災害に関する緊急研究報告書, 科学技術庁研究開発局, pp. 42-66.
- 13) 中井信之, 中村俊夫 (1988): 放射性炭素年代測定法, 地質学論集, No. 29, pp. 235-252.
- 14) SIMS, J. D. (1975): Determining earthquake recurrence interval from deformational structures in young lacustrine sediments, Tectonophysics, Vol. 29, No. 1-4, pp. 141-152.
- 15) KAUFFMAN, E. G. (1988): Concepts and methods of high-resolution event stratigraphy, Ann. Rev. Earth Planet Sci., Vol. 16, pp. 603-654.
- 16) SCOTT, B. and PRICE, S. (1988): Earthquake-induced structures in young sediments, Tectonophysics, Vol. 147, pp. 165-170.
- 17) 日下部実, 林尚美, 小林武彦 (1983): 立山火山, 地獄谷にみられる縞状硫黄堆積物の成因, 火山2, Vol. 28, No. 3, pp. 245-261.
- 18) 川上紳一, 金折裕司, 長谷川ゆか, 長屋啓子, 小嶋 智, 国友孝洋 (1990): 縞状堆積物のフラクタル解析: 立山地獄谷の未固結堆積物の層厚変化, 堆積学研究, Vol. 32, pp. 17-24.
- 19) 山田敦夫, 竹内 章 (1983): 跡津川断層東端の断層露頭, 月刊地球, Vol. 5, No. 7, pp. 399-404.

(1990年5月9日受付, 1990年11月27日受理)