

Remanent Magnetization of the Muddy Sediment Remaining

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2009-01-06 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 藤井, 純子, 神尾, 省吾, 山本, 博文, 中島, 正志 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10098/1837

洪水堆積物の残留磁化

Remanent Magnetization of the Muddy Sediment Remaining
after Fukui Heavy Rainfall on July 18 of 2004

藤井 純子*

神尾 省吾*

山本 博文*

中島 正志*

(福井大学教育地域科学部地学教室)

1. はじめに

平成 16 年 7 月 18 日未明から福井県嶺北地方に降り始めた梅雨末期の雨は次第に激しさを増し、福井地方気象台では午前 8 時からの 1 時間降水量が 75mm に、18 日の日降水量が 197.5mm に達した。この局地的な激しい雨は「福井豪雨」と呼ばれている。この福井豪雨により、福井県嶺北地域内では大きな洪水被害が発生し、洪水が引いた後には多くの堆積物が残された。このような堆積物をここでは洪水堆積物と呼ぶ。洪水堆積物は主にシルトと粘土からなる細粒堆積物であり、これらは堆積残留磁化 (DRM) を獲得しているように思われた。そこで、洪水堆積物が DRM を獲得しているかどうかを確かめることを第一の目的として残留磁化測定を行った。もし、DRM を獲得していれば、その磁気的性質という新しい視点から洪水堆積物を分析できるかもしれないと考えたからである。

次に、洪水堆積物中に含まれている磁性鉱物の種類を特定し、観察地点による磁性鉱物の違いを検討するため、洪水堆積物の等温残留磁化 (IRM) 獲得実験および三成分 IRM の段階熱消磁実験を行った。

また、室内での DRM 獲得実験により、洪水堆積物がどのような過程で DRM を獲得したのかについて検討した。室内実験では、採取した洪水堆積物を使用し、堆積状況を人工的に変化させて比較することにより、それらが DRM にどのように関連しているのかを明らかにしたいと考えた。

2. 測定試料

2. 1 試料採取地点

今回、洪水堆積物を福井市内の 5 地点と鯖江市河和田地区の 2 地点で採取し、測定試料とした。試料採取地点を図 1 および表 1 に示す。

(1) 福井市内の洪水堆積物

足羽川は冠山に源を発し、池田町、旧美山町の山間部を蛇行しながら北流して旧美山町北部で向きを西に変え、福井市脇三ヶ町付近から福井平野に流れ出し、平野西縁で日野川と合流している。福井豪雨時には、福井市中心部の広い範囲で越流が発生し (図 1, 赤点線部分)、春日 1 丁目において幅約 50m にわたって破堤した (図 1, 黒矢印の部分)。破堤地点南西の足羽山と八幡山に挟まれたみのり地区や月見地区は、流入した濁流が山に行く手を阻まれた状態になり、浸水深が 100cm を越え、深いところでは 160cm に達した。水が引いた後には多くの泥質な洪水堆積物が残された。洪水堆積物はシルト・粘土・砂からなるが、砂サイズの碎屑粒子が多く含まれるのは破堤地点周辺のみであり、

キーワード：堆積残留磁化, 古地磁気, 福井豪雨, 洪水堆積物, 地域科学

*Junko Fujii, Syougo Kamio, Hirofumi Yamamoto, and Tadashi Nakajima

(Geological Laboratory, Faculty of Education and Regional Studies, University of Fukui, Fukui, 910-8507)

表 1 試料採取地点

地点名（試料番号）	試料採取地点 （緯度，経度）	試料採取日
（福井市内）		
福井 1（JF210-220）	福井市月見4丁目 (136° 12' 24.6" E, 36° 02' 51.6" N)	H16.7.27
福井 2（JF232-251）	福井市みのり4丁目，月見公園 (136° 12' 17.2" E, 36° 02' 57.8" N)	H16.7.27
福井 3（JF252-265）	福井市みのり4丁目，笠原石材店前 (136° 12' 15.3" E, 36° 02' 57.5" N)	H16.7.27
福井 4（JF266-279）	福井市毛矢1丁目，毛矢公園 (136° 12' 15.3" E, 36° 03' 56.6" N)	H16.7.27
福井 5-1（JF509-529）	福井市安波賀町，西山光照寺跡	H16.12.14
5-2（JF530-549）	(136° 17' 44.2" E, 36° 00' 50.2" N)	H17.3.1
（鯖江市河和田地区）		
河和田 1（JF473-488）	鯖江市北中 (136° 16' 55.1" E, 35° 57' 13.0" N)	H16.12.14
河和田 2（JF493-508）	鯖江市河和田，河和田郵便局前 (136° 16' 48.4" E, 35° 57' 09.4" N)	H16.12.14

みのり地区や月見地区では粘土が 50% 近く含まれる細粒の堆積物であった（山本，2005）。

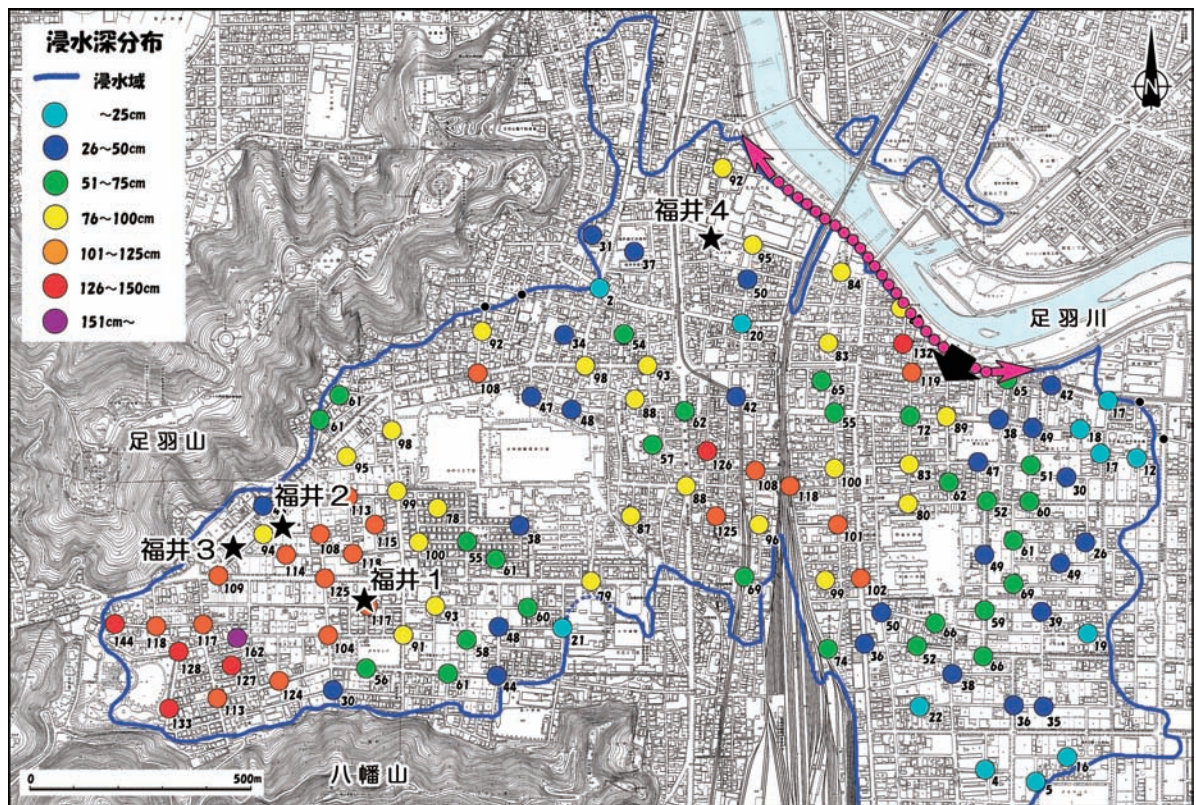
今回，福井市中心部の破堤地点付近の 4 地点（福井 1～福井 4）および上流の 1 地点（福井 5）で試料を採取した。洪水堆積物の厚さは 1～5cm 程度である。試料採取にあたっては，試料の方位を磁気コンパスを用いて測定するため，建物・金網等の磁場を乱す要因が少ない場所を選んだ。

福井 5 は福井市中心部の破堤地点より約 8km 上流にある。更にその 500m 上流においては，一乗谷川が足羽川に合流しているが，両河川ともこれより上流部で氾濫したため，合流地点付近に濁流が流れ込んだ。また合流地点付近でも破堤したため，この地区の浸水の被害はかなり大きくなった。採取地点は寺跡の堀池であり，洪水が引いた後も数ヶ月は水が溜まった状態であった。池の水がなくなり，試料採取が可能な程度に乾くのを待って，日を改めて 2 度採取した。

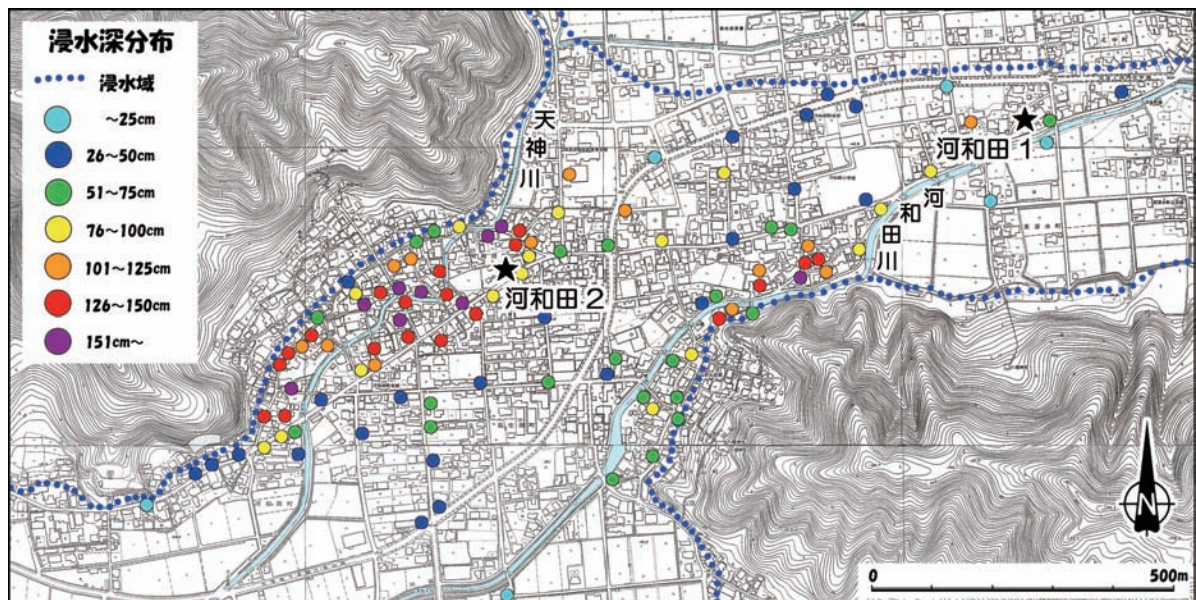
（2）鯖江市河和田地区の洪水堆積物

旧美山町の南西約 10km に位置する鯖江市河和田地区は，北～東側を標高 300～500m の，南側を標高 200～300m の山々に囲まれた東西に細長く伸びる山間低地である。ここでは，谷や沢からの濁流や土石流が河和田川へ流れ込み，溢れ出した濁流が谷底平野いっばいに広がり，天神川を巻き込んで流れ下っていった。特に片山町の河和田川沿い，河和田町天神川沿いでは，浸水深が 100cm を越え，深いところでは 184cm に達した。水が引いた後に残された洪水堆積物は，厚いところで 30cm を越えた（山本，2005）。

試料採取時（12 月 14 日）には本地区の洪水堆積物の大半が除去されていたが，家屋の床下にそのまま残されていた河和田 1 と河和田 2 の 2 地点で試料を採取した。これは，山本（2005）の粒度分析試料 K-3 および K-5 の採取地点と同じである。河和田地区では平坦面の傾斜が福井平野に比べてやや急であり，また地区全体が大きな流れの通り道となったため，福井市内の洪水堆積物と比較すると砂を含んだやや粗い堆積物となっている。しかし，採取した地点は濁流の流路の中心からややはずれており，含泥率が河和田 1 では 80%，河和田 2 では 96%（山本，2005）と，河和田地区の中では比較的泥質な堆積物であった。



福井市中心部



河和田地区

図1 試料採取地点

山本（2005）の図7（福井市足羽川左岸における浸水状況）および図10の中図（河和田地区における浸水深分布）に、試料採取地点（★印）を加筆、一部修正した。福井1～4、河和田1～2は試料採取地点名（表1の地点名と同じ）を示す。青実線（上図）および青点線（下図）で囲ってあるのは浸水域、上図の赤点線は越流範囲、黒矢印は破堤地点を示す。福井5の地点は、破堤地点よりも約8km上流にある。

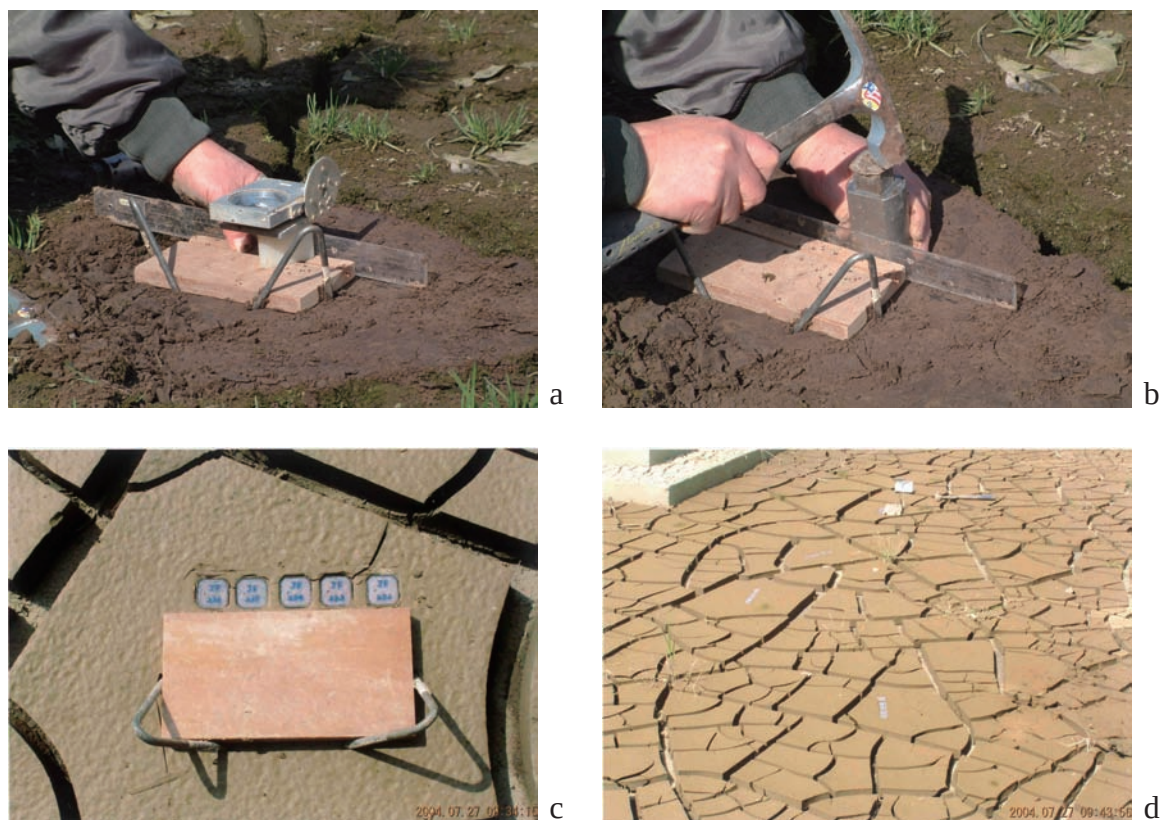


図2 定方位試料の採取

a：固定板の最大傾斜線の方位と傾斜角を測定，b：プラスチックキューブを埋め込む，c：キューブを埋め込んだところ，d：離れた複数箇所それぞれ3～5個の試料を採取。

2. 2 試料採取方法

24×24×24mmのプラスチックキューブを洪水堆積物に打ち込み，試料を採取した。これは中島・藤井（1995a）に記述されている採取方法とほぼ同じである。キューブの底面には空気抜き径1mmの穴がけられている。採取用具はキューブを地層に打ち込むためのピストンとシリンダー，シリンダーの向きを固定する板（固定板）からなる。

試料採取では，なるべく乾燥・収縮によるひび割れが少なく，乱されていない場所を選んだ。まず，洪水堆積物の表面を削り，固定板（約20cm×10cm）を置く範囲を平坦にする。その平坦面上に固定板をその長辺が水平になるように固定し，固定板の最大傾斜線の方位と傾斜角をクリノメーターで測定する（図2a）。シリンダーを固定板に沿わせ，ハンマーでピストンの背をたたいてキューブを洪水堆積物に打ち込む（図2b, c）。方位測定の誤差を相殺するため，1地点においてできるだけ離れた複数箇所試料を採取した（図2d）。

堆積物試料は乾燥すると変形するおそれがあるので，試料ケースを密閉して保管し，できる限り短期間で残留磁化測定を行った。

3. 測定結果

3. 1 残留磁化測定結果

残留磁化は夏原技研製SMM-85型スピナー磁力計を用いて測定し，すべての試料について70mTまでの段階交流消磁を実施した。交流消磁装置は夏原技研製の2軸回転方式で，アンプは

DEM-8601-2 型である。この装置の内部は、3 層の円筒 μ -メタルによって外部磁場は 10 nT 以下に遮断されている。測定方法やデータ処理方法は中島・藤井 (1995a) における始良 Tn 火山灰 (AT) の測定方法と同じである。消磁ベクトル図で方位変化が停止した消磁段階以後のデータを用い、原点に固定した直線近似により各試料の偏角と伏角を求め (Kirschvink, 1980), 地点ごとにその平均を計算した (Fisher, 1953)。

段階交流消磁ベクトル図の代表例を図 3 に示す。黒丸は水平面に投影した成分, 白丸は鉛直面に投影した成分を示す。

残留磁化測定結果を表 2 に示す。福井市内の福井 1~4, 福井 5-1 では, 残留磁化は交流消磁に対して安定であり (図 3), k が大きく α_{95} の小さい平均磁化方位が得られた。鯖江市河和田地区では, 交流消磁に対してかなり不安定なものも混ざっており, k は福井市内の試料に比べて小さい値になった。福井 5-2 は, 福井 5-1 と同じ地点であるが, 採取日が異なる。福井 5-2 の方がまとまりが悪い (k が小さい) のは乾燥によるひび割れが多くなり試料の状況が悪くなってきたためかもしれない。表 2 より, 福井市内の試料の方が河和田地区のものよりも MDF が大きい傾向が見られた。MDF が大きいほど安定な磁化方位が得られると考えられ, 福井市内の試料の方がより安定な磁化方位をもっていると言える。

各地点の平均磁化方位および現在の地球磁場方位を図 4 に示す。全体的に偏角は現在の地球磁場方位と近い値が示されたが, 伏角は浅くなる傾向が見られた。

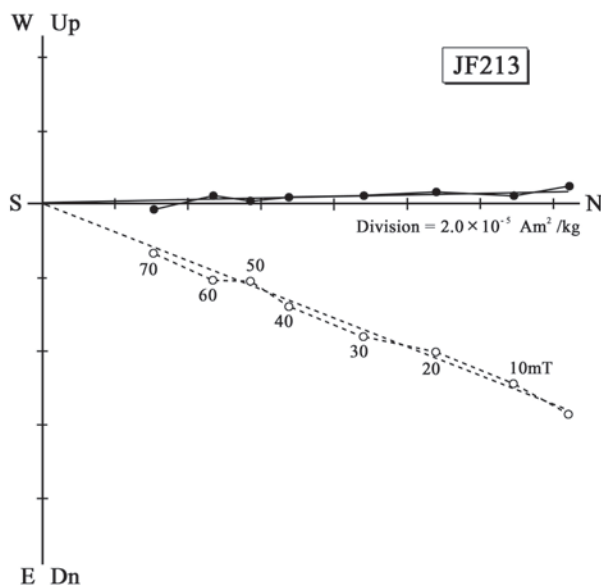


図 3 段階交流消磁のベクトル図

黒丸は水平面に投影した成分, 白丸は鉛直面に投影した成分を示す。

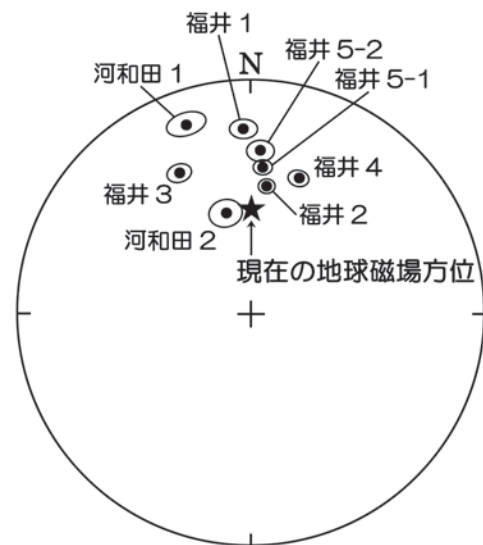


図 4 各地点の平均磁化方位

黒丸は各地点の平均磁化方位, その周りの楕円は α_{95} を, 星印は現在の地球磁場方位を示す。

表 2 残留磁化測定結果

Site	N	Dm (°E)	Im (°)	α_{95} (°)	k	MDF (mT)	磁化強度 ($10^{-5}\text{Am}^2/\text{kg}$)	帯磁率 ($\mu\text{m}^3/\text{kg}$)
福井 1	10	-2.4	21.4	4.1	141.9	40	14.9	3.1
福井 2	20	7.3	43.8	2.7	149.5	37	9.9	3.0
福井 3	14	19.4	38.0	3.1	161.8	36	21.9	3.1
福井 4	14	-27.1	32.4	3.8	109.6	38	15.9	3.3
福井 5-1	21	4.8	36.6	2.8	128.4	>30	11.7	3.3
福井 5-2	20	3.4	30.3	4.3	57.9	>25	8.6	3.4
河和田 1	16	-18.9	14.8	5.3	48.7	25	24.6	8.8
河和田 2	16	-14.2	52.9	5.4	47.0	>20	21.6	8.9

N：試料数，Dm：平均偏角，Im：平均伏角， α_{95} および k：Fisher（1953）の統計値，MDF：磁化強度が消磁前の 2 分の 1 になる消磁磁場，磁化強度：消磁前の磁化強度

3. 2 帯磁率測定結果

帯磁率は，中島・藤井（1995b）と同様に，Bartington 製 MS2B 型帯磁率計を用いて 0.46kHz 低周波 (LF) と 4.6 kHz 高周波 (HF) の 2 周波測定を実施した。測定の結果，洪水堆積物の LF と HF 帯磁率には有意な差は認められなかった。

帯磁率を測定した試料は残留磁化を測定した試料と同じものである。MS2B 型帯磁率計は，容積 10 cc の大きさの試料で理想的な数値が得られるようになっている。試料採取に使用したプラスチックキューブの内容積は 9.6cc であり，残留磁化測定用試料をそのまま使用した。残留磁化を測定した後，試料が自然に乾燥するのを待って，帯磁率の測定を行った。LF 帯磁率測定結果の地点平均を表 2 に示す。

福井市内の 5 地点では残留磁化強度にばらつきが見えるものの，帯磁率は $3.0\sim 3.4\mu\text{m}^3/\text{kg}$ と非常に近い値となっている。河和田地区の 2 地点では残留磁化強度と帯磁率は共に近い値を示したが，福井市内と河和田地区の試料の帯磁率を比較すると，河和田地区の帯磁率は $8.8\sim 8.9\mu\text{m}^3/\text{kg}$ と明らかに大きい。足羽川，河和田川の流域の地質はともに安山岩が主であり，磁性鉱物の量や種類の違いによるものとは考えにくい。また，福井市内の試料は粒子が細かく，鯖江市河和田地区の試料は粒子が粗いことから，福井市内と河和田地区の試料の帯磁率の違いは，磁性粒子の大きさの違いであると推定される。

3. 3 I R M 獲得実験および三成分 I R M の段階熱消磁実験結果

今回の洪水堆積物試料について，IRM 獲得実験と三成分 IRM の段階熱消磁実験を実施した。

(1) 石膏試料の作製

洪水堆積物はプラスチックキューブで採取しており， 150°C で変形してしまうプラスチックキューブに入ったままでは熱消磁実験ができない。そこで，藤井・中島（2002）が考案した，火山灰試料を一旦プラスチックキューブから出して石膏と混ぜ，新しく試料を作り直す手法を用いて， 710°C までの洪水堆積物の熱消磁実験を行った。石膏試料の作製方法は藤井・中島（2002）と同じである。

(2) IRM 獲得実験

Magnetic Measurement 社製のパルス・マグネタイザーを用いて石膏試料の IRM 獲得実験を行った。本実験では，段階的に，より大きな直流磁場に試料をさらし，その都度獲得した IRM の強度を測定

した。磁場は、10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 100, 150, 250, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 (単位は mT) の 19 段階に設定し、夏原技研製 SMM-85 型スピナー磁力計で IRM 強度を測定した。

IRM 獲得実験結果の代表例を図 5 に示す。福井市内で採取した試料は、どの試料も 100mT で飽和磁化の 7~8 割を獲得しており、低い抗磁力をもつ磁性鉱物が多いことを示している。また、1000mT までにはほぼ全ての試料が飽和しており、高い抗磁力を持つ磁性鉱物はみられない。これらのことから、含まれている磁性

鉱物は主としてマグネタイトやチタノマグネタイトであると推定できる。河和田地区の試料の IRM 獲得実験結果も、福井市内の試料とほぼ同じ結果が得られた。

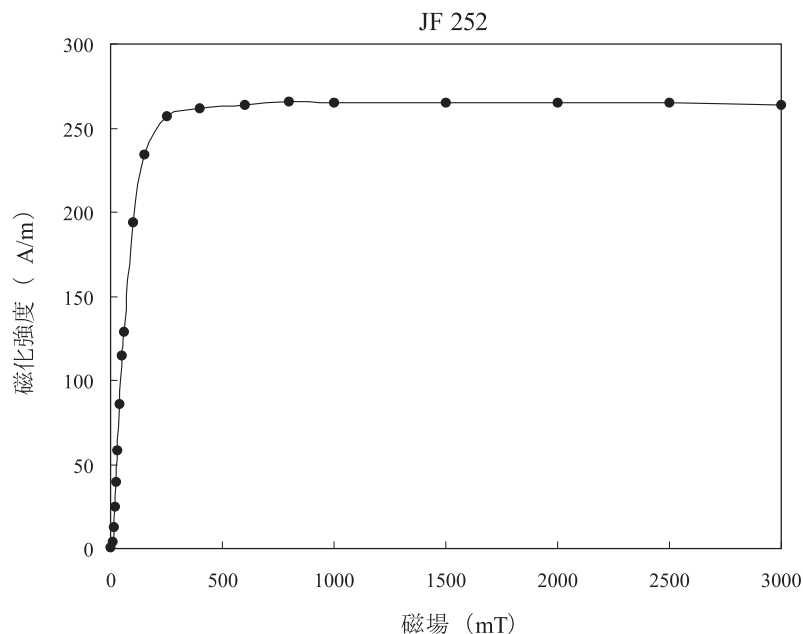


図 5 IRM 獲得曲線

縦軸は IRM の磁化強度 (A/m)、横軸は磁場 (mT) を表している。

(3) 三成分 IRM の段階熱消磁実験

IRM 獲得実験を行った石膏試料に、パルス・マグネタイザーを用いて互いに直行する 3 軸方向にそれぞれ異なる磁場をかけた。設定磁場は Z 軸方向に 3000mT、Y 軸方向に 400mT、X 軸方向に 120 mT とし、大きな磁場から順にかけ、その後それぞれの試料について段階熱消磁を行った。ある一つの磁性鉱物に関する最も高いブロッキング温度は、キュリー温度の少し下にあるため、熱消磁図で IRM 強度が急激に減少するところを読み取ることで、試料中に含まれるいくつかの磁性鉱物のキュリー温度を推定できる。hard (高抗磁力)・medium (中抗磁力)・soft (低抗磁力) 成分に分けた消磁曲線からキュリー温度を推定することにより、抗磁力とキュリー温度からより正確な磁性鉱物の同定が可能になる (Lowrie, 1990)。

熱消磁は、DEM-8602 型温度コントローラーを持つ夏原技研製 TMS-92S 型熱消磁装置で行った。この装置は 3 層の円筒 μ -メタルによって、外部磁場は 10nT 以下に遮断されている。

今回は、50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 530, 560, 590, 620, 650, 680, 710 (単位は℃) の 17 段階で熱消磁を行った。また、それぞれの段階において Bartinton 製 MS2B 型帯磁率計で帯磁率の測定を行った。消磁図の代表例を図 6 に示す。この消磁図は、soft, medium および hard 成分に分けて IRM の強度変化を示しており、soft 成分の変化は 120mT 以下の弱い抗磁力を持つ磁性鉱物の消磁特性を、medium 成分の変化は 120mT から 400mT までの抗磁力を持つ磁性鉱物の消磁特性を、hard 成分の変化は 400mT から 3000mT までの抗磁力を持つ磁性鉱物の消磁特性をそれぞれ表している。

福井市内からの試料 11 個、河和田地区からの試料 2 個について熱消磁実験を実施した結果、全試料についてはほぼ同様の結果が得られた。含まれる磁性鉱物の磁化の大部分は soft 成分で、100~200℃ で急激な減少が見られるものの、200℃ 以上では緩やかに減少し、650℃ までにすべての磁化が消失している。このことから、磁性鉱物のほとんどはチタノマグネタイトであり、100~200℃ における

急激な減少はチタンの多いチタノマグネタイトが多く含まれるためと考えられる。medium 成分もやや多く、100～200℃ で急激な減少が見られる。これは、最高ブロッキング温度が 80～120℃ であるゲーサイト (Lowrie, 1990) が含まれているためと推定できる。しかし、抗磁力の高い (5T 以上; Lowrie, 1990) ゲーサイトが含まれていても、IRM 獲得曲線では、ほとんどの試料が 1000mT までに飽和しているように見えた。すなわち、IRM 獲得実験では確認できなかった少量のゲーサイトの存在を、三成分 IRM の段階熱消磁実験ではっきり確認することができたと言える。

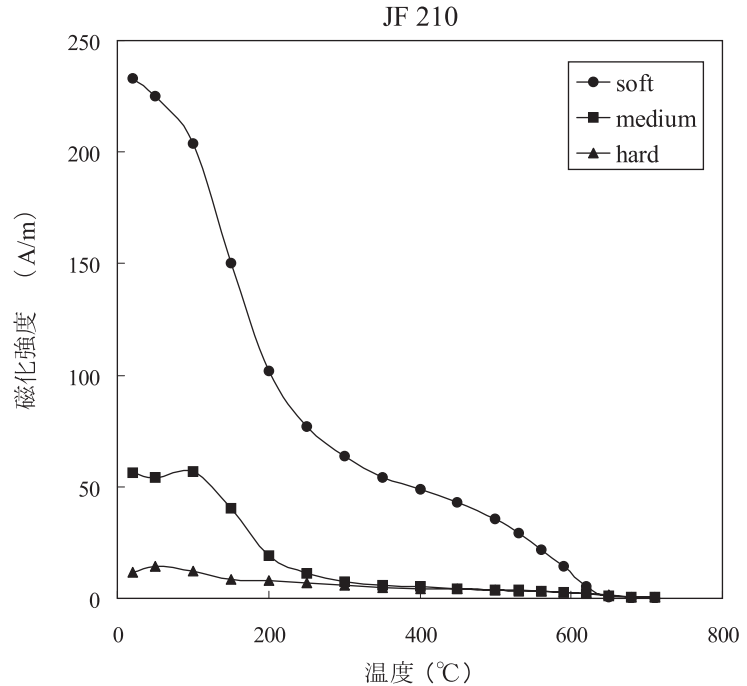


図6 三成分 I R M の熱消磁図

soft, medium, hard 成分は、磁性鉱物の抗磁力によって区分している。グラフはそれぞれ 120mT 以下, 120～400mT, 400～3000mT の抗磁力を持つ磁性鉱物の磁化強度の変化を表す。

3. 4 室内での堆積残留磁化獲得実験結果

洪水堆積物が持つ磁化は DRM である。今回の洪水堆積物の残留磁化測定結果では、偏角は現在の地磁気偏角の方位とほぼ同じであったが、伏角は 10～20° 浅くなる傾向が見られた。その理由について検討するために、洪水堆積物を用いた実験室内での DRM 獲得実験を行った。試料には福井 5 の洪水堆積物を使用し、人工的な DRM の磁化強度や磁化方位が水の深さや堆積物の量によってどのように異なるかを確かめられるように実験計画を立てた。実験方法は次の通りである。

- ① 2ℓ ペットボトルを用いて、水の深さを 3 段階に調整した容器を作製する (図 7a)。ペットボトル容器は、方位を測り、固定しておく。
- ② 紙コップ一杯分の試料の乾燥重量を量り、試料の中に塊がないよう細かく潰し、少量の水を混ぜた後 (図 7b)、それぞれの容器に移す。
- ③ それぞれの容器の 9 割程度まで水を加え、全体を棒でかき混ぜる (図 7c)。その後、水深を測る。
- ④ 試料が沈殿し、水が澄んでくるのを待つ。7 日前後で水が澄む。
- ⑤ 上澄み液を静かにホースで抜く (図 7d)。
- ⑥ 堆積物が乾いたら、あらかじめ測った方位に合わせて定規を固定し、その定規にシリンダーを沿わせてプラスチックキューブを埋め込み、定方位試料をつくる (図 7e, f)。
- ⑦ 残留磁化を測定する。

上記の実験に加え、堆積物の粒度や層準の違いが残留磁化方位に影響を及ぼすかどうかを確認するため、堆積物の量を増やして 2 層準 (上部層と下部層) から試料を採取できるように、追加実験を行った (表 4 の P2 (b))。人工的な DRM 獲得実験の経過を表 3 に、残留磁化測定結果を表 4 に示す。

堆積試料は水深に関係なく交流消磁に対して安定な残留磁化を獲得していて、磁化方位も非常によくまとまっていた。上部層と下部層の 2 層準で採取した P2 (b) では、下部層の残留磁化が不安定で



図7 室内におけるDRM獲得実験の手順

a：3つのペットボトル容器を準備，b：洪水堆積物を少量の水にいれる，c：水を加えてかき混ぜる，d：上澄み液をホースで抜く，e：堆積物にプラスチックキューブを埋め込む，f：キューブを埋め込んだところ。

あった。

平均磁化方位はどの層準でもほぼ同じであり，水深による磁化方位の違いは見られなかった。偏角は現在の地球磁場方位とほぼ同じであり，洪水堆積物の残留磁化測定結果と同様，伏角は現在の地球磁場方位より浅くなった。この磁化方位は表2の福井5-1と福井5-2の方位と同じであり，今回の室内堆積実験による磁化獲得機構は，洪水時に洪水堆積物がDRMを獲得した機構と本質的には同じであると考えられる。

表 3 室内における DRM 獲得実験の経過

堆積層名(層準)	実験開始日	洪水堆積物の量	水深	水抜き日	試料採取日
P 1	10月11日	359g	17.1cm	10月24日	11月10日
P 2 (a)	10月12日	356g	35.0cm	10月25日	11月 9日
P 3	10月12日	362g	55.7cm	10月25日	11月10日
P 2 (b)	12月 1日	573g	34.1cm	12月 5日	12月29日

*P2 (b) では上部層, 下部層の 2 層準から試料を採取した。

表 4 室内における DRM 獲得実験の残留磁化測定結果

堆積層名 (層準)	N	Dm (°E)	Im (°)	α_{95} (°)	k	MDF (mT)	磁化強度 ($10^{-5}\text{Am}^2/\text{kg}$)	帯磁率 ($\mu\text{m}^3/\text{kg}$)
P 1	6	-3.1	33.4	2.0	1137.3	33	8.9	2.8
P 2 (a)	6	-4.6	24.8	2.8	576.2	32	10.5	2.7
P 3	6	-5.4	22.5	2.5	746.2	>47	11.9	2.9
P 2 (b) 上部層	5	2.2	34.5	3.5	472.8	28	13.8	2.8
P 2 (b) 下部層	5	1.4	32.5	14.4	29.5	>19	3.2	3.5

N：試料数, Dm：平均偏角, Im：平均伏角, α_{95} および k：Fisher(1953) の統計値, MDF：磁化強度が消磁前の 2 分の 1 になる消磁磁場, 磁化強度：消磁前の磁化強度

洪水堆積物の残留磁化および人工 DRM の伏角が浅くなったが, その原因について今回の実験では解明できなかった。DRM の伏角が浅くなることがあるのは伏角誤差として知られており, その原因は, DRM を担う磁性鉱物の形状が針状の細長いものが多い場合に, それらの磁性鉱物が着地するときに若干の回転が起きるためとされている (Irving, 1964 など)。今回の試料は細粒で, 針状の細長い磁性粒子が多いとは考えられないが, 洪水堆積物の場合は磁性鉱物が単独で堆積したのではなく, 堆積過程の初めから付着物がついていて針状の細長い粒子と同じような効果が見られたのかもしれない。細粒の海底・湖底堆積物では伏角誤差は知られていない。海底や湖底堆積物の DRM と今回の洪水堆積物や人工 DRM 実験での磁化獲得機構の違いは, 磁化が固定されるまでの時間の差である。湖底や海底では堆積後さらに少なくとも数十年以上の時間が経過した後に磁化が固定される。洪水堆積物では 1 日で水が引くため固定されるまでの時間はせいぜい数日であり, 今回の人工 DRM は 1 ヶ月以内である。この差は, いわゆる post-DRM を獲得する過程があるかないかの違いを意味する。今回のような DRM 獲得過程で伏角誤差が見られる堆積物が, post-DRM を獲得することによりその伏角が外部磁場と同じになるかどうかは興味あるところである。

帯磁率は, どの層準でも同じような値だが, 上部層, 下部層の 2 層で採取した P2 (b) では, 上部層に比べ下部層の帯磁率が大きくなった。磁化強度には水深による違いが見られ, 水深が深くなるにつれて, 磁化強度が強くなる。また, P2 (b) では上部層の方が明らかに磁化強度は強く, 下部層はどの試料よりも磁化強度が弱かった。これらの結果は, 水中を落下する時間が長いほど磁性粒子が地球磁場方位によく揃い磁化強度が強くなることを意味している。また, 下部層の方が大きく重い粒子が多いため, 上部層と比べて帯磁率は大きく, 地磁気方位への揃い方は弱くなる (磁化強度が弱くなる) と推定される。

室内実験の結果では, 水深が深いほど磁化強度が強くなる傾向が見られたため, 洪水堆積物の残留磁化測定結果に同じような傾向があるかどうかについて検討した。

今回測定した福井 1, 2, 3, 4 の地点の浸水深, 破堤地点からの距離, 堆積量を山本 (2005) より求め,

表5 洪水に関するデータ（山本，2005）および磁化強度（本研究）

地点名	浸水深 (cm)	破堤地点からの距離 (km)	堆積量 (kg/m ²)	磁化強度 (10 ⁻⁵ Am ² /kg)
福井 1	120	1.5	35	14.9
福井 2	100	1.6	26	9.9
福井 3	100	1.7	26	21.9
福井 4	100	0.6	36	15.9

磁化強度とあわせて表5に示す。浸水深はほぼ同じである。破堤地点からの距離は福井1,2,3と福井4では異なるが、帯磁率（表2）に差は見られず、磁化強度は福井1,2,3の中で差があり、距離による系統的な差は見られなかった。

室内実験において2層で試料を採取したとき、下部層の方が帯磁率が大きくなった。これは、下部層に大きな粒子が多いためであると推定した。このことから、破堤地点からの距離が近いものほど大きな粒子が入っているため、帯磁率は大きな値を示すと考えられる。福井4は他の地点に比べて破堤地点からより近い位置にあるので粗粒の堆積物の割合が多いと思われたが、洪水の本流から外れたため砂はほとんど含まれず、山本（2005）の洪水堆積物の粒度分析結果にもあるように他の3地点同様シルトが50%近い細粒の堆積物であった。そのため、破堤地点からの距離という点では、比較の材料とはならなかった。

4 まとめ

福井市内の5地点、鯖江市河和田地区の2地点の計7地点から洪水堆積物試料を採取し、洪水堆積物がDRMを獲得しているかどうかを確かめることを目的として残留磁化測定、IRM獲得実験、三成分IRMの段階熱消磁実験を行った。また、洪水堆積物を用い、室内において人工DRM獲得実験を行った。

福井市内の試料は、交流消磁に対して安定なものが多く、福井市内、鯖江市河和田地区の試料ともに偏角は現在の地球磁場方位とほぼ同じであり、洪水堆積物がDRMを獲得していることが明らかになった。また、全体的に伏角が浅くなるという傾向が見られたが、今回の人工DRM獲得実験ではその原因を解明できなかった。

IRM獲得実験において、福井市内、鯖江市河和田地区ともほぼ1000mTまでに飽和に達することから、試料に含まれている主な磁性鉱物は低い抗磁力を持つマグネタイトかチタノマグネタイトであると推定できる。

三成分IRMの段階熱消磁実験において、福井市内、鯖江市河和田地区ともに大部分がsoft成分であり、約650℃までに磁化が消失すること、低い温度において急激な磁化強度の減少が見られることから、洪水堆積物試料に含まれている主要な磁性鉱物はチタンを多く含むチタノマグネタイトであることがわかった。また、medium成分の強度変化より、ゲーサイトが少量含まれていると考えられる。磁化強度に違いが見られたものの、同様の消磁特性を示すことから、福井市内と河和田地区の試料は含まれている磁性鉱物の種類が同じであると推定される。

室内における人工的なDRM獲得実験では、洪水堆積物と同様の残留磁化測定結果が得られた。足羽川、河和田川の流域の地質は、ともに安山岩が主であること、福井市内の試料は粒子が細かく鯖江市河和田地区の試料は粒子がより粗いことから、帯磁率の違いは磁性粒子の大きさの違いであると推定される。また、室内実験においては浸水深が大きいほど磁化強度が大きくなる傾向が見られた。

文献

Fisher, R.A., 1953, Dispersion on a sphere. *Proc. Roy. Soc.*, **A217**, pp.295-305.

藤井純子・中島正志, 2002, 第四紀火山灰についての段階的 IRM 獲得実験と三成分 IRM の熱消磁実験.
福井大学教育地域科学部紀要, II, no.54, pp.47-55.

Irving, E., 1964, Paleomagnetism and its application to geological and geophysical problems. Wiley, New York, 399p.

Kirschvink, J.L., 1980, The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data. *Geophys. J. Roy. astr. Soc.*, **62**, pp.699-718.

Lowrie, W., 1990, Identification of ferromagnetic minerals in a rock by coercivity and unblocking temperature properties. *Geophysical Research Letters*, **17**, pp.159-162.

中島正志・藤井純子, 1995a, 始良 Tn テフラの古地磁気方位. 第四紀研究, **37**, pp.297-307.

中島正志・藤井純子, 1995b, 第四紀テフラの帯磁率. 福井大学教育学部紀要, II, no.47, pp.31-46.

山本博文, 2005, 福井市街足羽川左岸および鯖江市河和田地区における浸水被害について. 平成 16 年度
科学研究費補助金(特別研究促進費(1))研究成果報告書「平成 16 年 7 月新潟・福島, 福井豪雨災害に関する調査研究」, pp.121-136.