2026 年度　山口応用地質研究発表会

発　表　要　旨　集

2026 年 6 月 24 日

山口大学

山口大学理学部附属地質技術者教育センター

山口大学理学部地球圏システム科学科

山口県地質調査業協会

目　　次

口頭発表

OS-1.　九州東岸日向灘周辺地域に発生した地震の特徴と発生予測　・・・　1
〇前田伊典〈リクチコンサルタント〉

OS-2.　硬山における流出対策のための調査事例　・・・　13
〇米谷優佑，森岡研三〈ＵＩＣコンサルタント〉

OS-3.　阿武火山群伊良尾山の湧水形成要因の検討　・・・　17
〇小井戸一浩〈復建調査設計〉，太田岳洋〈山口大学〉

OS-4.　比抵抗法二次元探査の事例紹介　・・・　23
〇大井手淳二〈リクチコンサルタント〉，坂西啓一郎〈モニー物探〉

OS-5.　橋梁計画地における基盤岩不陸の確認事例 ―高密度電気探査・高精度表面波探査・微動アレイ探査の適用と比較―　・・・　29
〇竹内美優〈ＵＩＣコンサルタント〉

OS-6.　比抵抗映像法を用いたため池漏水調査　・・・　35
〇河内義文，假屋隆文，森山亮一，徳久晶〈ケイズラブ〉

ポスター発表

PS-1. 土壌と堆積物の年代を用いた斜面崩壊発生年代の検討 ・・・ 44
〇宮本新平〈山口大学，中電技術コンサルタント〉，太田岳洋，辻智大〈山口大学〉，竹田拓己〈山口大学，現パシフィックコンサルタンツ〉，黒木貴一〈関西大学〉，森川寛之〈中電技術コンサルタント〉

PS-2. 長大法面における施工中の変状発生メカニズム究明とその対策 ・・・ 46
〇平本貴一，石本裕己，井藤理一朗，田河翔大，松原友輝〈宇部建設コンサルタント〉

PS-3. 山口県北東部、須佐高山の中新世火成活動：日本海形成過程への制約 ・・・ 51
〇大和田正明，江島圭祐，太田岳洋，池本茜衣〈山口大学〉

PS-4. 山口県阿武単成火山群における地下水水質と微生物叢の関係性 ・・・ 53
〇福岡仁至，山下璃貢，藥師寿治，太田岳洋〈山口大学〉

PS-5. 浅海成層である厚保層群に挟在する付加体露頭 ・・・ 58
〇隅田匠，藤井貴之，末田雄樹，民部雅史〈サンヨーコンサルタント〉

PS-6. 山口県北部群発地震を事例としたリスクコミュニケーションに関する調査 ・・・ 62
〇吉野瑛師，太田岳洋〈山口大学〉

PS-7. 土層構造の違いによる土石流の発生し易さについて ・・・ 67
〇吉原和彦〈トキワコンサルタント〉，太田岳洋〈山口大学〉，上野考弘，加川裕二，木山拓海〈トキワコンサルタント〉

PS-8. 山口県北部で発生した群発地震と地下水位の関係 ・・・ 71
〇太田岳洋，吉野瑛師〈山口大学〉

九州東岸日向灘周辺地域に発生した地震の特徴と発生予測

○前田　伊典*
株)リクチコンサルタント
* E-mail: maeda@rikuchi-net.jp

Characteristics and Prediction of Earthquakes Occurring in the Hyuga-nada Region off the East Coast of Kyushu

Yoshinori Maeda
Rikuchi Consultant
** E-mail: maeda@rikuchi-net.jp*

キーワード：九州東岸日向灘，地震，天文・気象データ，発生頻度，発生予測
Keywords: Kyushu East Coast/Hyuga-nada, Earthquakes, Astronomical and Meteorological data, Occurrence frequency, Earthquake prediction

要　旨

南海トラフ地震の発生リスクが高まる昨今の状況を踏まえ、約 10 年前に地質コンサルをリタイアしたことを契機に、地震発生予測の研究をライフワークとして取り組むことにした。地震学は専門外であるが、「月の引力や気圧変化が地震発生のトリガーになり得る」という仮説を立て、これを検証するため、日々発生する九州東岸日向灘周辺地域(仮称:領域 A)のプレート・スラブ型の地震データと、「月齢・朔望・潮汐・南中高度・気圧」などの天文・気象データをリンクさせたデータを 2019 年以降、約 7 年間に渡り継続的に収集した。これらのデータに基づき、平均発生間隔および各要因と地震との関係を検討した結果、季節性、月齢に伴う朔望、潮汐変化、月の南中高度に特徴的な関係や一定の規則が認められた。気圧差（dp1・dp2）も発生頻度に影響を与える可能性が示唆された。これらは、地震発生が単一要因ではなく、複数の天文・気象要因の重ね合わせで決まることを暗示する。また、「月の出・入り前後の高度が低い(±45°)時間帯」に地震発生が集中する傾向が認められた。これらの特徴を M>3.5 地震発生リスクが高い条件として、一覧表に整理した。毎月末に予め、月齢・朔望・潮汐・月の南中高度を併記した翌月カレンダーを作成。発生頻度の高い要因が複合する期間を M>3.5 地震の発生リスクが高い期間として予測した。その結果、当たり率 70%以上、見逃し率 20%程度と比較的高い予測精度であった。また、発生時刻においてもほぼ整合する結果を得た。以上の検証結果は、地震の誘発トリガーとして天文・気象という要因を組み入れることにより、今後の大規模な地震発生の予測に寄与し得るものと考えられる。

1. はじめに

南海トラフ地震の発生リスクが高まる状況を踏まえ、地震学は専門外であるが、「月の引力や気圧変化が地震発生のトリガーになるのではないか」という仮説を立て、これを検証するため 2019 年以降、西日本で日々発生する地震と、月齢・朔望・潮汐・月の南中高度などの天文データと、気圧変化という気象データをリンクさせたデータの収集を約 7 年間継続してきた。本稿では、九州東岸の日向灘を含む周辺地域（仮称：領域エリア A、図 1 参照）で発生したプレート・スラブ型地震を対象に、7 年間のデータに基づき、月齢・朔望・潮汐・月の南中高度・気圧などの天文・気象要因と発生頻度の関係を統計的に分析し、その特徴や一定の規則性を炙り出して、今後の地震発生の予測を試みた結果を述べる。



図 1　関東以西の地震多発エリと PLt・SLab 構造の重ね合せ図

2. データと方法

2.1 使用データ

本研究では、気象庁が公開する 2019 年以降に発生した日向灘およびその周辺で発生した M>3.5 の地震データを使用した。各地震について、発生日・発生時刻・震源地・マグニチュードを取得した。また、天文計算により、各地震時刻の月の位置（方位角、高度）・当日の月齢・月の南中高度を算出した。潮汐区分（大潮・中潮・小潮・長潮・若潮）は、月齢から自動判定した。気圧は「気象庁・過去の気象データ」より、発生日前後 5 日間のデータを取得した。以下にデータ集約シートの一部を抜粋し、下表 2.1 に示す。

表 2.1　発生地震及び天文、気象データ集約シート（一部抜粋）

プレート境界または、スラブ内地震																		
地域区分	領域区分	番号	震源場所		発生日	季節	マグニチュード(M)、深度(Km)	発生前後の気象状況					発生前との気圧差			発生間隔（日）
			名称	区分				前々日	前日	当日	翌日	翌々日	前日との差	前2日の平均気圧	前2日との差	
								月齢、潮汐(朔望)			南中高度					
								気　圧(hPa)								
九州東岸地域	A	①	日向灘	海域	1月1日	冬	M2.9			25.1 長潮		44.6	-2.7	1028.8	-1.9	ー
							30km	1028	1029.6	1026.9	1026.5	1028.0				
		③	鹿児島湾		1月5日		M4.2			29.1 大潮(新月)		33.8	-7.9	1025.5	-8.8	ー
							110km	1026.4	1024.6	1016.7	1018.5	1020.6				
		④	日向灘		1月15日		M4.0			8.3 小潮		64.8	-2.9	1019.3	-1.4	10
							30km	1017.7	1020.8	1017.9	1018.2	1022.9				
		⑦	日向灘		2月1日		M3.3			26.3 若潮		64.1	6.9	1016.0	1.1	17
							30km	1021.8	1010.2	1017.1	1022.1	1016.1				
		⑨	日向灘		2月5日		M3.3			0.5 大潮(新月)		38.2	2.9	1016.2	2.9	4
							40km	1016.1	1016.2	1019.1	1013.6	1013.5				
		⑩	大隅沖		2月6日		M4.1			1.5 大潮(新月)		41.4	-4.9	1017.4	-3.9	32
							60km	1016.4	1018.4	1013.5	1013.5	1014.7				

2.2 分析方法

本研究では以下の分析・検討を行った。

1) 四季と地震発生数の関係

2) 月齢と地震発生数の関係

3) 潮汐と地震発生数の関係

4) 月の南中高度と地震発生数の関係

5) 発生前と当日の気圧差（前日との差 dp1・前 2 日平均との差 dp2）と地震発生の関係

6) 地震発生時刻と月の位置（方位角と高度）の関係

7) 地震の平均発生間隔の検討

上記について、図を用いて視覚的に傾向・頻度を分析し、先行研究との整合性も検討した。

3. 結 果

3.1 四季と地震発生数の関係(図表 3.1 参照)

2019～2025 年(7 年間)に発生した地震を対象に、四季別に発生数を算出したところ、以下の通りであった。四季ごとの日数が違うため、発生頻度を正規化して等価倍率で表すと、冬(12～2 月);等価倍率 1.19、春(3～5 月);等価倍率 1.13、夏(6～8 月);等価倍率 0.89、秋(9～11 月);等価倍率 0.78 となった。このことから、本地域では冬～春の発生頻度が高い特異期間といえる。

図表 3.1　四季別地震発生数の分析図表



発生数		割合	正規化割合	等価倍率
春	132	28.6%	28.3%	1.13
夏	104	22.5%	22.3%	0.89
秋	90	19.5%	19.4%	0.78
冬	136	29.4%	29.8%	1.19
計	462	冬→春→夏→秋		

3.2 月齢別地震発生数(図 3.2 参照)

月齢分布を確認すると、発生頻度に明瞭な関係は認められないが、月齢 5～9、月齢 11～19、月齢 24～29 に増加する傾向がみられた。

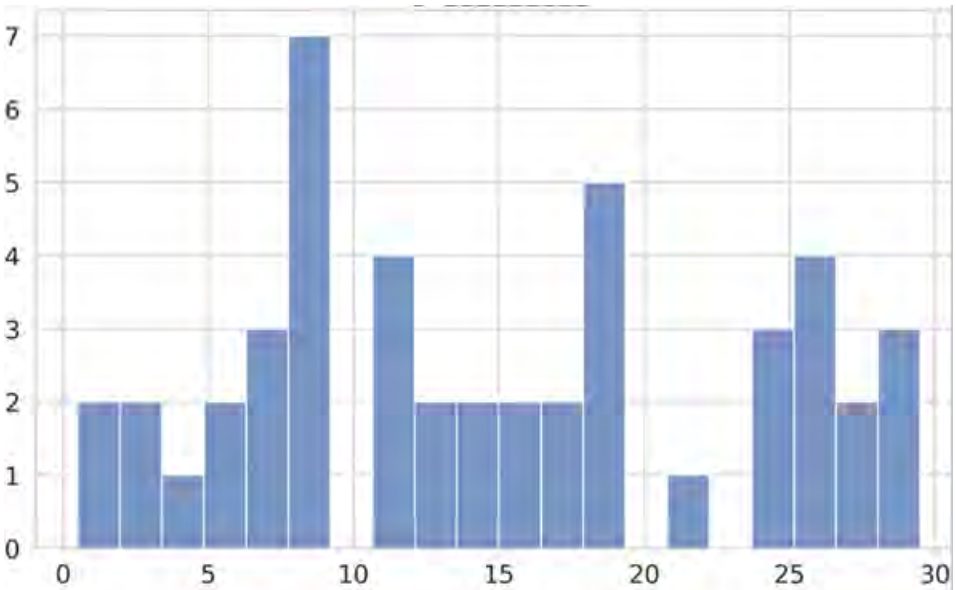
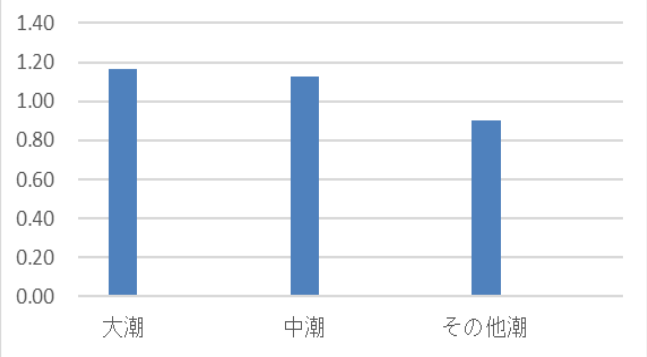


図 3.2　月齢別の地震発生頻度分布

3.3 潮汐と地震発生の関係（図表 3.3 参照）

2019 年以降に発生した地震発生数を潮汐別に整理した結果、大潮と中潮期間に集中する傾向（等価倍率 1.17～1.13）が確認され、その他潮（小潮・若潮・長潮）は明確に少ない。

図表 3.3 潮汐別地震発生数の分析図表



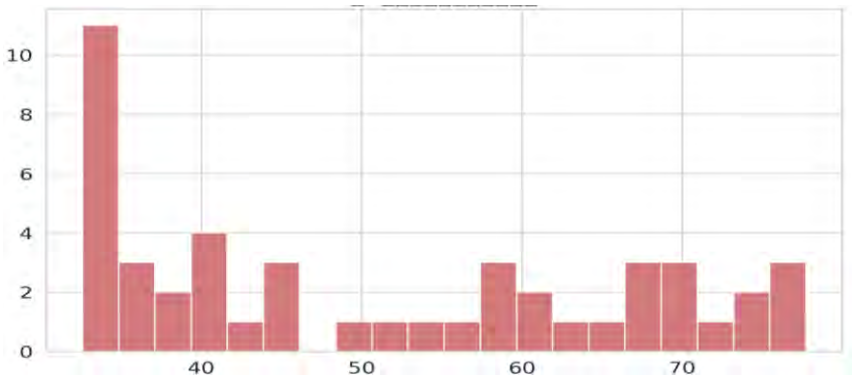
発生数		割合	等価倍率
大潮	122	26.4%	1.17
中潮	173	37.4%	1.13
その他潮	167	36.1%	0.90
計	462	大潮→中潮→その他潮	

3.4 月の南中高度と地震発生の関係（図表 3.4 参照）

M>3.5 地震について、発生当日の月の南中高度を整理した。季節によるバラツキはやや見られるが、全体として「低高度の日（50° 以下）」（等価倍率 1.09）と、「高高度の日（70° 以上）」（等価倍率 1.09）が高い発生頻度を示している。

図表 3.4 月の南中高度と地震発生数の関係

南中高度	冬	春	夏	秋	全体	等価倍率
50° 以下	12	10	15	12	49	1.09
	36.4%	29.4%	42.9%	35.3%	36.0%	
50～70°	8	10	13	7	38	0.85
	24.2%	29.4%	37.1%	20.6%	27.9%	
70° 以上	13	14	7	15	49	1.09
	39.4%	41.2%	20.0%	44.1%	36.0%	
計	33	34	35	34	136	

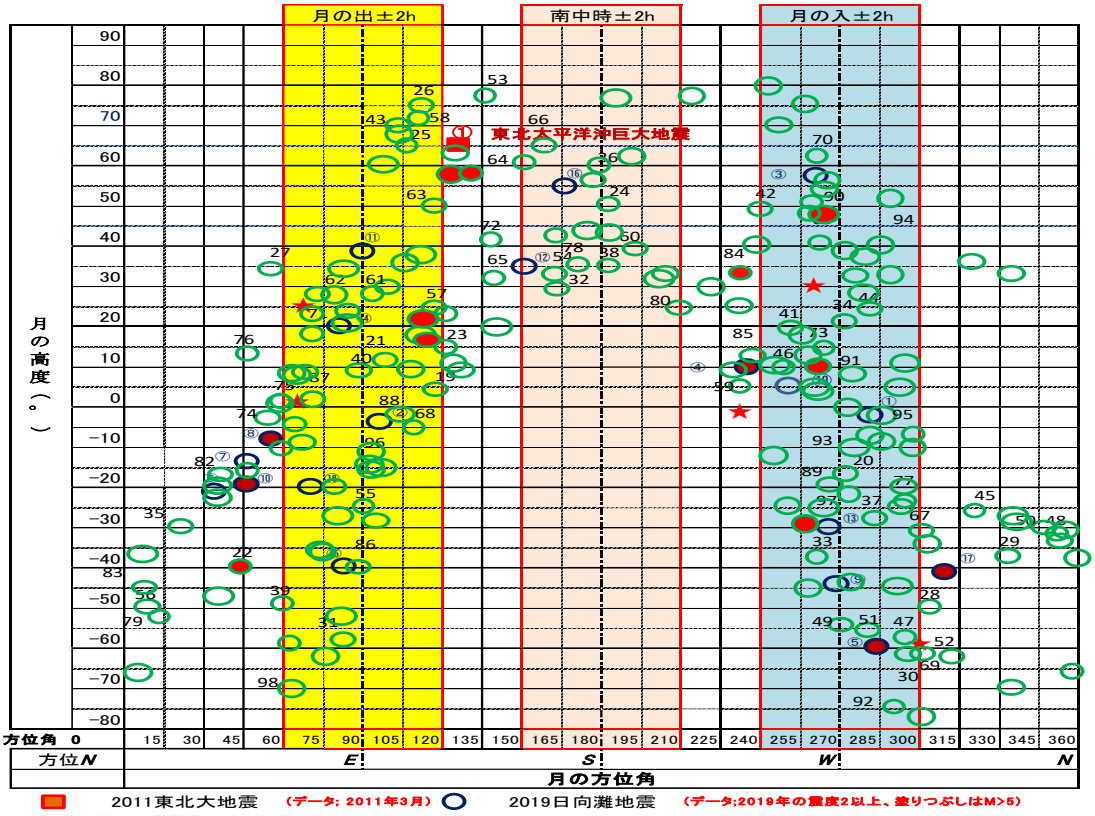


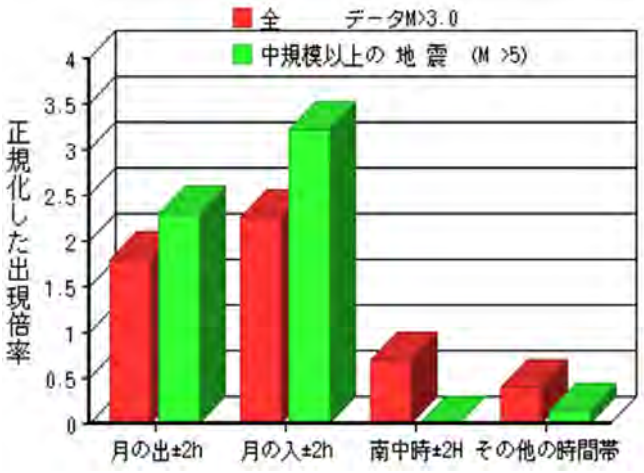
月の南中高度頻度図

3.5 地震発生時刻と月の位置(方位角と高度)の関係(図表 3.5 参照)

当該地域(領域 A)における過去の被害地震、および 2019～2024 年 M>3 地震について、「月の位置高精度計算ソフト(気象庁)」を使用して、各々の発生時刻における震央付近の月の位置(方位角と高度)データを収集し分析した。「月の出・入り前後±2h の時間帯」、「南中時間前後±2h の時間帯」、「その他の時間帯」に区分し、各時間帯の正規化した出現倍率を算定した。これらの分析結果から、発生時刻の月の位置は、東(E90° 付近)および西(W270° 付近) で、「月の出入り前後±2h の低高度(±40° 範囲)の時間帯」に発生頻度が明らかに高いことが認められた(月の出前後:出現倍率 1.94、月の入り前後: 出現倍率 2.20)。

特に、M>5 で顕著である。





領域A	全データ M>3.0	発生時間帯			
		月の出±2h	月の入±2h	南中時±2H	その他の時間帯
	210	68	77	20	45
		発生比率			
		32.4%	36.7%	9.5%	21.4%
		正規化した出現倍率			
		1.94	2.20	0.57	0.43
	中規模以上の地震 (M >5)	月の出±2h	月の入±2h	南中時±2H	その他の時間帯
	19	8	9	0	2
		発生比率			
		42.1%	47.4%	0	10.5%
		正規化した出現倍率			
		2.52	2.84	0.00	0.21

図表 3.5 発生時刻-月の位置分析図

3.6 発生前日との差(dp1)、前 2 日平均との差(dp2)と地震発生、規模(M)との関係

(図 3.6-1～3.6-3 参照)

dp1、dp2 ともに気圧の上昇・下降の分布に偏りが少なく、気象の影響は弱いことを示している。しかし、dp1、dp2 ともに-3 前後に頻度の突出が見られる。また、地震規模(M)との関係は全体的に不明瞭であるが、規模が M4 以上に大きくなるほど、dp2 はマイナス側に偏る傾向が認められる。

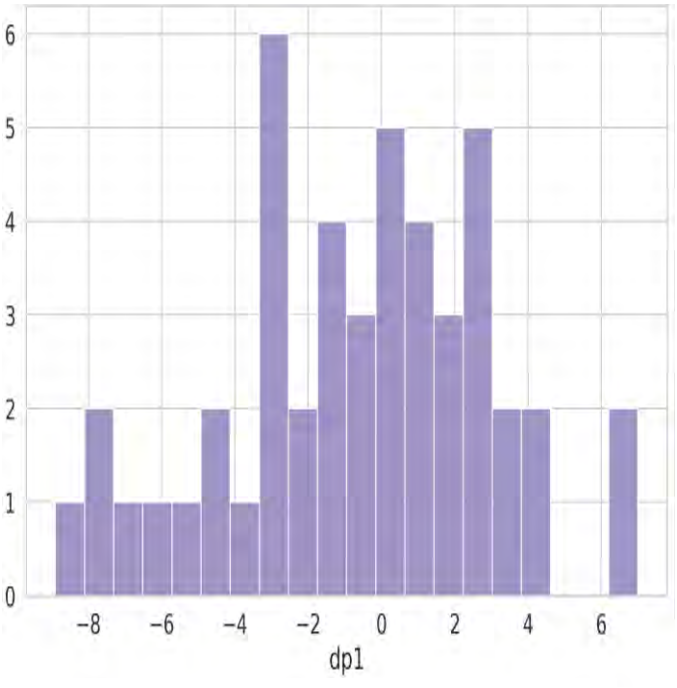


図 3.6-1　気圧差 dp1（前日比）と地震発生

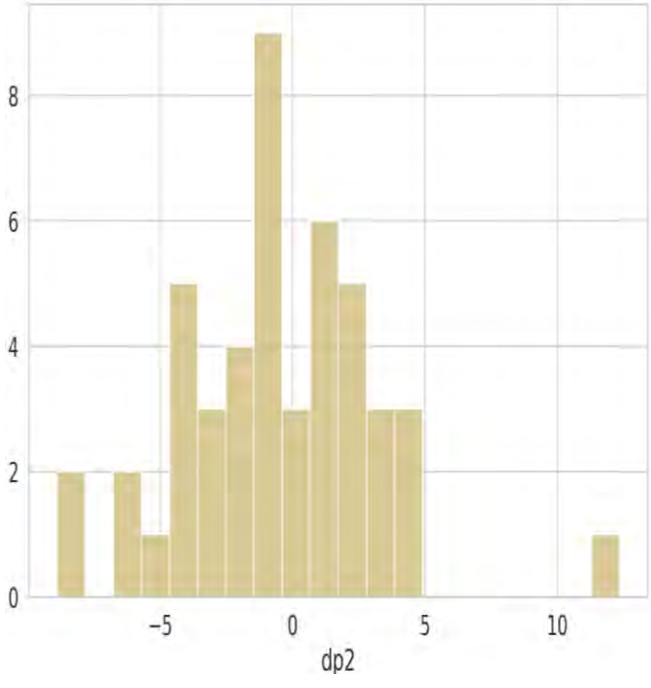


図 3.6-2　気圧差 dp2（前 2 日比）と地震発生

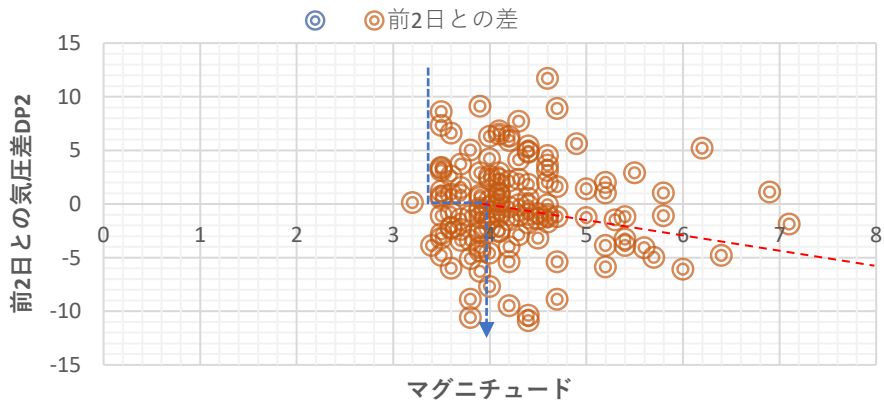


図3.6-3　マグニチュードと発生日の気圧差

3.7 発生間隔の検討(表 3.7 参照)

2019 年～2025 年間(21 ヶ月)の M>3.5 地震について、発生数を季節別に集計し四季別の総発生数を整理した。データ収集期間の月数(21 ケ月)で除し、月当たり平均回数を算定した。さらに月の日数を 30 日とし、その発生回数を日数に換算して平均日間隔を求めた。その結果は、下記のとおりである。

M>3.5 の季節別発生間隔

・冬: 10 日(内 M>4.1 は 17 日)
・春: 10 日(内 M>4.1 は 23 日)
・夏: 9 日(内 M>4.1 は 17 日)
・秋: 12 日(内 M>4.1 は 27 日)

表 3.7 M>3.5 地震の四季別発生数集計表(2019 以降 7 年間)

		プレート境界・スラブ 型										
		M3.5～4.0					M4.1以上					
		春	夏	秋	冬	計	春	夏	秋	冬	計	合計
領域A発生回数		33	28	23	25	109	28	37	27	36	128	237
月平均	個別	1.6	1.3	1.1	1.2		1.3	1.8	1.3	1.7		
	全体	2.9	3.1	2.4	2.9		—	—	—	—		
規模の可能性		54%	43%	46%	41%		46%	57%	54%	59%		

4. 分析結果のまとめと集約整理

上記までの分析結果をまとめ、若干の考察を加えて以下に述べる。

・四季と地震発生数の関係

冬～春は発生頻度が高い特異期間といえる。この点の認識を共有し、この時期は防災意識を特に高める必要がある(ただし、M>3.5 地震は夏の発生頻度が高い)。

・月齢と地震発生数の関係

発生頻度に明瞭な関係は認められないが、月齢 5～9、月齢 11～19、月齢 24～29 にやや増加傾向がみられた。月齢と潮汐は相互に関連する事象であり、下記の潮汐要因がより地震発生との関係が明確である。

・潮汐と地震発生数の関係

大潮と中潮期間に集中する傾向(正規化倍率 1.17～1.13)が確認され、その他潮(小潮・若潮・長潮)は少ない(正規化倍率 0.90)。潮汐と地震発生の関連性は、先行研究 (Cochran et al, 2004; Tanaka, 2010) でも指摘されており、潮汐による海水荷重変動が地殻応力

に寄与している可能性が示唆される。また、潮汐力が最大となる時期に一致しており、Métivier et al(2009) の先行研究の結果とも整合的である。

・月の南中高度と地震発生数

M>3.5 地震は、全体として「低高度の日(50° 以下)」と、「高高度の日(70° 以上)」が、高い発生頻度(等価倍率 1.09)を示し、地震発生には月の高度が大きく関与していると考えられる。宮原義一 他(2010)の先行研究でも、地震発生のトリガーとして「*発生地点(震央)における月の高度が重要な因子になる*」と述べており、本分析結果はこれを支持している。

・地震発生時刻の月の位置(方位角と高度)

発生時刻の月の位置は、東 (E90° 付近) および西 (W270° 付近) で、「月の出・入り前後の低高度(±40° の範囲)の時間帯」に発生頻度が高く、これは月の出・入り前後±2h に発生が集中することを表している。この結果は、長澤　工(1973)が報告している結果「*月の位置が東西方向で、高度 0～40° の範囲で発生集中が確認され、発生リスクの高い時間帯を示す*」を支持する。鶴岡 他 (Tsuruoka et al. 1995) は、「*潮汐応力の時間変化率が地震発生に影響する可能性*」を指摘している。「月の南中高度が低い日(50° 以下)もしくは高い日 (70° 以上)」かつ、「月の出・入り前後の低高度の時間帯(±40° の範囲)」が重複するケースでは、両要素の等価倍率を掛けると、その他条件の日より発生リスクが 2 倍以上も高いことになる。

・地震発生と気圧との関係は、dp1、dp2 ともに分布に偏りが少なく、気象の影響は弱いが、dp2 が-3 前後に頻度の突出傾向が見られた。これは、発生日の 2 日前から継続的に気圧が下がる状態、すなわち、天候が悪化して行く気象状況の日に発生し易いことを示唆する。また、M4 より大規模な地震は、dp2 が規模に比例してマイナス側へ下降する傾向が認められた。この事象は天候不良の度合いが大きいほど、より大規模地震の発生リスクが高まることを暗示する可能性がある。

・M>3.5 の平均発生間隔は、以下の通りであった。

冬:10 日(M>4.1 は 17 日)、春:10 日(M>4.1 は 23 日)、夏:9 日(M>4.1 は 17 日)、秋:12 日(M>4.1 は 27 日)

以上の各要因の分析結果を集約し、四季ごとに発生条件を整理して表 4.1 の一覧表に示した。

表 4.1 地震発生間隔と発生条件整理表

（2019～2025年、地震発生の平均間隔と発生日における潮汐、月の南中高度、前2日との気圧差）

季節区分 / 検討領域		春(3～5月)	夏(6～8月)	秋(9～11月)	冬(12～2月)
領域A（プレート境界、スラブ型地震）	発生間隔	M3.5以上；10日、その内、4.1以上の確率は46%（23日）	M3.5以上；9日 その内、4.1以上の確率は57%（17日）	M3.5以上；12日 その内、4.1以上の確率は54%（27日）	M3.5以上； 10日 その内、4.1以上の確率は59%（17日）
	発生日月の南中高度	70°以上の時期が多い	50°以下の時期が最多	70°以上の時期が多い	50°以下と70°以上の時期が多い
		50°以下の時期	50～70°の時期やや多い	50°以下の時期やや多い	
	過去の被害地震	1939/3/20日向灘M7.1 1968/4/1日向灘M7.5 1987/3/18日向灘M7.1 2014/3/14日向灘M6.2 2019/5/10日向灘M6.3	1769/8/28豊後M7.4 1923/7/13九州東方沖M7.3 1984/8/7日向灘M7.1	1857/10/12豊予M7.5 1899/11/25日向灘M7.1 1909/11/10宮崎西沖M7.6 1931/11/2日向灘M7.1 1941/11/19日向灘M7.2	1703/12/31豊後M6.5 1961/2/27日向灘M7.0
	潮 汐	中潮が多く、次いで大潮	中潮が多く、次いでその潮	中潮が多く、次いでその他潮	中潮が多く、次いでその他潮
	前2日との気圧差	M>5 はマイナスが多い			
	発生の時間帯	月の出入り前後2hで、高度±40°の時間帯			

5. 地震の発生予測と実績

5.1 予測方法

毎月末頃に、翌月カレンダーの曜日・日付の下欄に「月齢」・「朔望」・「潮汐区分」・「月の南中高度」を併記したカレンダーを作成。これに、前月の発生実績と平均発生間隔を踏まえて大方の発生時期を想定、さらに発生条件（要因）が複合する期間（１週間程度）を発生リスクの高い日として予測した。発生時刻は、いずれの期間も「月の出入り前後±2h で、高度±40° 範囲の時間帯」と予想している。

5.2 実績と的中率

表 5.1 に予測と実績の事例として、2024 年 8 月の結果を示した。赤の破線枠が予測期間で、枠内に朱書きしたものが実際に発生した地震である。ちなみに、8 日の地震は日向灘地震（M7.1）で、気象庁が「南海トラフ後発地震発生注意報」を発表した地震である。この地震の発生要因は、気圧低下傾向の日（Ad）で、月齢 3.7・南中高度 56.8° ・中潮、発生時刻は 17;43（月の入り前 3.5h）であり、全てほぼ予測通りであった。

以上の結果より、本研究でまとめた発生要因の複合による予測は、ある程度の信頼精度を担保していると考えられる。

表 5.1 **2024年 地震予想日と実績レンダー**

2024/08夏　　予測日:2024/07/31

曜日	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土
日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
月齢	26.2	27.2	28.2	29.2	0.7	1.7	2.7	3.7	4.7	5.7	6.7	7.7	8.7	9.7	10.7	11.7	12.7	13.7	14.7	15.7	16.7	17.7	18.7	19.7	20.7	21.7	22.7	23.7	24.7	25.7	26.7
朔望				新月									上弦							満月						下弦					
潮汐	若潮	中潮		大潮				中潮				小潮			長潮	若潮	中潮		大潮				中潮			小潮			長潮	若潮
南中高度	84.2	83.7	81.5	78	73.5	68.3	62.6	56.8	50.9	45.2	39.9	35	31	28	26.6	26.8	29	33.1	35.9	38.7	45.5	52.8	60.3	67.4	73.7	78.8	82.3	84.1	84.1	82.5	79.4
領域A				M>3.5 Ad				日向灘 Dp30 M7.1 AdO	日向灘,大隅沖 Dp30 M5.3 AdO	日向灘 Dp30 M3.9 AdO	大隅沖、日向灘 Dp30 M5.3 AdO	日向灘 Dp20 M4.1 AdO			大隅沖 Dp40 M4.1 AdO			M>3.5 Ad				大隅沖 Dp30 M4.1 Up×									日向灘 Dp30 M2.7U p×	日向灘 Dp30 M4.7 Up×

予測期間と気圧差dp2の予測　・赤文字は的中　・青文字は見逃し　・黒文字は予測対象外(M<3.5)の地震

事例のような毎月の実績を集計し、年間の的中率を算定した。最新 2025 年の的中率算定結果を表 5.2 に示す。本表に示すように、当り率(a)77.5%、見逃し率(b)22.5%で、両者を加味した的中率（α）は 61.6%であった。この程度の的中率が有意であるかは明確に言えない。しかし、被害地震となり得る M4.1 以上の見逃し率が 12.5%と低い点は、事前防災の観点から予測の有用性は十分あると考えられる。

表 5.2　2025 年の予測と実績による的中率

（過去の被害地震及び2019～2024年までの実績に基づく発生条件からの予測）

		予測期間に発生							予測期間に未発生(n2)	データ数 (N=n1+n2+n3)	当たり率(a)						空振り率(c)
		規模の予測結果				発生日の気圧差					規模				気圧差		
		予測規模の範囲	予測より小規模	予測より大規模	計(n1)	予測通り	はずれ	計(n1´)			発生の有無(a)	予想規模	規模小	規模大	予測通り	はずれ	
M>3.5	領域A	9	11	11	31	17	14	31	8	39	77.5%	29.0%	35.5%	35.5%	54.8%	45.2%	20.5%

M>3.5の予測なし						3.5<M<4	M>4.1	計		非予測地震の発生数(n3)	見逃し率(b)			予測の的中率（α）	
	領域A					4	5	9		9	3.5<M<4	M>4.1	全体(b)		
											10.0%	12.5%	22.5%	61.6%	

当たり率(a)	見逃し率(b)	空振り率(C)
a=n1/(n1+n3)	b=n3/(n1+n3)	C=n2/N

的中率（α）
α＝a*(1-c)

本研究の成果は、過去の研究で「*応力が既に蓄積されたプレート境界やスラブ内では、潮汐応力が破壊の引き金（トリガー）として作用している可能性がある*」（Cochran et al, 2004；Tanaka, 2010）や、「*月の位置（方位角と高度）と地震発生の時間的偏りは、潮汐応力の時間変化率が地震発生に影響している可能性を示す*」（Tsuruoka et al, 1995；Emter, 1997）。また、「*地震発生が単一要因ではなく、複数の天文・潮汐要因の重ね合わせで決まることを示唆する*」（Heaton, 1975；Tanaka, 2004）等の報告を支持する結果であった。

6. あとがき

本稿では、日向灘周辺（仮称：領域 A）のプレート・スラブ型地震を対象とした分析結果を示した。本地域のほかに、地震多発地域（例:熊本・近畿三角地帯・山陰地方）と地体構造およびフィリピン海プレートの地下構造を考慮して区分した残りの領域（B～G）ついても、同様のデータを蓄積している。現在は、内陸活断層型の地震多発地域（領域 B・C・D）についても分析を進めている。最終的には、的中率をより高めた精度で領域 G の南海トラフ地震の予測を行う所存である。

最後に、本研究は専門外の立場から地道にデータを積み重ねた成果であり、今後も継続的なデータ蓄積と分析を通じて、地震発生メカニズムの理解と予測手法の改善、発展に寄与したい。

引 用 文 献

<潮汐と地震の関連研究：国際文献>

1) Heaton, T. H. (1975). Tidal triggering of earthquakes. Geophysical Journal International, 43(2), 307-326.

2) Cochran, E. S., Vidale, J. E., & Tanaka, S. (2004). Earth tides can trigger shallow thrust fault earthquakes. Science, 306(5699), 1164-1166.

3) Tanaka, S. (2010). Tidal triggering of earthquakes prior to the 2011 Tohoku-Oki earthquake. Geophysical Research Letters, 37, L00G26.

4) Métivier, L., de Viron, O., & Conrad, C. P. (2009). Evidence of earthquake triggering by the solid Earth tides. Earth and Planetary Science Letters, 278(3-4), 370-375.

<潮汐と地震の関連研究：日本の研究>

5) 田中寅雄(1985 年)；地震発生における潮汐の影響とその解釈，地震予知Ⅱ

6) 松村正三 (1994) ；潮汐力と地震活動の相関について,地震予知連絡会会報，51，45-52.

7) 田中佐千子(2001 年)；地球潮汐による地震のトリガー現象，東北大学 MS

8) 田中　寛(2004) ；地震の潮汐誘発に関する統計的研究，地震 第 2 輯，57(4)，281-293.

9) 宮原義一 他(2010 年);潮汐力と地震発生の相関関係について，人と自然 21

10)田中寛 (2013) ；潮汐応力と地震発生の関係，地震ジャーナル，66，123-134.

<月齢・月位置と地震の関連研究>

11) 長沢　工(1973 年)；地震の発震時刻と月・太陽の位置関係について,測地学会誌

12) Tsuruoka, H., Ohtake, M., & Sato, H. (1995). Statistical test of the tidal triggering of earthquakes: Contribution of the ocean tide loading effect. Geophysical Journal International, 122(1), 183-194.

13) Emter, D. (1997). Tidal triggering of earthquakes and volcanic events. In Tidal Phenomena (pp. 293-309). Springer.

以　上

硬山における流出対策のための調査事例

○米谷優佑 1) *・森岡研三 1)
1)　ＵＩＣコンサルタント
* E-mail: kometani@ube-ic.co.jp

Runoff Control Investigation at a Coal Waste Site

Yusuke Kometani 1) *, Kenzo Morioka 1)
1)　UIC Consultant
** E-mail: kometani@ube-ic.co.jp*

キーワード：ボタ，流出対策，洗掘，航空レーザ計測
Keywords: Coal waste, Runoff Control, Scouring, Airborne Laser Scanning

１．はじめに

硬（ボタ）とは，石炭の採掘時に発生する廃石のことであり，これを集積した人工的な山を硬山（ボタ山）という（写真 1[1)]）．硬山の斜面は一般に安定しており，降雨によるボタの流出は通常発生しないが，集水地形（谷部や沢筋）においては，降雨による洗掘を伴う流水により，下流域への流出が発生する場合がある．

本調査対象地では流出対策として既設堰堤が設置されている．堰堤の増改築検討に際し，ボタの分布範囲・性状および流出量を把握するための地質調査を実施した．本発表では，この調査において工夫した手法およびその結果を紹介する．



写真 1.　硬山の例

２．調査手法・結果

2.1　地形データ取得

調査範囲の空中写真を写真 2[2)] に示す．空中写真には，既存堰堤位置および上流の沢筋を記載した．また，写真から読み取れるボタの分布範囲や造成地等の情報を併記した．

調査範囲は約 0.3km²と広大であることから，地形データ取得には，航空レーザ計測による三次元点群データ作成および解析とした．この手法により，広域対応と後工程での任意断面作図が可能となった．また，流出が発生している既存堰堤上流の沢筋については，より詳細な地形データを取得するため，路線測量（現地測量）とした．

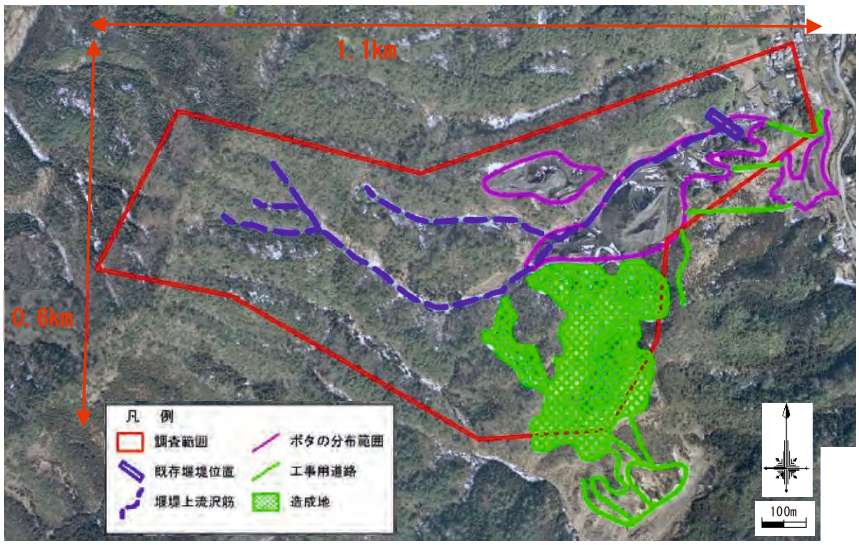


写真 2.　調査範囲の空中写真

2.2　地表地質状況（ボタ分布範囲）および硬山斜面状況の把握，流出範囲の想定

航空レーザ計測により作成した赤色立体地図 [3] と空中写真を参考に，現地踏査により地表地質状況およびボタ分布範囲を直接確認した．地表踏査結果図を図 1 に示す．

硬山斜面の状況について，急勾配で崩壊・浸食の跡がある不安定な斜面は，既存堰堤が存在する沢筋に限定されており，その他の斜面はなだらかで安定していた（傾斜 35°程度）．

流出範囲の想定について，堰堤の上流から約 250m（測点 No.0+300m）地点において，浸食等の流出跡のない安定した平坦地が認められた．上流からのボタ流出は当地を末端としており，流出可能性範囲の頭部に設定することとした．また，路線測量範囲も当地点までとした．

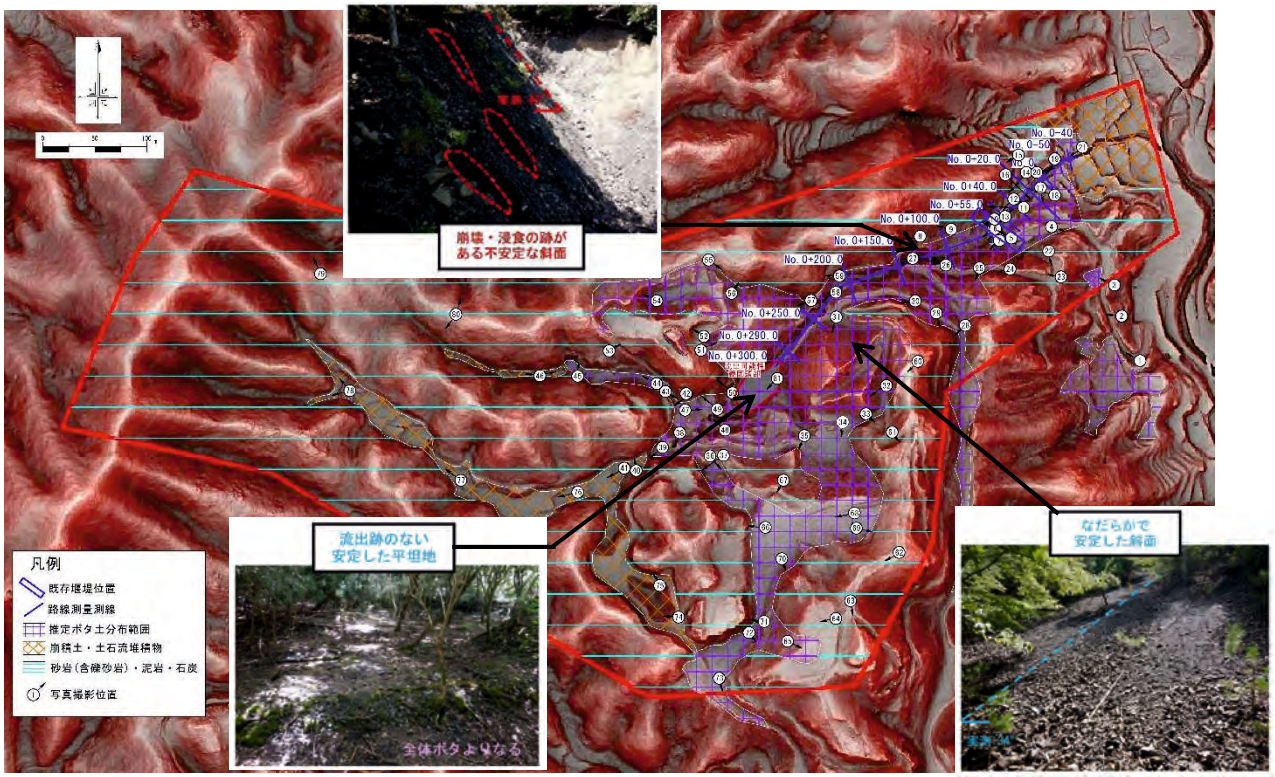


図 1　地表踏査結果図

2.3　地下地質状況およびボタ-地山境界の把握

流出が想定される沢筋において，ボタ分布量把握および流出量の想定を行うために，ボーリング調査を実施した．ボーリング位置は，堰堤上流約 100m 地点（測線 No.0+151.2m）にて，左岸側の沢底部付近に露頭（強風化含礫砂岩）を確認できたため，当地点と堰堤の間を補完するように配置した．ボーリングコア写真および作成した推定地質断面図（堰堤上流沢筋縦断）を図 2 に示す．

現況の沢筋底部では，最大約 4m ボタが堆積していた．ボタの下位には，基盤岩である美祢層群の含礫砂岩および泥岩が確認された．なお，局所的ではあるが石炭も確認された．

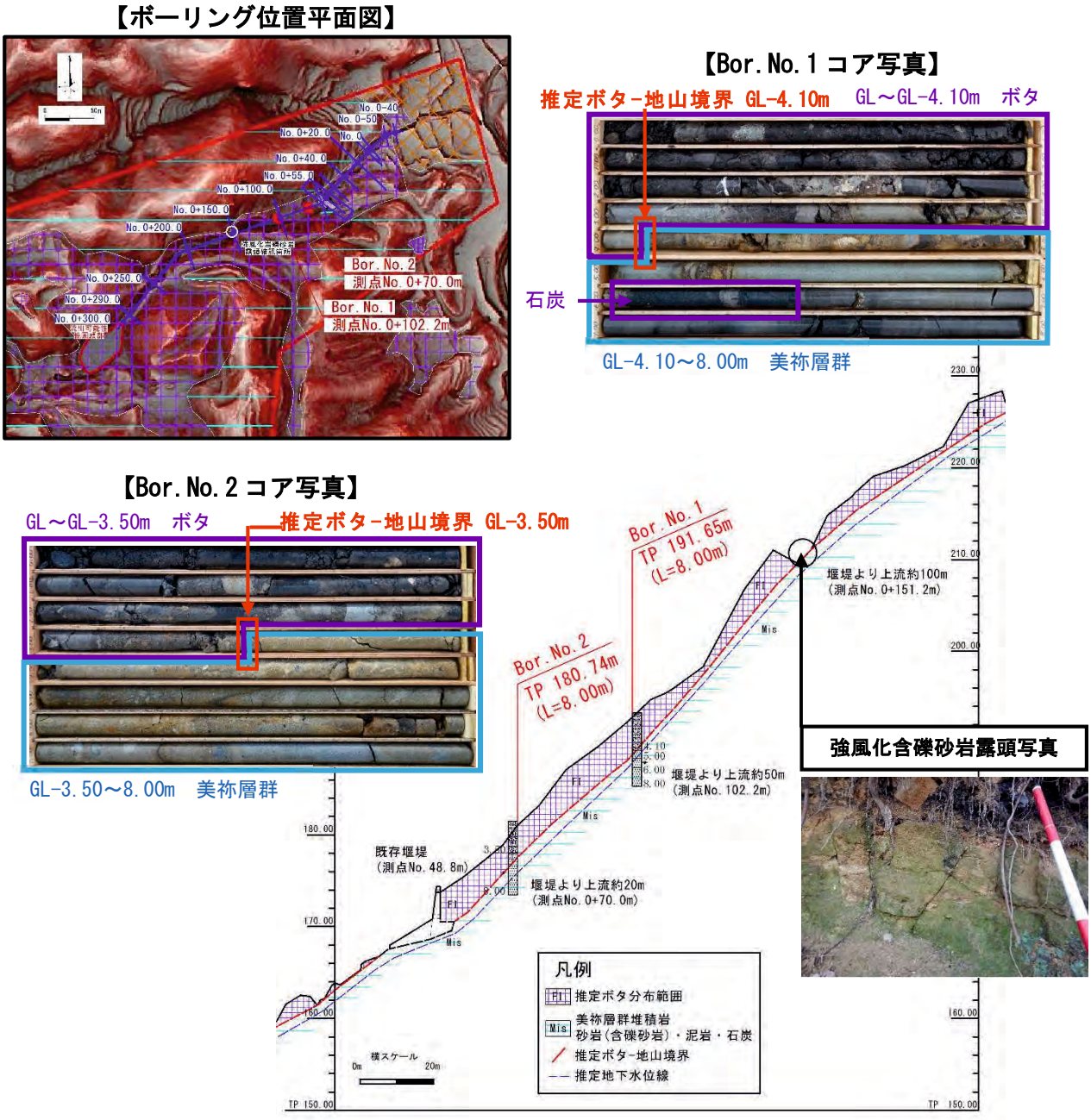


図 2　推定地質断面図（堰堤上流沢筋縦断）およびコア写真

2.4　ボタ分布量および想定流出量の算出

ボタ分布量・想定流出量の算出参考図を図 3 に示す．ボタ分布量は，航空レーザ計測により作成した断面図を用い，地表踏査結果および推定地質断面を基にボタ分布範囲を作図した．ボタ分布範囲（断面積）と断面間距離の積から全体量を算出した結果，48 万 m^3 であった．

ボタ想定流出量については堰堤上流の沢筋を対象として，路線測量断面を使用した．

断面図上の急勾配斜面下端から，現地で確認した「安定した斜面の傾斜」（実測値 : 34°）をプロットし，この線より上部（図 3 桃色部分）を崩壊・浸食が生じる不安定な部分（想定流出断面積）とした．

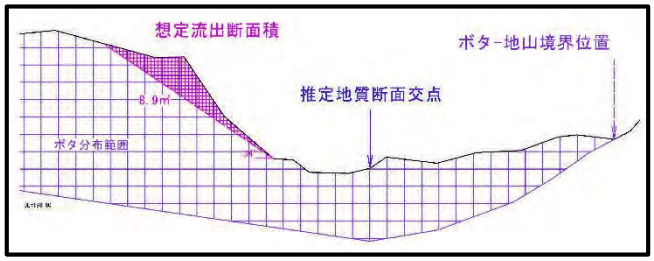


図 3　ボタ分布量および想定流出量の算出参考図

計算結果は 2 千 m^3 であり，不安定斜面に限れば大規模な土量ではなかった．このため，洗掘対策を前提とするが，不安定部分の廃土による対応も一つの手段と考えた．

3．洗掘を伴う流出発生による再測量・再検討

上記算出後，大雨により堰堤上流側の沢筋で洗掘に伴うボタ流出が生じた．なお，このときも安定した斜面および平坦地では流出は生じておらず，想定した流出可能性範囲頭部から下流域への流出はなかった．

再度路線測量を実施し，堰堤上流の沢筋におけるボタ分布量および想定流出量を改めて算出した．参考図を図 4 に示す．

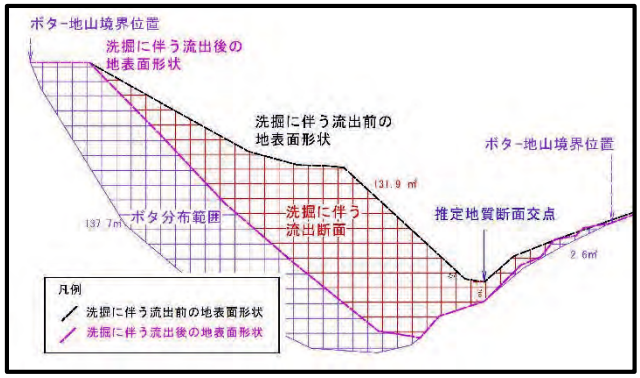


図 4　再測量および再検討参考図

現況沢筋底部に最も深くボタが堆積していると仮定していたが，洗掘によりさらに深部まで分布していることが判明し，再度算出した沢筋沿いのボタ分布量は 2 万 2 千 m^3 であった．

今後も，洗掘対策が実施されない限り同様の流出発生が想定されることから，流出想定量は沢筋に分布するボタ全体とした．対策の方向性としては，安定した平坦地を参考に，既設堰堤下流側に新規堰堤を設置し，堆積場所（ポケット）を確保することを提案した．

4．引用文献

1)　編集：炭鉱写真集編集委員会，発行：宇部市　(1995)：炭鉱　戦後 50 年のあゆみ, 23p
2)　国土地理院：空中写真（1 万分の 1, 1975 年撮影）
3)　アジア航測株式会社：赤色立体地図

阿武火山群伊良尾山の湧水形成要因の検討

○小井戸一浩 1)2)*・太田岳洋 2)
1)復建調査設計，2)山口大学
* E-mail: k-koido@fukken.co.jp

Hydrogeological Controls on Spring Formation at Mt. Irao, Abu Monogenetic Volcano Group

Kazuhiro Koido 1)2)*, Takehiro Ohta 2)
1) Fukkenchousasekkei Co.,Ltd, 2) Yamaguchi University
** E-mail: k-koido@fukken.co.jp*

キーワード：火山地質，鉱物，湧水，水質，雨量
Keywords: Volcanic geology, Minerals, Spring water, Water quality, Rainfall

１．はじめに

建設事業では，工事中に地下水が影響する事象として，切土やトンネル掘削に伴う周辺水源の枯渇，地質構造と地下水位上昇に伴うのり面の不安定化，自然由来重金属の溶出や酸性水の発生など，多様な影響が生じている．一般的には，地質調査と水文調査により水理地質構造を推定し，上記の問題解決を図っているが，事後対応が多い現状がある．

設計，施工前の調査段階から，可能な限りリスクを抽出して対応策を検討していくことが，工事中の安全確保，事後対応減少による工期短縮，コスト縮減につながると考えられる．

２．目的

調査段階にて，精度よくリスクを抽出するためには，地質構造や水理地質構造の推定精度を向上する必要がある．

本研究では，帯水層を成している地層内の鉱物と，地下水水質の関係に着目する．地下水は，地表に降った雨などが地下へ浸透し，帯水層に涵養することで形成される．この浸透過程で，地層内に存在する鉱物と水が反応し，地下水水質が形成されると考えられる．本研究の最終目標は，様々な現場の鉱物と地下水の反応を整理し，地下水水質から地質構造を推定する手法を構築することを目指している．

その基礎データとなる代表地として，阿武火山群の伊良尾山を設定した．

３．阿武火山群　伊良尾山の概要

阿武火山群の伊良尾山は，山口県阿武郡阿武町と萩市の境界付近に位置する．伊良尾山は，

先行研究により山体全体がスコリア丘と推定されている[1)2)]．周辺には伊良尾山から噴出した溶岩が分布する．この溶岩は，伊良尾山の山体を成すスコリア丘より後の活動とされるが，溶岩はスコリアよりも比重が重いため，スコリア丘の下から流れたと推定されている．上位にスコリア丘，下位に溶岩が分布し，比較的シンプルな地質構造が推定されている．

また，伊良尾山の麓（スコリア丘の下端付近）には，戦前に掘られたとされる横坑が存在し，湧水が湧出している．



写真 1　戦前に掘られた横坑

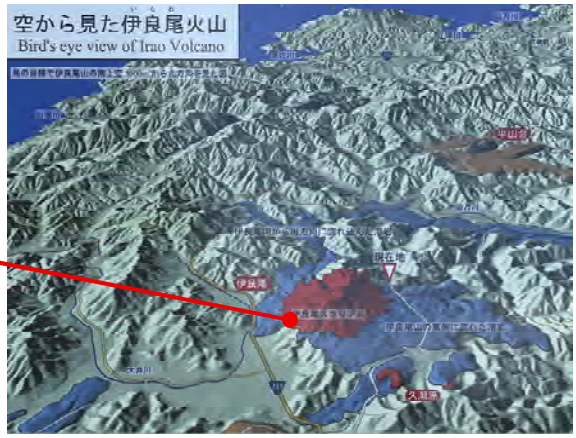


図 1　伊良尾山周辺の地形地質状況[1)]

４．調査方法

代表地の伊良尾山にて，地質踏査，鏡下観察による岩石記載，全岩化学組成分析，山頂での雨量観測，横坑での湧水流量観測，湧水と雨水の主成分イオン分析・酸素水素同位体分析を行った．

５．調査結果

（1）地質踏査結果

踏査の結果，山頂から麓にかけてスコリア層が分布し，麓付近に溶岩が確認された．

山頂のスコリア層は，火山弾を包有するスコリア層であり，赤褐色を呈す．伊良尾山から噴出した本質的なマグマが，空気中の酸素と反応して酸化したと推定される．山頂から麓にかけての林道では，火山灰が混じるスコリア層となり，部分的に溶岩片や火山弾を包有する．

麓付近の溶岩は，図 3 に示した Loc②と③で分布が異なる．Loc②の溶岩は，標高約 460m 付近に分布し，塊状部，板状部，クリンカー部が確認され，地表を流下した特徴を示す．下位と上位に火山灰が混じるスコリア層が存在し，両者とも溶岩との境界付近に反応相が確認されるため，溶岩流下後間もなく，上位のスコリア層が堆積したと考えられる．

Loc③の溶岩は，標高約 500m に確認され，35°程度の勾配を流下した特徴を示す．伊良尾山の推定火口は，西側部分が崩れ，馬蹄形を呈している．Loc③の溶岩の位置は，火口の崩れた位置の下方となるため，比較的高い位置から溶岩が流出したことにより，西側斜面が火口

とともに崩れた可能性が考えられる．

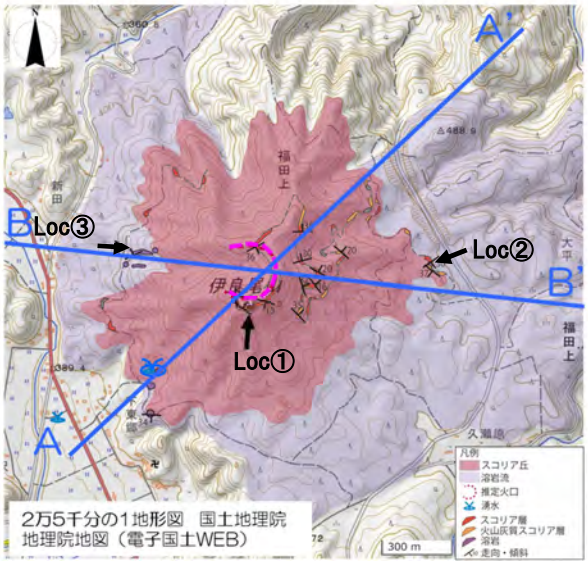
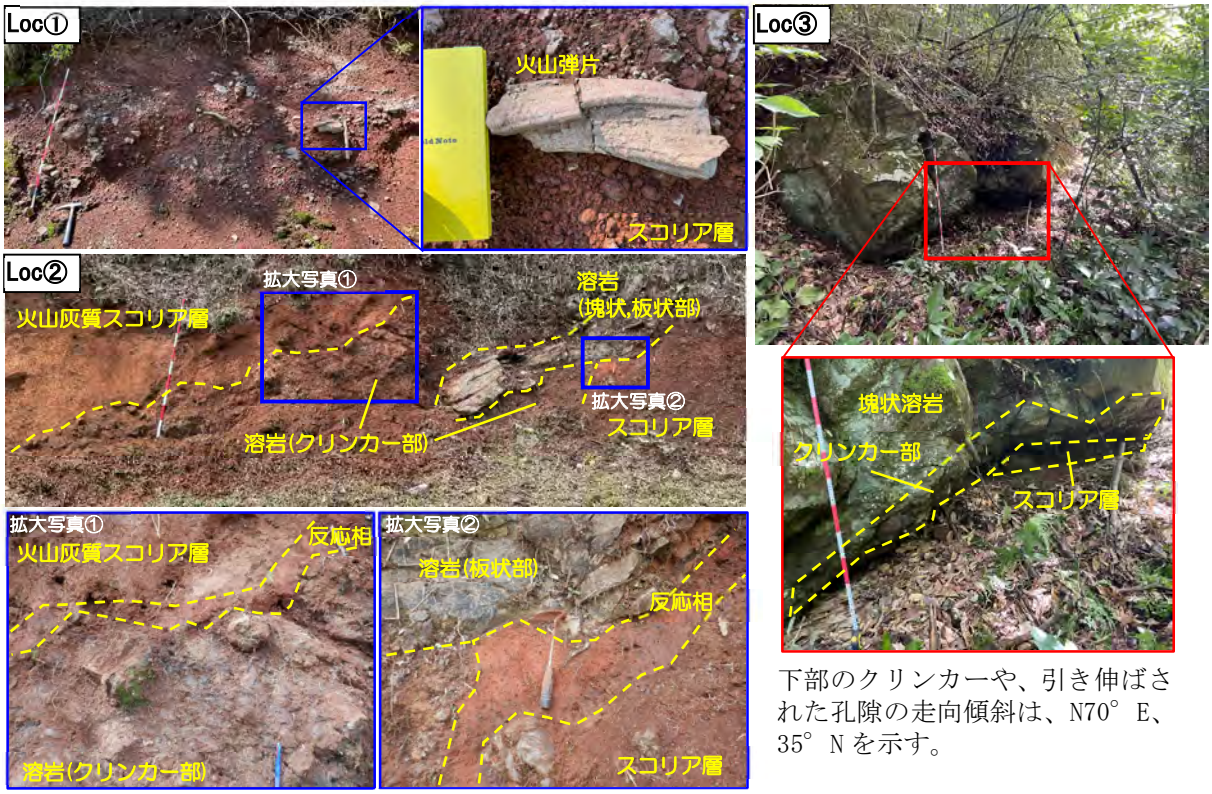


図 2　伊良尾山周辺の地質図（背景地図　2 万 5 千分の 1 地形図 [3)]）



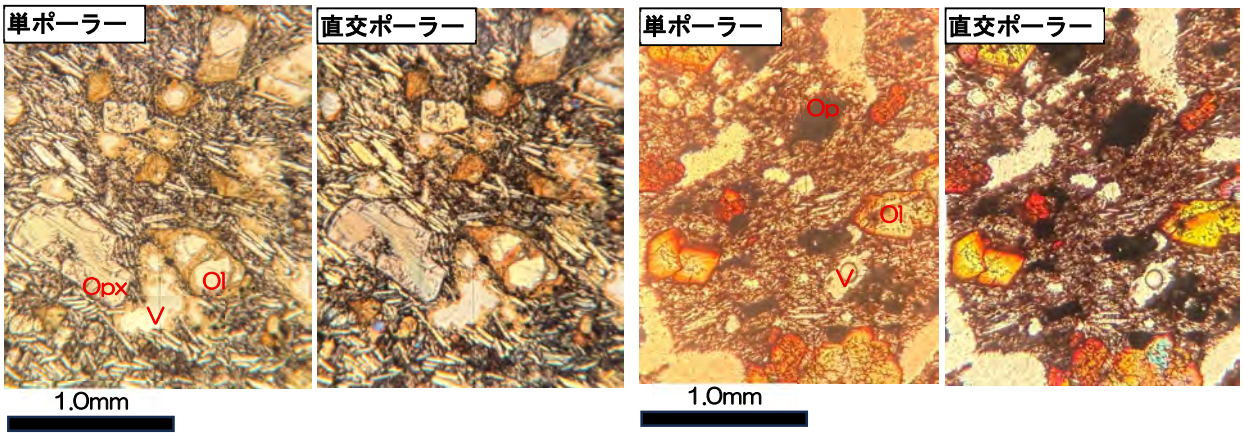
下部のクリンカーや、引き伸ばされた孔隙の走向傾斜は、N70° E、35° N を示す。

写真 2　現地の露頭状況

（2）鏡下観察と全岩化学組成分析結果

伊良尾山に地下水が浸透する過程で接触が予想されるスコリア，火山弾，溶岩片の鏡下観察を行った．比較のため，麓に分布する溶岩も観察を行った．全岩化学組成は，山頂付近の溶岩片と，麓に分布する溶岩の分析を行った．

溶岩片とスコリアの鏡下写真を写真 3 に示す. 鏡下観察の結果, いずれの試料においても, 斑晶としてかんらん石，斜方輝石，単斜輝石が存在する．石基は，斑晶鉱物のほか，針状の斜長石，不透明鉱物，非晶質部が存在する．溶岩よりもスコリアの方が，孔隙が多く存在し，相対的な透水性は，溶岩よりもスコリアの方が，透水性が高いと考えられる．



Ol：かんらん石，Opx：斜方輝石，V：孔隙

写真 3　鏡下写真（左：溶岩片,右：スコリア）

全岩化学組成分析の結果，山頂部の溶岩片の組成は，SiO_2:49.4wt.%，MgO:6.9wt.%，CaO:8.6 wt.%，Na_2O+K_2O=4.7 であり，麓の溶岩の組成は，SiO_2:49.4wt.%，MgO:7.1wt.%，CaO:8.3wt.%，Na_2O+K_2O=4.6 であった．山頂と麓で分布が異なるが，マグマの組成はほとんど変化がないことがわかった．両者は，鏡下観察でもほぼ同様の組成を示す.

（3）雨量・湧水量観測結果と主成分イオン分析結果

湧水流量と雨量の観測の結果，連続観測を行った期間のうち，令和 6 年 11 月 26 日～令和 7 年 11 月 25 日の 1 年間において，総湧水量は 60305.7 ㎥，雨量は 2086.5mm が観測された．降雨が少ない時期の湧水の基底流量は 40～70L/分と推定される．

湧水と雨水の主成分イオン分析の結果，雨水にはほとんどのイオンが含まれないが，横坑湧水には多くのイオンが含まれる．このイオン濃度の差が，伊良尾山のスコリア層を浸透する過程で付加されたイオンと考えられる．また，鏡下観察にて確認された鉱物と関連する元素として Ca，Mg，Na，K が挙げられる．これらのイオンを季節ごとに比較すると，流量が比較的多くなる夏季に濃度が高い傾向が得られた．この結果は，鉱物と地下水が反応している傾向を表している可能性が高いと考えられる.

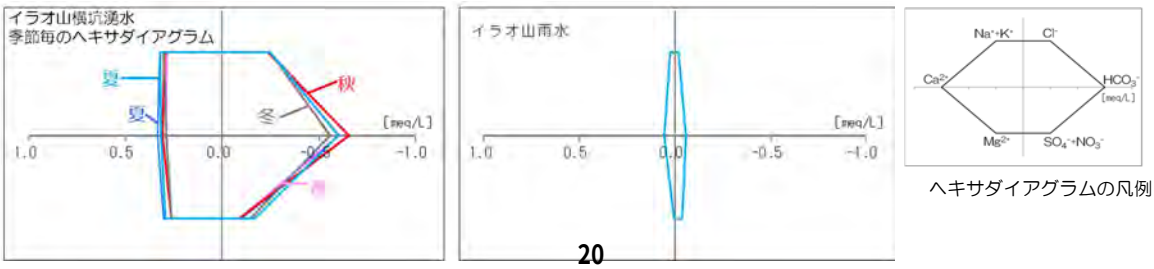


図 4　湧水と雨水のヘキサダイアグラム

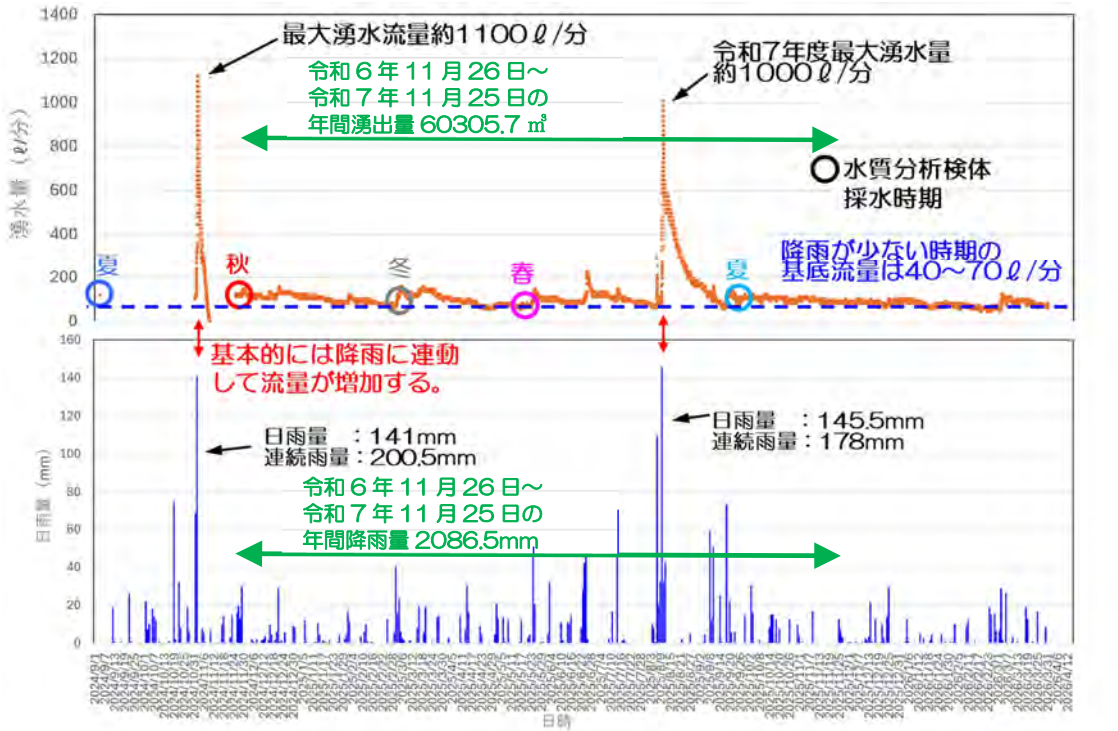


図 3　横坑の湧水量と雨量の観測結果

６．考察

山頂付近と麓の溶岩の化学組成が同程度であったため，両者の活動はほぼ同時期であることが推定される．火道に沿って山頂付近に噴出したものと，火口まで到達できずにスコリア丘の下部，もしくは中腹付近から溶岩として流出したものが存在すると推定される．中腹付近からの流出は，山体の西側から流出したことが考えられ，その影響で火口の西側が崩壊した可能性が考えられる．この分布により，比較的透水性の低い溶岩は，火口付近～西側にかけて分布標高が高いことが推定される．この構造により，伊良尾山の山体に降った雨は，地下水として浸透する過程で南側に流下しやすい状況（図 5 の青矢印のイメージ）にあると推定される．また，酸素水素同位体比の高度効果の検討（図 6）より，横坑湧水に山頂付近の降雨も含まれると考えられる．以上から，伊良尾山の湧水の起源となる降雨の範囲は，山頂付近から南側と推定され，最大でも図 7 の③の範囲が推定される．また，地表の谷地形や横坑の延長を考慮すると，図 7 の①②の範囲が想定される．

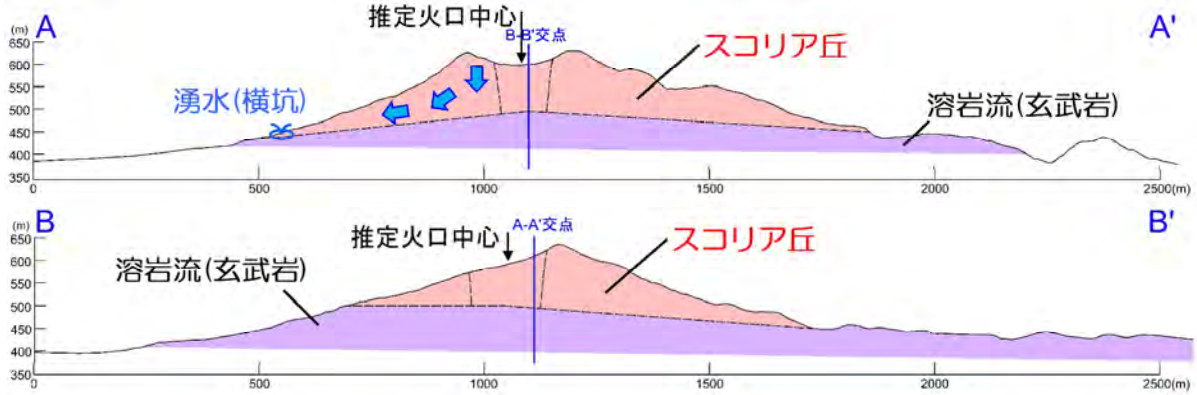


図 5　伊良尾山の推定地層断面図

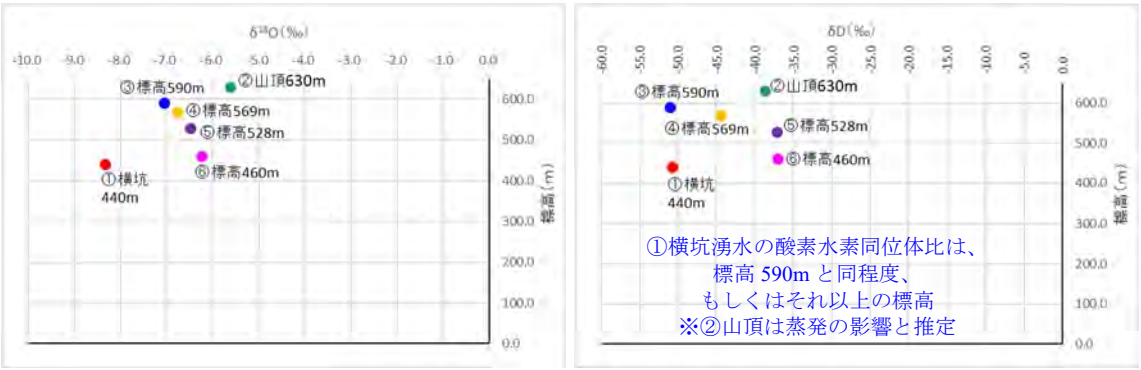


図 6　酸素水素同位体比を採水標高別に示したグラフ

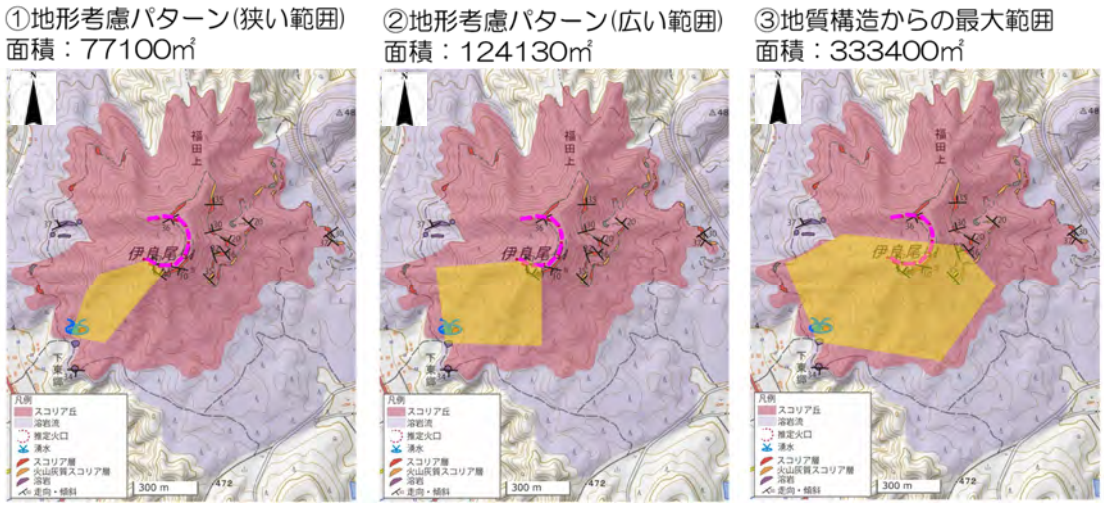


図 7　横坑湧水の起源となる雨水の推定範囲（黄着色範囲が推定涵養範囲）

図 7 に示した範囲への降雨量を，図 3 に示した年間降雨量から換算すると，①約 160870 ㎥，②約 259000 ㎥，③約 695640 ㎥となる．この降雨量と総湧水量（60305.7 ㎥）を比較すると，それぞれ，①37%，②23%，③9%となる．また，個別の降雨イベント毎に雨量と湧水量を比較しても，概ね上記と同様の%を示す．その時の平均流出量（期間中の流量－同期間の基底流量）は，約 200L/分程度であった．降雨により水頭が上がり，基底流量よりも多く地下水が排出されるものと考えられる．この水頭が上がる際に，鉱物と継続的に反応している宙水の取り込みや，普段反応していない部分に地下水が触れることにより，湧水のイオン濃度が上昇しているものと考えられる．

今後，水質の連続観測，液相反応解析を行い，湧水の形成メカニズムを明らかにする．

引用文献

1)　萩市観光協会：イラオ火山灰層保存施設（山口大学　永尾隆志，堀川義之，清杉孝司監修）
2)　永尾隆志・清杉孝司・堀川義之（2009）：阿武火山群伊良尾火山の噴火史と岩石学的特徴，日本火山学会講演予稿集，2009 巻，47p.
3)　国土地理院：地理院地図　電子国土 WEB　https://maps.gsi.go.jp/

比抵抗法二次元探査の事例紹介

○大井手淳二 1)*　坂西啓一郎 2)
1) リクチコンサルタント　2)モニー物探
＊ E-mail: ohide@rikuchi-net.jp

Case study of resistivity two‐dimensional exploration

Junji Ohide 1)*, Keiichirou Sakanishi 2)
1) Rikuchi Consultant, 2) MONY geophysical survey
＊ E-mail: ohide@rikuchi-net.jp

キーワード：比抵抗法二次元探査，地下水，断層，文献調査，地表踏査
Keywords: Resistivity two-dimensional exploration , Groundwater, Fault, Literature Research, Surface survey

１．はじめに

比抵抗法二次元探査（いわゆる「電気探査」）は、弾性波探査と並ぶ、土木分野で代表的な物理探査手法である。

弾性波探査で得られる弾性波速度が地盤の硬軟をイメージしやすい(硬いと速度が速く、軟らかいと速度が遅い)のに対し、比抵抗法二次元探査で得られる数値は比抵抗値であり、直接的に地盤の硬軟とは結び付かない。これは、比抵抗値は、地質の違い、間隙率、地下水の有無などの多種多様な要因により変化するためであり、その解釈には技術者の総合的な判断が必要となる。

よって、物理探査の手法については、目的に応じて使い分ける必要がある。今回、弊社にて比抵抗法二次元探査を適用した水源調査、断層調査の事例を紹介し、その有効性について述べる。

２．水源調査の事例

2.1 業務の背景

山口県長門市日置では、昨今の渇水に備えるため、上水道の新たな水源を探していた。上水道の水源としては、ダム、ため池、河川、地下水（井戸）などがある。水源を探す際には、地形的な要素も重要であるが、本業務では「ボーリング井戸による水源」を想定したため、既設の上水道設備に接続することを考慮すると、用地上の制約の方が大きい。

よって、本業務では、既設の浄水場周辺にて新たな水源となる地下水を探すこととし、比抵抗法二次元探査を提案、実施した。

2.2 調査地の地質

調査地の広域地質図を図 2.2-1 に示す。

基盤岩として、白亜紀後期の阿武層群-長門層（An）と古第三紀の日置層群（Hi）が分布し、その上位を第四紀の堆積物（H）が被覆している。なお、長門層（An）と日置層群（Hi）は東西走向の断層にて接している。

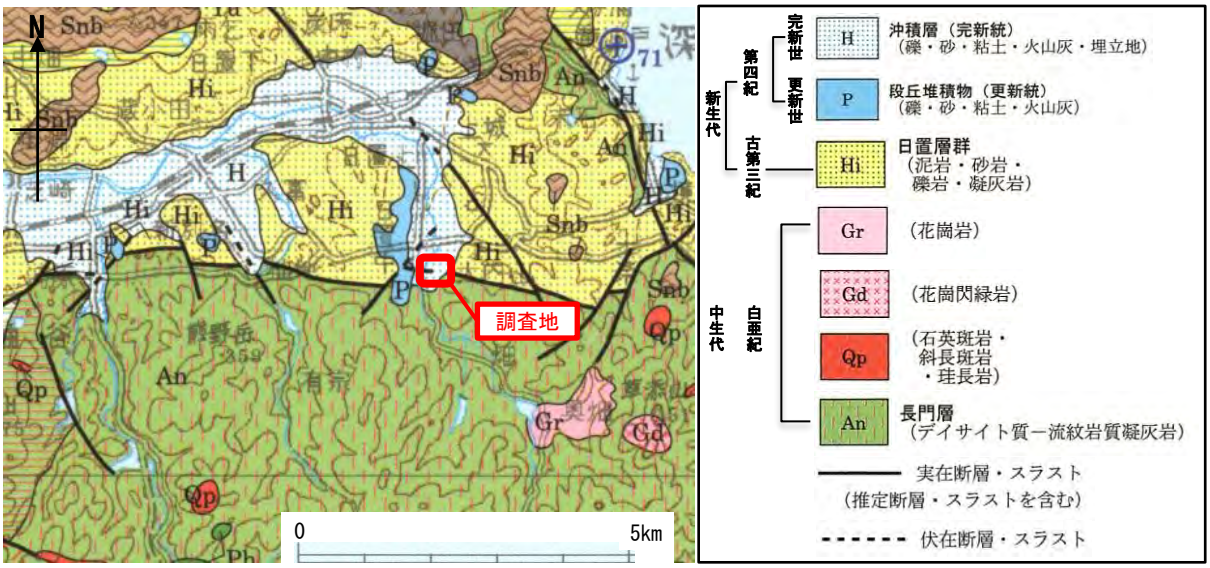


図 2.2-1　広域地質図[1]

2.3 測線配置

長門市提供の都市計画図をベースとして、広域地質図をコンパイルした。なお、コンパイルマップ作成時には、地表踏査も併せて実施し、現地の露頭分布も確認した。また、ここでは詳細な報告は割愛するが、周辺の民間井戸の井戸調査も実施し、水位や水質（水温、pH、電気伝導度、濁度）等のデータも考慮した上で、比抵抗法二次元探査の測線配置を決定した（図 2.3-1 参照）。

本調査は 2 段階に分けて実施され、初回業務では E-1～E-3 測線を実施した。地質断層の周辺に断層を起因とした水ミチが形成されていることと、地質断層の方向と同じ沢から地下水が供給されていることを想定し、E-1 測線（L=400m）を設定した。また、これに直交する E-2 測線(L=200m)と E-3 測線(L=200m)を、地質断層を挟むように配置した。

これら 3 測線にて、ある程度地下水の賦存状況を確認した上で、後続調査にて E-4 測線（L=150m）を配置し、水源候補地の絞り込みを行った。

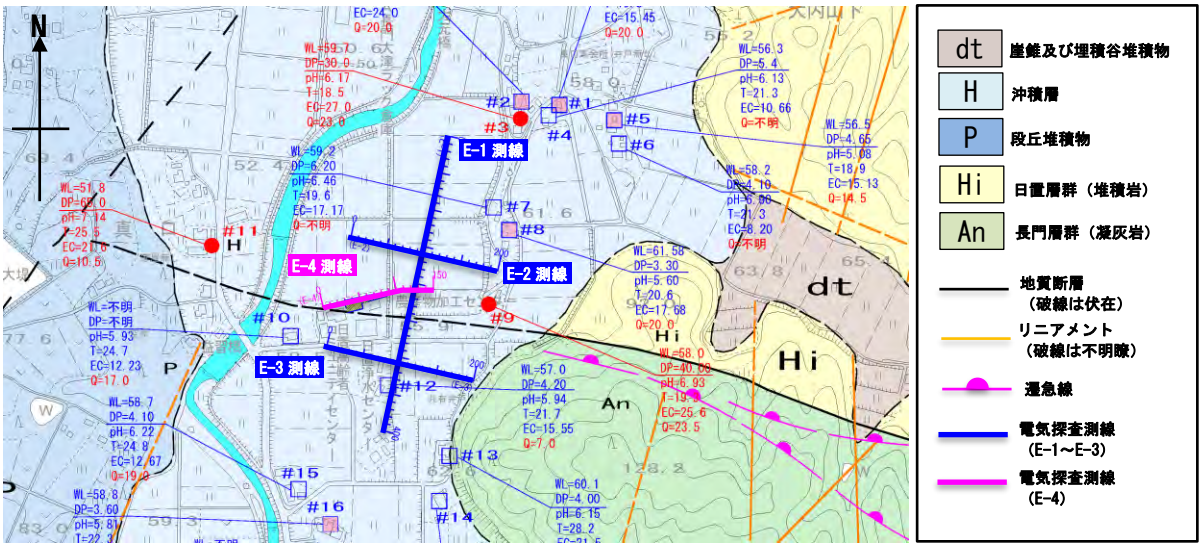


図 2.3-1　コンパイルマップと測線配置

2.4 比抵抗断面図とボーリング井戸の提案

(1)E-1 測線

地質断層 A が明瞭に検出されたものの、断層に沿った水ミチ（低比抵抗帯）は検出されなかった。水源としては、日置層群（Hi）の層理面に沿った地下水の分布が期待された。

また、比抵抗の水平方向の連続性を途絶えさせる、比抵抗アノマリー帯①（高比抵抗）が検出された。なお、本測線上でのボーリング井戸の設置は用地上の制約により見合わせることとなり、後続調査（E-4 測線）にて、位置を絞り込むこととなった。

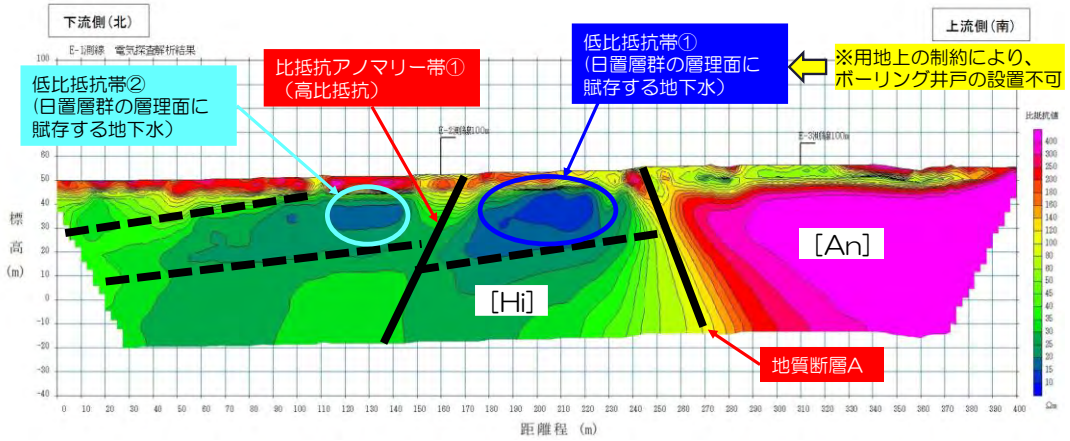


図 2.4-1　比抵抗断面図（E-1 測線）

(2)E-2 測線

日置層群（Hi）の領域であり、層理面に沿った地下水が期待された。

また、E-1 測線と同じく、比抵抗の水平方向の連続性を途絶えさせる、比抵抗アノマリー帯①（高比抵抗）が検出された。なお、本測線上でのボーリング井戸の設置も、用地上の制約のため見合わせた。

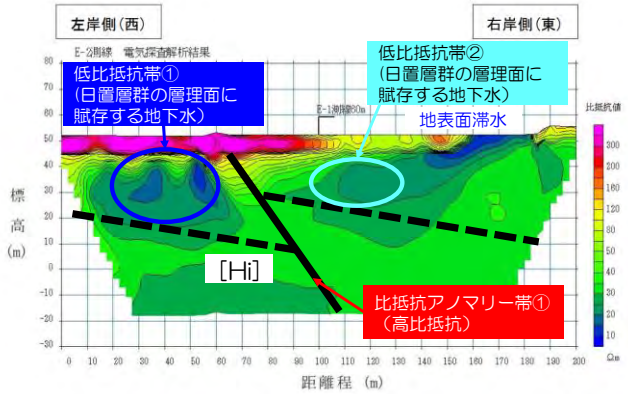


図 2.4-2　比抵抗断面図（E-2 測線）

(3)E-3 測線

阿武層群-長門層（An）の領域で総じて高比抵抗。水源は期待できない。

比抵抗アノマリー帯②（相対的に低比抵抗）が検出された。何らかの地質構造を反映していると考えられるが、地下水は賦存していない。

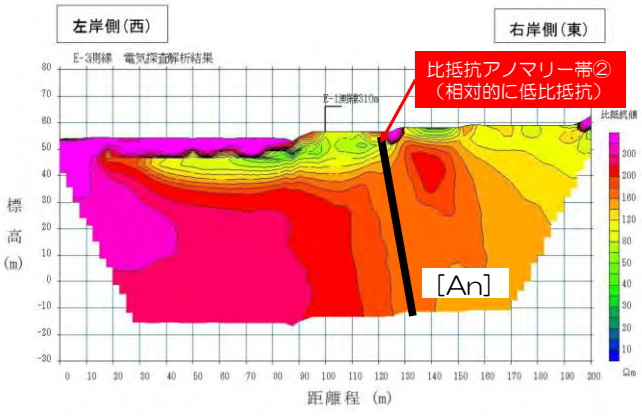


図 2.4-3　比抵抗断面図（E-3 測線）

(4)E-4 測線

官地の範囲内にて、日置層群（Hi）の層理面に沿った地下水が期待できる領域（低比抵抗帯①’）を検出し、これを狙ったボーリング井戸を提案した。

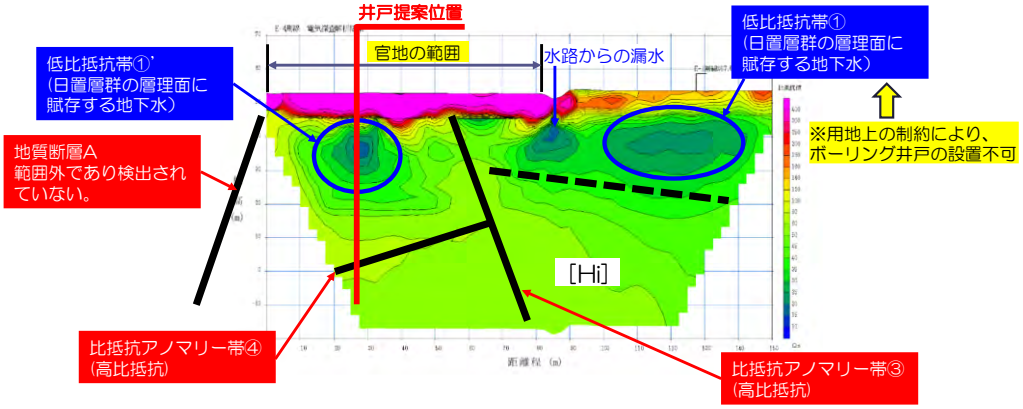


図 2.4-4　比抵抗断面図（E-4 測線）

３．断層調査の事例

3.1 業務の背景

山口県岩国市錦町にて県道の改良工事が計画されており、その設計のためのボーリング調査を実施した。文献調査結果から断層の分布が懸念されていたが、先行業務（令和 6 年度）による地表踏査結果、ボーリング調査結果から、断層が分布する可能性が高まった。断層による脆弱部が構造物の支持層に影響を与える事が懸念されたため、断層の位置を明らかにするために、比抵抗法二次元探査を提案し、令和 7 年度に実施した。

3.2 調査地の地質

基盤岩として、古生代の錦層群（Ns）と中生代白亜紀後期の花崗岩（Gr）が分布している。両者の関係はルーフペンダントであり、古い時代の錦層群（Ns）が、新しい時代の花崗岩（Gr）の上位に載っている。また、調査地には、北東-南西の走向を示す活断層が想定されている。

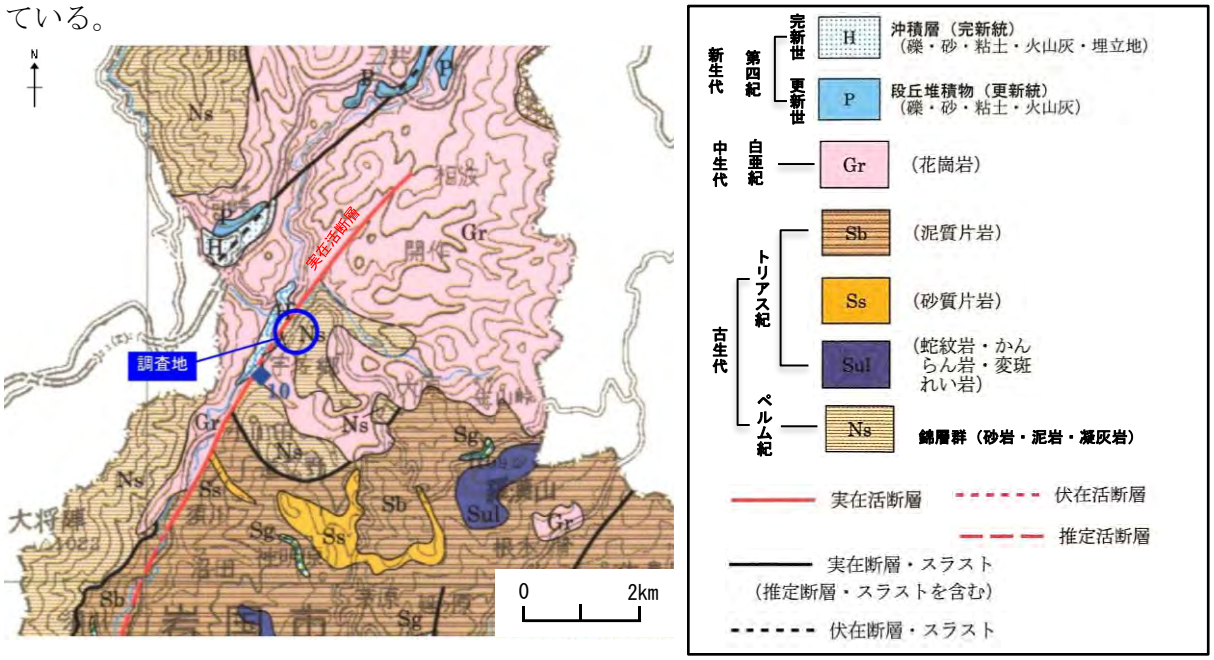


図 3.2-1　広域地質図[(1)]

3.3 測線配置

まず、空中写真判読によってリニアメントを抽出した。その後に実施した地表踏査の結果により、リニアメント位置にて市道沿いのり面に露出していた花崗岩の露頭が消失する（リニアメントに近づくにつれて、岩質も悪くなる）ことと、市道上の傾斜変換点が明瞭であることから、ある程度、断層の分布範囲を絞り込んだ。

次に、断層位置を正確に把握することを目的として、市道に沿って E-1 測線(L=100m)を配置した。また、断層の方向を捉えるために、少し離れた位置にて、E-1 測線とほぼ平行の E-2 測線(L=100m)を配置した。なお、図中のボーリング調査地点は、道路構造物の支持層調査を目的としたものであり、断層の性状調査を目的としたものではない。

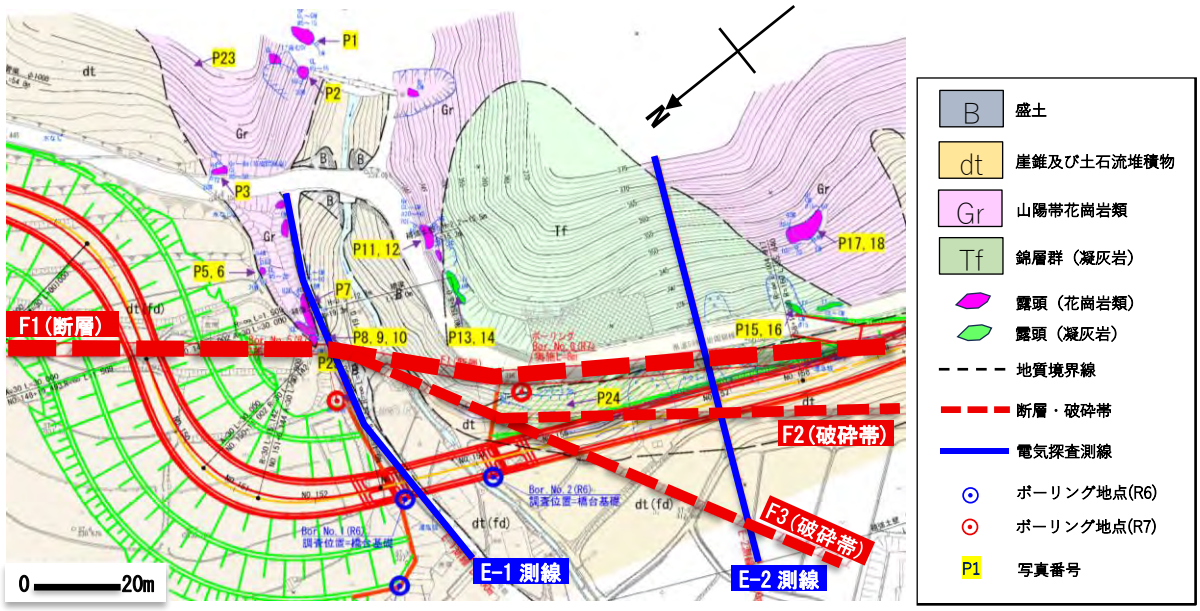


図 3.3-1　地質平面図と測線配置図

3.4 比抵抗断面図

(1)E-1 測線

距離程 35m 付近に低比抵抗帯の高まりが検出され、F1 断層による水ミチと解釈した。

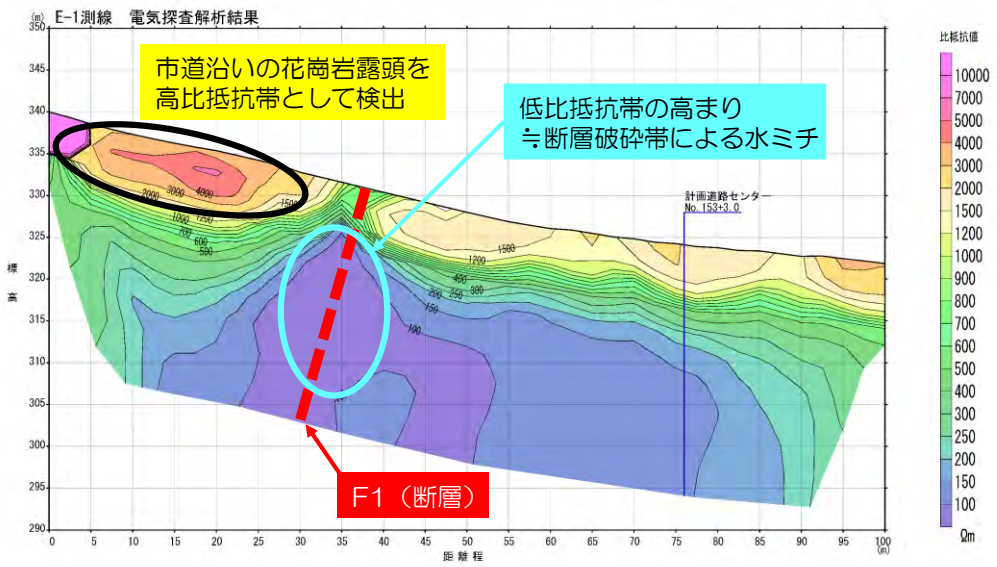


図 3.4-1　比抵抗断面図（E-1 測線）

(2)E-2 測線

県道直下に低比抵抗帯の高まりが検出された。これは、E-1 測線で認めた F1 断層による水ミチと同一のものであり、F1 断層の方向が明らかとなった。

本測線では、比抵抗コンター線が垂れ下がっている区間が認められた。高角度の高比抵抗帯であり、これを F2 破砕帯や亀裂密集部と想定した。

また、距離程 90m 付近には、F1 断層と同様な低比抵抗帯が認められたが、近傍に露頭やボーリングデータが無く、地層のズレを確認できないため、破砕帯との解釈に留めた（F3）。

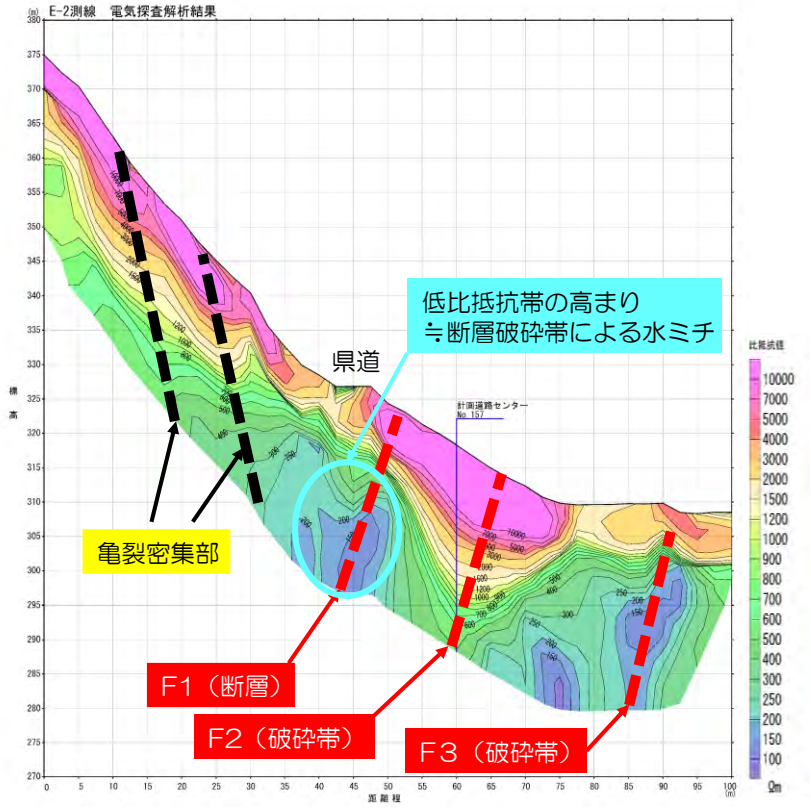


図 3.4-2　比抵抗断面図（E-2 測線）

3.5 断層調査のまとめ

比抵抗法二次元探査により、F1 断層の位置を絞り込んだ。これにより、F1 断層は重要な構造物である橋梁の支持層には影響を与えないことが分かった。なお、計画道路が湾曲しているため、F1 断層は計画道路と何回か交差する。よって、交差する箇所においては、補強土壁の支持層に一部断層による脆弱化帯が出現する可能性があるが、その分布範囲は限定的であり、大きな問題とはならない。

４．おわりに

比抵抗法二次元探査は、発破による起振回数が限定される弾性波探査に比較すると、スイッチの切り替えによって多数の経路に電流を流すことができるため、高密度なデータが取得できる。

比抵抗値が「色々な要因にて変化する」点はやや難解ではあるが、得られた比抵抗値を、各種調査結果（文献調査、地表踏査、ボーリング調査等）を踏まえて解釈することで、水源調査や断層調査では特に有効な手法である。

今回紹介した事例では、比抵抗法二次元探査の有用性を認識するとともに、文献調査や地表踏査にて、予め「場の理解」をしておくことの重要性も再認識した。

謝辞

事例発表をご快諾いただいた、山口県長門市上下水道局及び、山口県岩国土木建築事務所工務課の 2 機関に、厚く御礼申し上げます。

引用文献

1)　山口県地質図 第 3 版（15 万分の 1), 2012.12, 山口地学会

橋梁計画地における基盤岩不陸の確認事例
―高密度電気探査・高精度表面波探査・微動アレイ探査の適用と比較―

○竹内美優 1)*
1)ＵＩＣコンサルタント株式会社
* E-mail: miyu.takeuchi.rn@ube-ic.co.jp

Case Studies on Identifying Bedrock Irregularities at Bridge Construction Sites
―Application and Comparison of High-resolution Electrical Resistivity Survey, Surface Wave Prospecting, and Array Microtremor Surveys―

Miyu Takeuchi 1)*
1) UIC Consultant Co., Ltd.
** E-mail: miyu.takeuchi.rn@ube-ic.co.jp*

キーワード：**基盤岩不陸，物理探査**
Keywords: Bedrock Irregularities, Geophysical Exploration

1. はじめに

山口県萩市における道路整備事業に関連して実施された橋梁を対象としたボーリング調査において、既往の地質調査結果と比較し、より浅部に基盤岩が分布する箇所が確認された。本地域ではこれまで多数のボーリング調査が実施されており、既往の調査結果に基づくと、基盤岩は概ね平坦に分布し、その上位には厚い新生代第四紀完新世に堆積した未固結堆積層が水平に分布しているとされてきた。しかしながら、今回の調査により得られたボーリング調査では、基盤岩が従来の想定よりも約 16m 浅部に認められ、大きな不陸差があることが判明した。本報告においては、この不陸差を効率よく物理探査を用いて表現することができないかを検討したものである。

2. 既往調査結果

2.1 調査地の地形・地質概要

調査地は沿岸地域の山間部に囲まれた平地に位置し、近傍に河川が流れる地形を呈する（図-1）。空中写真判読の結果、調査地周辺には北東―南西方向のリニアメントが認められたが、周辺地域に活断層は確認されていない。

地質的には、白亜紀後期の火成作用により形成された阿武層群の福賀層に分類される（図-2）。福賀層は流紋岩質凝灰岩および堆積岩類で構成されており、既往ボーリングでは砂岩・

頁岩・流紋岩質凝灰岩が確認されている。既往成果では、基盤岩上部に未固結の第四紀層が約 40m にわたってほぼフラットに堆積していることが判明しており、地質横断図では基盤岩は平坦に分布すると予想されていた（図-3 左）。

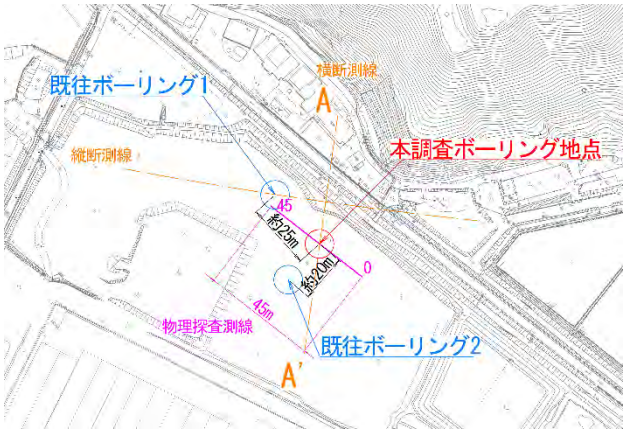


図-1　調査位置図

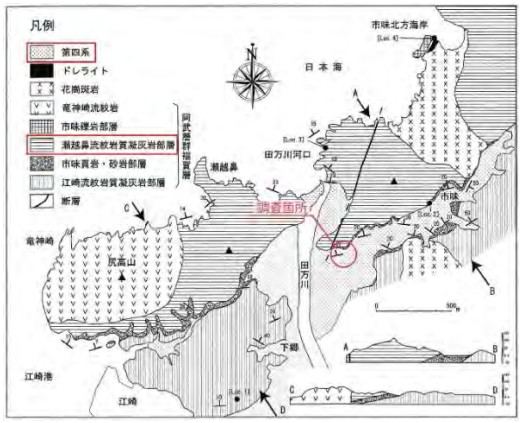


図-2　地質概要（参考文献 [1] に加筆）

2.2　本ボーリング調査結果と課題

橋梁計画地において実施したボーリング調査の結果、約 20m 離れた既往ボーリング地点と比較して、基盤岩の分布深度が約 16m 浅部で確認された（図-3 右）。この結果は基盤岩がほぼフラットに分布するという既往の予測と大きく異なり、著しい基盤岩不陸の存在が明らかとなった。

杭基礎の設計を行うために、基盤岩不陸の原因究明および面的な分布把握が必要となった。基盤岩の分布深度ならびに不陸差を正確に確認するにはボーリング調査が理想であったが、費用面や工期の問題で行うことができなかった。そこで、短時間で不陸差を確認できる方法がないかを検討した結果、高密度電気探査、高精度表面波探査、微動アレイ探査の 3 つの物理探査を実施してみることとした。

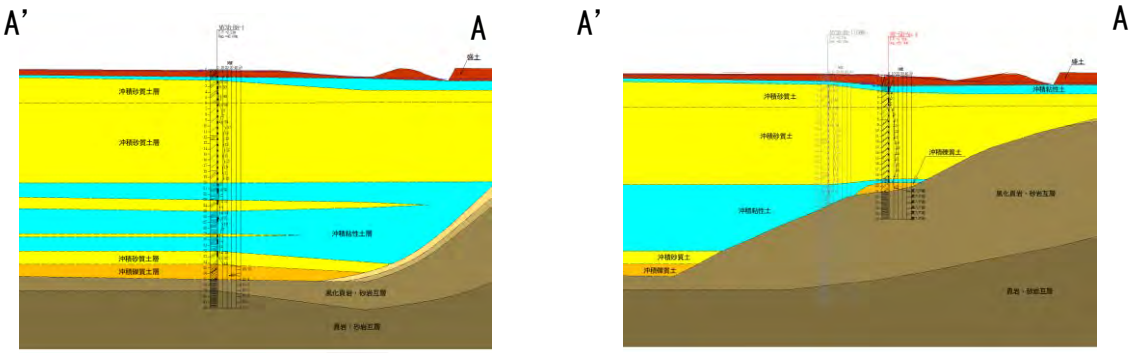


図-3　ボーリング対比断面図（左：既往調査　右：本調査）

3. 物理探査の実施

3 手法の物理探査はいずれも図-1 に示す同一測線（全長 45m）上で実施した。各探査の実施仕様を表-1 に示す。なお各物理探査は、参考文献 [2)・3)・4)] を基に試験および解析を行い、結果をとりまとめた。

3.1.物理探査実施仕様

表-1　物理探査実施仕様一覧

探査手法	測線延長	測点間隔	測定方式	主な適用目的
高密度電気探査	45m	3m	pole-pole 法	地層境界・地下水の広域的把握
高精度表面波探査	45m	1m	MASW 法	地表浅部の S 波速度・N 値推定
微動アレイ探査	45m	5m	常時微動測定	深部基盤岩面の分布深度把握

3.2　高密度電気探査結果

高密度電気探査は、地盤の比抵抗分布を面的に計測することにより地下の地盤構造を推定する手法である。本調査では pole-pole 法を用いて、電極間隔 3m の条件で実施した。探査結果を図-4 に示す。

高密度電気探査の結果、上部の未固結砂層は相対的に高比抵抗を示し、下部には 50Ω・m 以下を主体とする低比抵抗帯が認められた。本地点の基盤岩は中生代白亜紀の頁岩であり、粘土鉱物を含む泥質岩であることから、層理面・亀裂面に沿った地下水の浸透や風化・破砕の影響により低比抵抗を示しやすい。このため、下部に分布する低比抵抗帯は、頁岩からなる基盤岩の分布を反映している可能性があり、基盤岩分布の傾向を示唆するものの、確定的な判定には至らない。

なお、解析結果の測線の端や深部に現れている高比抵抗値や深部の低比抵抗値は、データ不足に起因するインバージョンの偽像である可能性が高い。

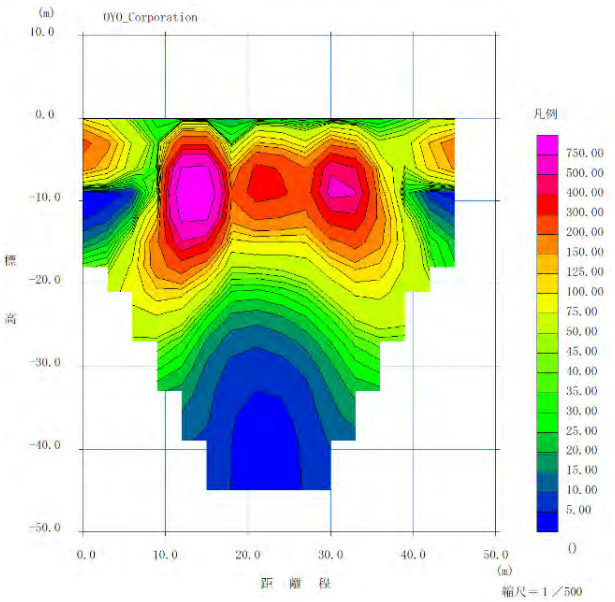


図-4　高密度電気探査　比抵抗断面図

3.3　高精度表面波探査結果

高精度表面波探査は、地表を伝播するレイリー波の位相速度の周波数依存性（分散特性）を解析し、S 波速度構造を推定する手法である。本調査では測線全長 45m、受振器 1m 間隔の条件で実施した。探査結果を図-5 に示す。

探査結果としては、GL-10m 以深には波が到達しておらず、160m/s の速度値でひとまとめになってしまった。GL-10m 以深が一様に 160m/s で表現された主因は、低周波（長波長）成分が観測データに十分含まれておらず、深部までの表面波ディスパージョン情報が取得できなかったことと推定される。しかしながら、GL-10m 以浅は比較的良好なデータが得られており、S 波速度から推定される N 値はボーリング結果と概ね一致した。高精度表面波探査は GL-10m より浅い箇所を対象とした場合に高い適用性があることが確認された。

3.4　微動アレイ探査結果

微動アレイ探査は、地盤の常時微動を複数点で同時測定し、表面波の位相速度を求めて S 波速度構造を推定する手法である。本調査では測線全長 45m、受振器 5m 間隔の条件で実施した。探査結果を図-6 に示す。

探査結果によれば、GL-10m 程度までは高精度表面波探査の速度値とほぼ同じ速度値が検出されており、両手法の整合性が確認された。微動アレイ探査においては GL-10m 以深の速度値も検出されており、地表から地下深部にかけて S 波伝播速度が漸増する速度構造が得られた。S 波速度 330m/s は基盤岩の分布深度を反映していると考えられ、本調査ボーリング地

点（GL-21m で基盤岩に到達）から既往ボーリング地点にかけて基盤面が急激に深くなる傾向が推定される。微動アレイ探査は綺麗に岩盤の分布を表現できており、ボーリング調査で確認された基盤岩不陸の存在を支持する結果が得られた。

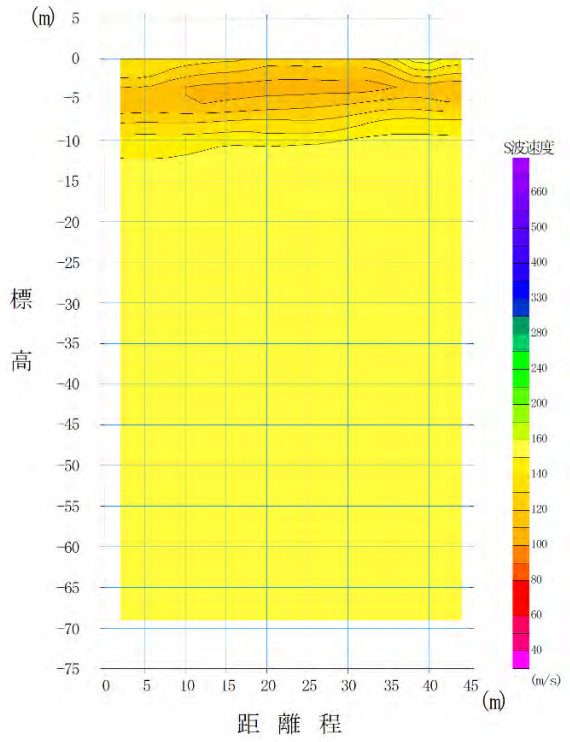


図-5　高精度表面波探査　S 波速度構造断面図

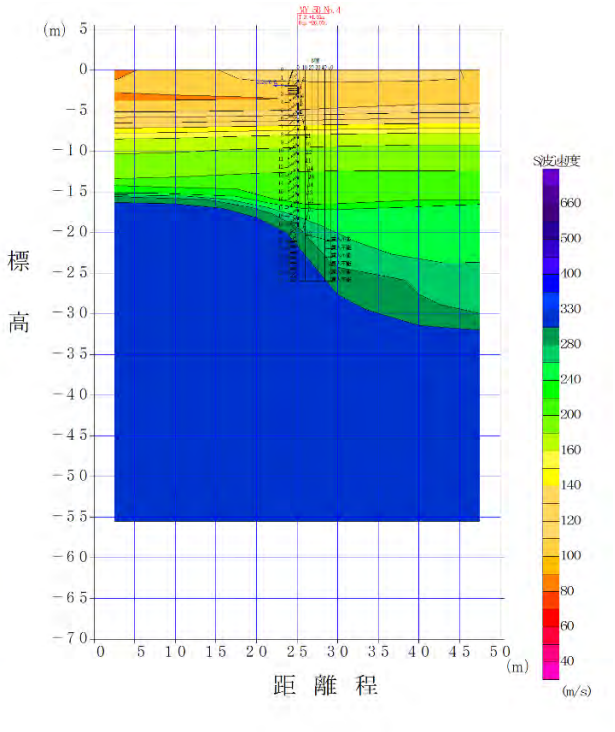


図-6　微動アレイ探査　S 波速度構造断面図

4.　調査結果の考察

橋梁計画地における著しい基盤岩不陸の面的把握を目的として、高密度電気探査・高精度表面波探査・微動アレイ探査の 3 手法による物理探査を実施した。各手法の今回現場への適用性を表-2 に示す。

表-2　各物理探査手法の適用性比較（今回現場）

評価項目	高密度電気探査	高精度表面波探査	微動アレイ探査
基盤岩深度の把握	△	×	○
N 値との対応性	×	△	○
深部地盤構造の広域的把握	△	×	○

（凡例）○：適用性高い　△：条件によっては適用可能　×：適用困難

高密度電気探査については、上部砂層と下部凝灰岩・頁岩基盤岩との比抵抗コントラストから、基盤岩の分布の傾向を何となく示しているようであったが、基盤岩深度の確定的な判定には至らなかった。高精度表面波探査は GL-10m 以浅の地盤性状評価に有効であり、N 値との対応は良好であったが、深部への適用は技術的制約から困難であった。微動アレイ探査は 3 手法の中で深部基盤岩面の分布把握に最も有効であり、基盤岩不陸の面的評価において中心的な役割を果たした。

5. まとめ

今回の結果から、物理探査は目的に応じた適切な手法の選択と、ボーリング調査結果との対比による解析精度の確保が重要であることが再確認された。以下に得られた主な知見を示す。

（1）高密度電気探査は基盤岩分布の傾向を示唆したが、今回の地盤条件においては確定的な基盤岩深度の把握には至らなかった。

（2）高精度表面波探査は GL-10m 以浅の地盤性状評価および N 値推定に優れるが、低周波成分不足により GL-10m 以深のデータ取得は困難であった。

（3）微動アレイ探査は、未固結層が厚い地盤条件下での基盤岩面深度推定に最も有効であり、両ボーリング間の基盤面の急激な変化（不陸差）を面的に捉えることができた。

（4）3 手法を組み合わせることで、浅部から深部にわたる総合的な地盤情報の取得が可能であり、複雑な地盤条件の橋梁計画地における地質調査の精度向上に寄与する。

今後も本事例の成果を活かし、道路整備事業における地質調査の合理化および精度向上に努めてまいりたい。

引用文献

1）日本地質学会（2009）日本地方地質誌 6 中国地方　p270　図 5.3.10.

2）物理探査学会（2008）物理探査適用の手引き.

3）地盤工学会（2015）地盤調査の方法と解説.

4）(一社)全国地質調査業協会連合会（2015）地質調査要領（改訂 3 版）.

比抵抗映像法を用いたため池漏水調査

○河内義文 [1)*]・假屋隆文 [1)]・森山亮一 [1)]・徳久　晶 [1)]
1) 株式会社ケイズラブ
* E-mail: yoshifumi.kochi@kslab.jp

Leakage Water Investigation on Irrigation Pond Using Resistivity Imaging Method

Yoshifumi Kochi [1)*], Takafumi Kariya [1)], Ryoichi Moriyama [1)], Aki Tokuhisa [1)]
1) K's Lab. Inc.
** E-mail: yoshifumi.kochi@kslab.jp*

Abstract

Reservoirs are a valuable water use resource. It has, however, been reported that numerous reservoirs were remarkably aging and suffering from leakage. The resistivity imaging method using high-density electric surveys has been used for investigating reservoirs since 2000 because the development of relevant hardware and software enabled relatively low-cost, nondestructive investigations of reservoir leakage. This paper showed images of the results of surveys conducted at eight reservoirs where leakage occurred and compared the resistivity images with the results of field observations. The values of resistivity in 26 reservoirs including above eight in the embankment, in the section of leakage and in the bedrock were shown, and the range of resistivity values at the point of leakage was described. As a result, it was shown that the resistivity imaging method could enable the estimation of leakage occurring due to the aging of the embankment, poor construction and unsoundness of the structure and surrounding environment.

キーワード：ため池，漏水，高密度電気探査，比抵抗映像法，非破壊調査法
Keywords: Irrigation pond, Investigation of water leakage, High-density electrical prospecting, Resistivity imaging method, No-destructive method

１．はじめに

農林水産省（2014）によるとため池は全国で 21 万箇所存在し特に西日本に多く分布している [1)]．また西日本地域でも兵庫，香川，広島，山口，大阪，岡山の瀬戸内海周辺の 6 県でその 56%が占められている．これらため池は築造年が古いものが多く全体の 90%が大正末期までに築造されたとされている．さらに 1970 年代からの農業体系，法制度の変化により，近年では新造はほとんど皆無であり，老朽化も顕著で危険な状況下にあるため池も多く，本報告で対象とした山口県では，地域防災計画により全 9,996 箇所の内約 1.1%にあたる約 111 箇所が決壊により人家人命や公共施設に大きな被害を与えるとして危険ため池に指定されている．平成 25 年 7 月 28 日の山口・島根豪雨災害でも 4 箇所が甚大な被害を受け，その内 3 箇所は決壊が発生した．

農林水産省が所管するため池整備事業も盛んに実施されてきたが，ため池数が非常に多い

ことから，昭和 20 年代までに築造され 50 年以上経過したものでは，①底樋の老朽化により継ぎ目に不具合が生じる，②アバット部の堤体～盛土境界の透水性の差異から浸透水が集中する，③モグラなど小動物による穿孔，④植物の根系や枯死した植物体が作った穴などを原因として漏水が発生する．漏水が発生するため池数は年々増加し，漏水の状況も経年的に進行し，決壊の危険性が高まっているため池が多い．このような状況にあって，ため池の漏水は下流での浸出・湧水によって認識される．しかし今までの技術ではため池の底樋周辺やコア（前刃金）の欠損などによるパイピングを断面的に把握することは非常に困難であった．

ため池堤体内での漏水通過箇所を非破壊で知ることは，それが重大な問題なのかどうかを判定する上で非常に重要な情報であるとととともに，整備計画を立案するためにも不可欠である．また，そのような経緯を経て改修されたため池においても，貯水後に下流法面，法尻などから漏水・湧水が発生し，その原因や現象の重大さに関する情報が即時的に必要な場面に遭遇する．

このための技術として長束ら（2000）の研究をはじめとして 2000 年頃から使われ始めたのが，高密度電気探査を用いた比抵抗映像法による診断技術である [2)]．その後の研究では，森山ら（2002）はため池での探査例を示し [3)]，小林ら(2007）は老朽ため池の改修前後の比抵抗断面図を比較することによる効果を判定することができるとしている [4)]．また，地形状態の弱点を解析に補正する手法としては中里ら（2006）による地形補正法が示されている [5)]．本報告では，2000 年から 13 年間で山口・福岡両県において，漏水の発生している 56 箇所のため池に対して，ダイポール・ダイポール法による高密度電気探査を行い，二次元の比抵抗値断面図を作成し，漏水箇所の判定を実施した事例から，ため池漏水箇所の比抵抗映像に現れた特徴を論じる．またこれにより，ため池内に漏水に起因する不具合が生じている箇所，範囲などを特定する技術としての，この手法の利用可能性について述べる．

２．漏水が発生しているため池の比抵抗映像

2.1　比抵抗映像法の利用に至った理由

ため池の漏水箇所の内部診断は，非破壊で経済的に短時間に判定する必要があることから①上下流の変状箇所，漏水箇所の延線上でのボーリング調査を行い，透水性や締まり具合で判定する，②竹内（1996）による深さ 1m の地温探査により漏水流下位置の地温と健全箇所の地温の差で判定する [6)]，③貯水にトレサーを投入し漏水の電気伝導度測定を行って判定するなどが用いられてきた．

電気探査技術は，20 世紀初頭から石油探査・鉱物資源探査などに用いられてきた古典的技術である．1980 年代に至って，コンピュータの発達により，ハード的には多電極を用いた高

速かつ正確な電極間のスイッチング，ソフト的には得られたデータ処理速度の向上により比較的短時間での探査および解析が可能となった．また測定データ（電位データ）に対して逆解析処理（インバージョン）を適用することで，測線下の比抵抗断面を求めることができる技術が開発されたことで，探査精度が飛躍的に向上した．特にため池など地下浅部の構造把握では，竹内（1985）に示されるようにダイポール・ダイポール法の電極配置が有効であるとされる[8]．

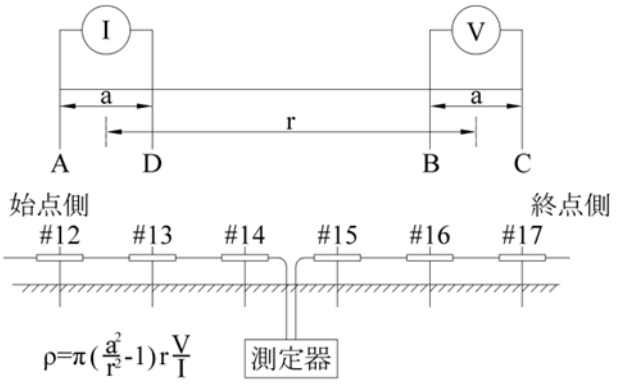


図 1　電極配置図[7]

ため池での利用が有効であると考えられるのは以下の理由による．

①築堤材料の電気的均質性：ため池築堤材料は，主に細粒粘土質な土を用いることが前提とされている．したがって，電気伝導度の観点からは，提体土はほぼ均質な土とみなせるので，漏水集中部（周辺堤体より電気伝導度が高い），構造物（底樋コンクリートは高比抵抗）等が比較的容易に把握可能である．

②地形影響成分の排除：ため池提体は縦断方向には，ほぼ水平に築堤されているため，観測比抵抗値を補正する（Loke，2000）必要がない[10]．

以上の点から，比抵抗映像法による探査が，ため池の内部の診断，特に漏水把握のためのスクリーニング手法として適した手法であることが予測される．

2.2　観察に使用した比抵抗映像法

今回用いた比抵抗測定装置は，AGI（Advanced Geosciences Inc.）社製の装置を用いた．観測は二極法（DIPOLE-DIPOLE）を用いて行った．図 1 に電極配置[7]を示す．解析は比抵抗二次元探査解析ソフト RE2DINV（Loke,1996）[9]を使って断面図化した．

３．比抵抗断面図による観察結果

3.1　比抵抗断面図に漏水位置が特定できた例

図 2 に比抵抗映像法によって漏水位置が特定できた 3 例の観測結果例を示す．以下にそれらの概要を示す．

3.1.1 ため池 B（ため池名は表 1 に対応）

ため池 B 諸元と漏水状況：堤高 6.2m，堤頂長 57.0m，ため池タイプは均一型．底樋周辺と右岸部にパイピング状の漏水が観察される．

比抵抗映像法による観察結果：堤体は比抵抗値 ρ =16～283Ωm（以下，比抵抗値という記載は

省略する）で，右岸側の著しいパイピング（ρ＜16Ωm）と底樋上および周辺の漏水（ρ＜16Ωm）を良く捉えている．

3.1.2 ため池 C

ため池 C 諸元と漏水状況 : 堤高 3.8m，堤頂長 52.0m，ため池タイプは均一型．底樋周辺から漏水が観察される．右岸からも微量の漏水が観察される．

比抵抗映像法による観察結果：堤体がρ＞100Ωm であるのに対し，底樋周辺の漏水はρ＜9Ωm と捉えられており，現地観察結果と良く整合する．右岸の漏水はρ＜20Ωm である．また，堤体の他の箇所は概ね健全であるという判定ができる．

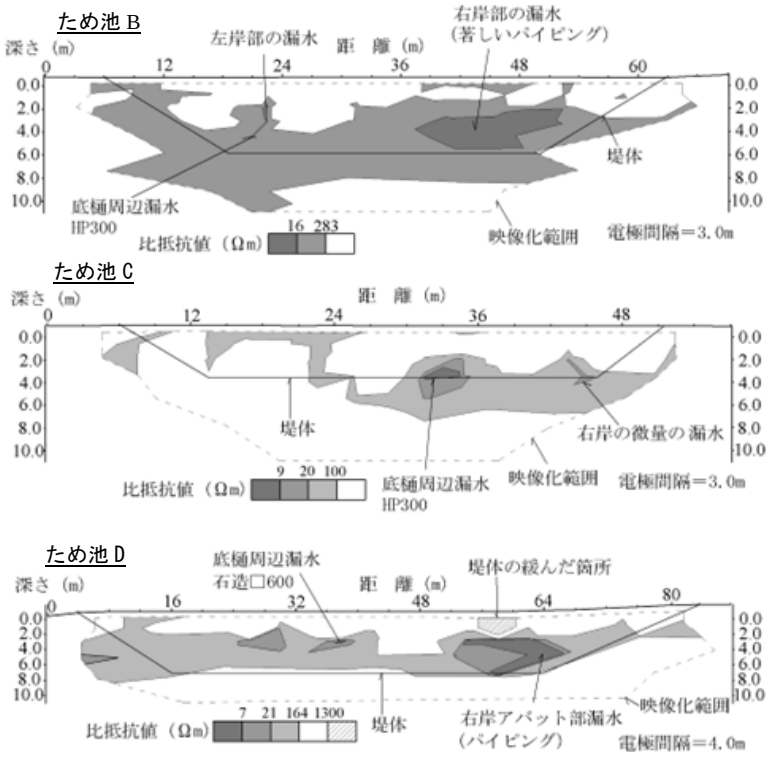


図 2　漏水するため池の比抵抗断面図

3.1.3 ため池 D

ため池 D 諸元と漏水状況：堤高 9.5m，堤頂長 80.0m，ため池タイプは前刃金型．右岸部の腰石積法尻から漏水が観察される．右岸部堤体上に緩んだ箇所がある．

比抵抗映像法による観察結果：堤体の飽和部はρ＞21Ωm で若干低い部分もあるが，右岸アバット部に観察される漏水および底樋周辺の漏水はρ＜7Ωm を示し捉えている．

3.2 漏水がスコーピング結果と整合した例

比抵抗映像で捉えられた漏水をその後にボーリング調査などのスコーピングで確認した例を 2 例示す．

3.2.1 ため池 E

ため池 E 諸元と漏水状況：堤高 13.1m，堤頂長 127.0m，ため池タイプは前刃金型．豪雨で貯水位が越流寸前まで上昇し，旧底樋（新

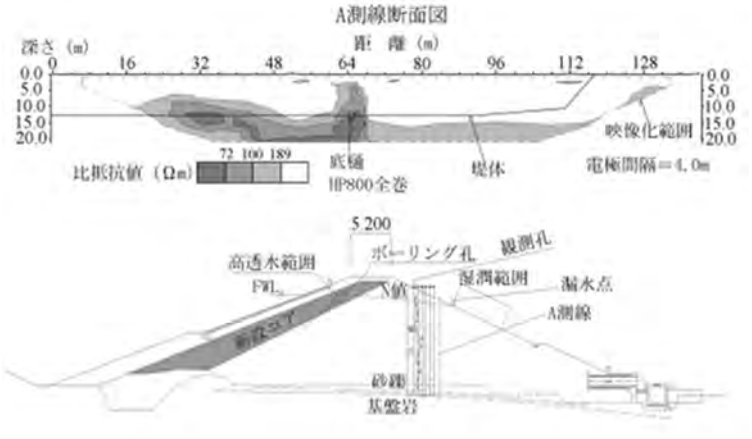


図 3　ため池 E の比抵抗断面図およびコア健全度調査位置と高透水範囲

底樋と同じ位置）周辺のパイピングが拡大して決壊した．底樋周辺を開削整形し，上流に前刃金，洪水吐も全面改修された．改修後に底樋右岸側と洪水吐急流部の直壁水抜孔からの漏水が観察された．

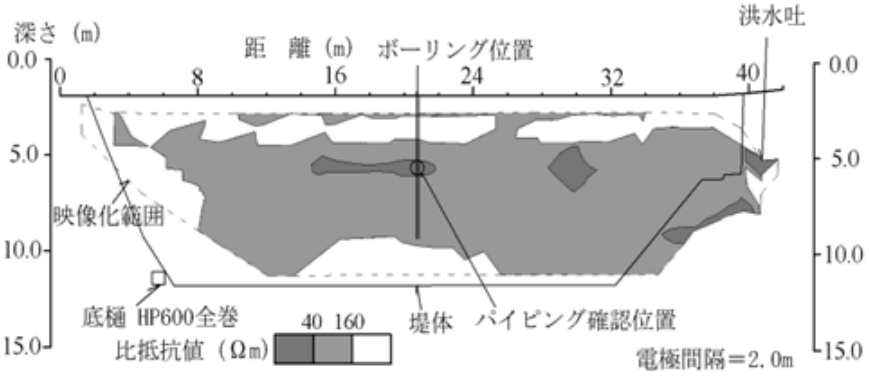


図 4　漏水するため池の比抵抗断面図

また，堤体下流法面が高い位置から広い範囲で湿潤していた．

比抵抗映像法による観察結果とスコーピング結果：図 3 に示されるように，堤体下流のり面中間に縦断方向に配置した A 測線で観察した比抵抗断面図によると ρ ＜72 Ωm が底樋上部の堤体内に捉えられた．同じく図 3 の下図にボーリング位置と新設コア内で観測された高透水範囲（透水係数 k＝10-3cm/s オーダー）を示す．比抵抗断面図は漏水範囲を良く捉えてことを確認した．

3.2.2 ため池 F

ため池 F 諸元と漏水状況：堤高 13.8m，堤頂長 33.0m，ため池タイプは前刃金型．危険ため池解消のために全面改修されたが，改修後の貯水時に堤体下流法面の高い位置からの漏水が観察された．

比抵抗映像法による観察結果とスコーピング結果：傾斜コアに沿って探査したところ，図 4 に示すようにコア内のほぼ同じ標高に ρ ＜40 Ωm の低比抵抗の範囲が観測された．機械ボーリングによってこの深度を確認したところ，静水圧透水試験時に貯水池内側へのリークが観察されコアが欠損していることが確認された．この低比抵抗部の水平方向への拡がりは，施工が数箇月中断した標高と一致し，比抵抗断面図に示される低比抵抗部はコアが欠損している範囲を示していると推定される．

3.3 堤体全体が観察できない例

ため池の諸元と漏水状況：図 5 に示すため池は，堤高 19.5m，堤頂長 61.0m，ため池タイプは均一型．貯水時に下流法尻全体からの漏水が観察された．

比抵抗影像法による観察結果：図 5 に示すように，このため池は堤長に比して堤高が高い．また，右岸側は取付け部から地山の地形勾配が急であることから遠隔電極の設置標高が高くなる．その結果，観測時のレイパスが深部まで到達しない．したがって，このような形状のため池の場合，基盤と堤体の境界部や底樋周辺の観察が不可能となる．

3.4 比抵抗断面図でパイピングが捉えられなかった例

ため池の諸元と漏水状況:図 6 に示すため池は，堤高 8.0m，堤頂長 45.0m，ため池タイプは前刃金型. 改修後 1 年未満であったが, 貯水時に下流法尻からパイピングが観察された.

比抵抗映像法による観察結果: この例ではパイピング孔がφ10cm 以下で, 併行して実施したボーリング孔で図 6 に示す位置に捉えられたが, 比抵抗断面図では周辺とのギャップもなくρ＜70Ωm を示し観測電極 1.0m 間隔の探査精度でも捉えることができなった.

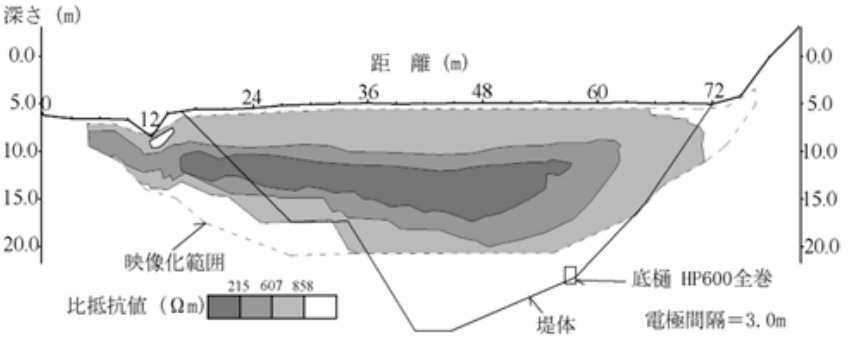


図 5　比抵抗映像法では全体が観察できないため池の例

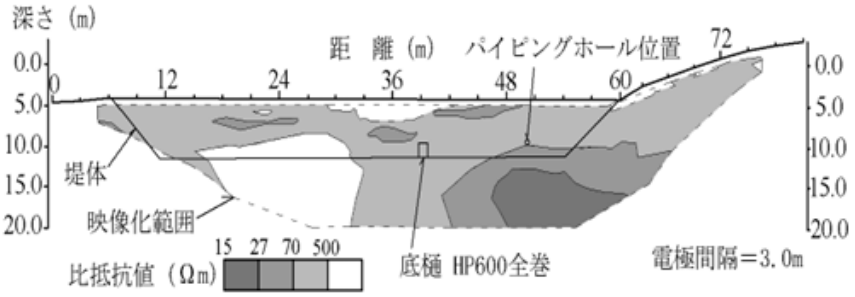


図6　高密度電気探査で確認できなかったパイピングホールの例

3.5 岩盤を通る漏水のため比抵抗断面図に現れなかった漏水の例

ため池の諸元と漏水状況：図 7 に示すため池は，堤高 9.0m，堤頂長 67.9m，ため池タイプは前刃金型. 改修後 1 年未満であったが，貯水時に左岸下流アバット部から著しい湧水（漏水）が観察された.

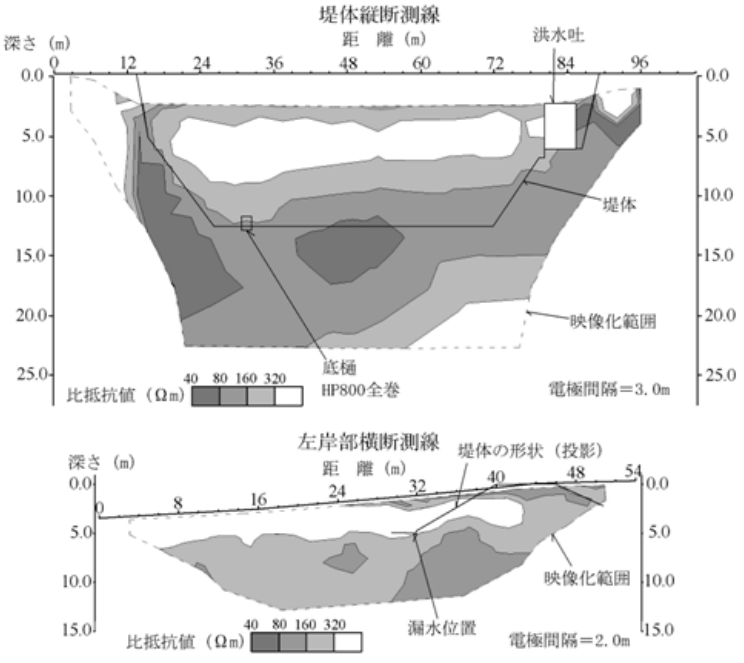


図 7 堤体内を通る漏水が観察されない例

比抵抗影像法による観察結果：このケースでは，ため池下流の法尻に漏水が観察されるもの

の，図 7 の堤体縦断測線では堤体左岸外側にρ=40～80Ωm で若干低比抵抗の範囲が観察され，また横断測線では漏水地点付近にはρ＞300Ωm で低比抵抗部は観察されていない．これは貯水が左岸地山地下水位をダムアップし，貯水位上昇に伴って下流アバットの岩盤から湧水しているか，あるいはため池に関連しない地山地下水であるものと推定される例である．

表 1 漏水のあるため池の比抵抗値一覧

ため池名	堤体(Ωm)	漏水(Ωm)	基盤(Ωm)
A	500	100	500
B	500	10	800
C	200	9	200
D	100	10	500
E	500	20	1,000
F	100	30	300
G	50	20	200
H	170	80	100
I	80	30	400
J	100	25	300
K	300	40	200
L	100	10	500
M	200	40	1,000
N	150	20	500
O	200	20	1,000
P	100	50	800
Q	200	60	500
R	200	30	500
S	150	30	600
T	300	100	200
U	120	50	800
V	150	30	300
W	100	50	3,000
X	100	40	200
Y	200	20	500
Z	180	30	300

４．比抵抗の分布

表 1 に漏水のあるため池の堤体（平均値），基盤および漏水箇所の比抵抗値を示す．これによると，集中した著しい漏水の場合，ρ（比抵抗値）≦100Ωm　ρ=10～50Ωm に集中している．これは湿潤未固結粘土（ρ=20Ωm），泥灰土（ρ=3～70Ωm）（Mooney，1980）の一般的な傾向に近い[11]．

ため池漏水は底樋等の地下埋設構造物周辺に集中する傾向があるが，改修後の場合で漏水や周辺の滞水のない底樋では，図 6，図 7 に示すため池のように周辺地盤と同じかやや高い比抵抗値を示す傾向にありρ≧3,000Ωm と明瞭な値を示す例もあった．底樋は土管，ヒューム管，現場打コンクリート，石造など非常に低電導率の構造物であり，内部に用水が流れていても漏水していなければ，高比抵抗部として評価されるものである．したがって，底樋周辺位置での比抵抗ギャプは，不具合を示唆するものとして注意が必要である．

もう一つの漏水経路となり易い構造物の洪水吐では，図 5 のため池左岸，図 7 のため池右岸に高比抵抗体として示される．図 4 のため池 F のように周辺に低比抵抗ギャップが識別できれば，床版下に漏水が疑われるが，①解析断面図の縁辺部は偽像を生じやすい，②洪水吐コンクリート部分は電極配置が粗い，③洪水吐対岸部から標高が変化する場合が多く，解析精度が低下する，などから判定は慎重に行うべきである．

堤体の一般的な比抵抗値は浸潤線以下でρ=50～500Ωm，浸潤線より上の不飽和の部分はρ≧400Ωm を示す．しかし，これらにはばらつきが大きく，特定の傾向を示すには至っていない．これは，観測するレイパスが通過する堤体が必ずしも粘性土で構成されるとは限らないことに原因すると推定される．観測は堤体中央部で行う場合が多いが，中心コア型や均一型の堤体は中心部が粘性土であるが，傾斜コア型であると中心部は砂質土である場合が多い．

ここでは 26 例を示したが，漏水箇所が明確に現れなかったのは前記の 3.4 章および 3.5 章に示した 2 例のみであった．

５．ため池漏水調査における比抵抗映像法の適用性に関する考察

以上の結果は以下のようにまとめられる．

1)抵抗映像法による断面図は，ため池の漏水等の現地観測結果を良く反映する．ため池 F のように一部のため池では別に実施したボーリング調査によるスコーピング結果を良く反映しており，ため池漏水調査のスクリーニング調査として利用可能である．

2)漏水箇所と健全箇所は相対的な差で判定可能であり，漏水箇所の比抵抗値は 100Ωm 以下（85%が 50Ωm 以下）である．

3)抵抗影像法の観測限界，すなわち比抵抗影像法で，捉えることの難しいケースは以下のとおりである．

① 堤長に比較して堤高が高い場合や遠隔電極の設置標高が高い場合は，レイパスが深部に到達しないため観測が不可能な範囲が生じる．

② パイピング孔が小さくまた周辺に湿潤範囲が拡がっていない場合は，捉える事が難しい．

③ 岩盤内を通る漏水の場合は，捉えられない．

これらの結果から，比抵抗映像法による観察では特殊なケースを除いて漏水範囲を推定することが可能であり，グラウチング，開削再築堤などの補修を含めた対策工を計画する場合には重要な資料となり得る．

今後の課題としては，ため池築堤材料の含水度に対する比抵抗値，堤体を薄厚の巻き出しで築堤転圧した場合の自然電位について室内実験での検証が必要であると考える．

引用文献

1) 農林水産省（2014）（参照 2014.7.8）：農村振興，農業農村整備事業，農村地域の防災対策と災害復旧，ため池，（オンライン），入手先＜http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/＞

2) 長束勇，中里裕臣，畑山元晴，森充広，利岡徹馬，櫻井健（2000）：比抵抗トモグラフィ法によるため池の堤体安全監視システムに関する研究，雨水資源化システム学会誌，NOL.6，No.1.

3) 森山亮一，河内義文，原田　博，山本哲郎（2002）：ため池漏水調査における比抵抗影像法の適用，土木学会中国支部第 54 回（平成 14 年度）研究発表会発表概要集，III-72，379-380.

4) 小林範之，吉武美孝，松本伸介，宇佐美幸大（2007）：老朽ため池における漏水領域の特

定と比抵抗電気探査による改修効果の評価，農業農村工学会論文集，.252，135-144.

5) 中里裕臣，井上敬資，中西憲雄，汪振洋（2006）：比抵抗 2 次元探査における新しい 3 次元地形補正法，農工研技報，204，.281-286.
6) 竹内篤雄（1996）：温度測定による流動地下水調査法，古今書院.
7) 吉住永三郎，菅野　強（1969）：電気探査の理論と応用例，土木学会関西支部講習会テキスト，51-75.
8) 竹内睦雄（1985）：電気探査ダイポール・ダイポール法による地下浅部探査，土と基礎，33(7)，29-32.
9) Loke ,M.H. (1996): RES2DINV ver.2.0, Rapid 2D resistivity inversion　using the least-squares method,　M.H.Loke　,Advanced Geosciences Inc.
10) Loke ,M.H. (2000) : Topographic modelling in electrical imaging inversion, A slightly updated version of an abstract submitted for the EAGE 62nd Conference and Technical Exhibition — Glasgow, Scotland, 29 May - 2 June 2000.
11) Horold M. Mooney : Handbook of Engineering Geophysics Vol.2, Bicson Instruments Inc., Minnesota,U.S.A.，1980

土壌と堆積物の年代を用いた斜面崩壊発生年代の検討

○宮本新平[1) 2)*]・太田岳洋[1)]・辻 智大[1)]・竹田 拓己[3)]・黒木貴一[4)]・森川寛之[2)]
1) 山口大学, 2) 中電技術コンサルタント, 3) 山口大学 現パシフィックコンサルタンツ
4) 関西大学
* E-mail: smiyamot@cecnet.co.jp

Determining the timing of landslide events using soil and sediment dating

Shimpei Miyamoto[1) 2)*], Takehiro Ohta[1)], Tomohiro Tsuji[1)], Takumi Taketa[1)], Takahito Kuroki[4)], Hiroyuki Morikawa[2)]
1) Yamaguchi University, 2) Chuden Engineering Consultant,
3) Yamaguchi University; currently at Pacific Consultants 4) Kansai University
** E-mail: smiyamot@cecnet.co.jp*

キーワード：斜面崩壊，土壌構造，放射性炭素年代測定，微地形
Keywords: Landslide, Soil structure, Radiocarbon dating, Microlandform

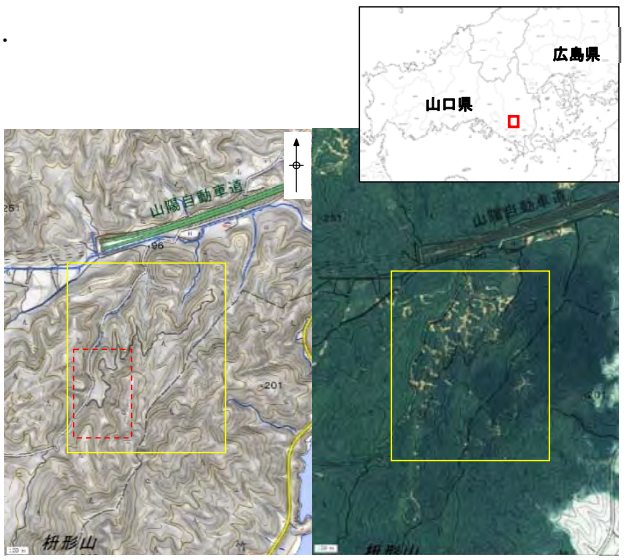
１．はじめに

土石流の起点となる表層崩壊は，表層土層，いわゆる土壌等の表層の未固結層が，大雨等の誘因により斜面下方へ移動する現象であることから，素因である土壌の形成過程は，表層崩壊を考える上で重要となる．

本発表では，平成 30 年 7 月豪雨において多数表層崩壊が発生した岩国地域の渓流において，土壌の形成イベントとそれに対応する堆積物の年代について，小流域単位で比較し，土壌の形成過程を検討した結果について報告する．

２．調査地域および手法

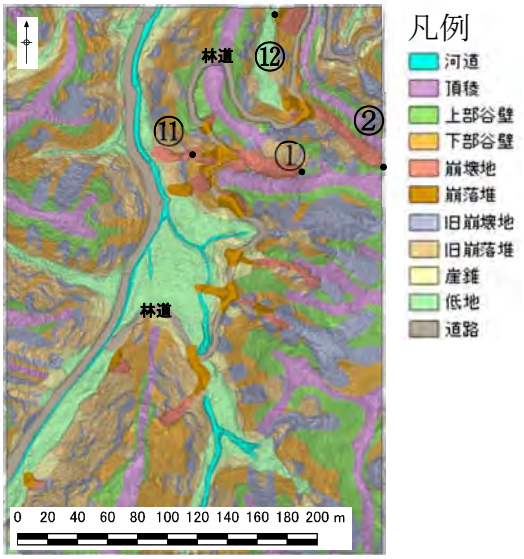
検討対象地域は，山口県岩国市周東町の中山川ダム北西部を対象とした（図－１）．本研究では，崩壊地の源頭部とその下流の堆積物を中心に地表地質踏査を実施した．土壌の観察結果を参考に放射性炭素年代測定対象を検討し，測定に供した．測定は，㈱加速器分析研究所に依頼した．年代値の検討には IntCal20 および OxCal v4.4 を用いて暦年較正された年代値（calAD）を用いた．



図－１　調査地域の地形および空中写真
（地理院地図を用いて作成）

３．地表地質踏査結果

地表地質踏査は，上部谷壁に位置する崩壊地である地点①および地点②と，それらの下流に位置する谷底の地点⑪および地点⑫を中心に実施した（図－２）．各地点の露頭簡易柱状図を図－３に図示した．



図－２　地形判読結果および調査位置
（判読範囲は図－１の赤破線）

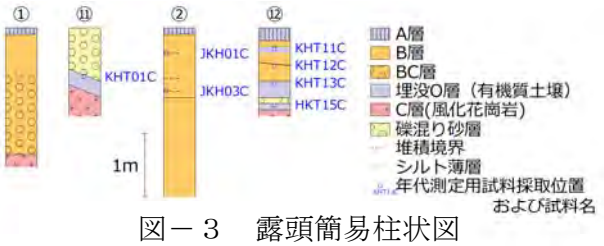
４．放射性炭素年代測定結果

放射性炭素年代測定結果を表－１に示す．以降の議論には，2σ暦年代のうち確率の高い暦年代を採用した（表－１太字）．

５．考察

地点⑪および地点⑫の埋没 O 層の年代値は，2 渓流とも約 1300-1500 calAD の範囲に集中した．また，地点⑫では，同様な年代を示す複数の埋没 O 層が見いだされている．このことは，この時期本調査地域周辺において，複数の渓流で複数回の土石流が発生するイベントが起きていたことになる．

鈴木ほか[1]は山口県防府市において，松木ほか[2]は広島市周辺地域において，土石流発生履歴を検討しており，これら地域において，1300 年代から 1500 年代前半に複数渓流で発生した土石流堆積物が確認されている．このことから，この年代に土石流が多発していた地域は山口県中部～東部～広島県にまたがる範囲である可能性が考えられる．



図－３　露頭簡易柱状図

表－１　放射性炭素年代測定結果一覧

試料名	試料形態	処理方法	暦年校正		
			較正条件	2σ暦年代範囲 (calBP)	2σ暦年代範囲 (calAD)
JKH01C	土壌	HCl	OxCal v4.4 IntCal20	**675-644 (73.2%)** 587-566 (22.2%)	**1275-1306 (73.2%)** 1363-1384 (22.2%)
JKH03C	土壌	HCl	OxCal v4.4 IntCal20	**913-774 (94.3%)** 756-751 (1.2%)	**1037-1176 (94.3%)** 1194-1199 (1.2%)
KHT11C	土壌	HCl	OxCal v4.4 IntCal20	**525-486 (95.4%)**	**1425-1464 (95.4%)**
KHT12C	土壌	HCl	OxCal v4.4 IntCal20	**506-437 (79.9%)** 360-330 (15.5%)	**1444-1513 (79.9%)** 1590-1620 (15.5%)
KHT13C	土壌	HCl	OxCal v4.4 IntCal20	**521-478 (95.4%)**	**1429-1472 (95.4%)**
HKT15C	炭化木片	AAA	OxCal v4.4 IntCal20	652-621 (38.5%) **615-554 (57.0%)**	1298-1329 (38.5%) **1335-1396 (57.0%)**
KHT01C	土壌	HCl	OxCal v4.4 IntCal20	622-614 (1.8%) **555-511 (93.7%)**	1328-1336 (1.8%) **1395-1439 (93.7%)**
KHT02C	木片	AAA	OxCal v4.4 IntCal20	665-623 (41.7%) **600-556 (53.7%)**	1285-1327 (41.7%) **1350-1394 (53.7%)**

引用文献

1) 鈴木素之・阪口和之・楮原京子（2015）：山口県防府市における土石流の特徴と土砂災害発生年表，地盤と建設，Vol.33，No.1，pp.105-113.

2) 松木宏彰・鈴木素之・楮原京子・阪口和之・小笠原洋・片岡知（2018）：広島市安佐南区と安佐北区周辺地域の土石流堆積物の状況と土石流の発生頻度，地盤工学ジャーナル，Vol.13，No.4，pp.403-421.

長大法面における施工中の変状発生メカニズム究明とその対策

○・平本貴一 1)*・石本裕己 1)・井藤理一朗 1)・田河翔大 1)・松原友輝 1)
1) 宇部建設コンサルタント
* E-mail: t-hiramoto @ukcnet.co.jp

Investigation of the mechanisms behind deformations occurring during construction on long slopes and countermeasures

Takakazu Hiramoto 1)*, Hiromi Ishimoto 1), Riichiro Ito 1), Shouta Tagawa 1), Yuki Matsubara1)
1) Ubekensetsu Consultant
** E-mail: E-mail: t-hiramoto@ukcnet.co.jp*

キーワード：地すべり，地質調査，構造物調査，法面対策工
Keywords: Landslide,Geological Survey,Dtructures Survey, Slope stabilization work

１．はじめに

7 段からなる長大切土法面の逆巻き施工中に変状が発生した。

変状した法面には全面に法枠工と鉄筋挿入工で法面保護されていたが、上から 3 段目の法面保護工が終わり、4 段目を切り下がった直後に変状が生じた。変状の発生は 1 月で、発生直前の最大時間降雨量は 6mm と少ない。

本報告では、変状の状況、並びにそのメカニズムの考察、対策工の対応事例を紹介する。

２．変状前までの調査及び法面保護工

当該法面では 3 本の調査ボーリングが行われており、法面保護工が計画されていた。さらに上から 3 段目まで各段の切土終了後、発注者、施工業者、並びに地質技術者が切土面の地盤状況を確認した上で、設計時の法面保護工の妥当性を現地協議していた。上から 3 段目までは法面に出現した地質は既存調査ボーリングと概ね整合していた。法面保護工は当初計画通り、最上段は法枠工、上から 2 段目及び 3 段目は鉄筋挿入工+法枠工が施工された。

なお、4 段目の現地協議は変状時には実施されていなかった。

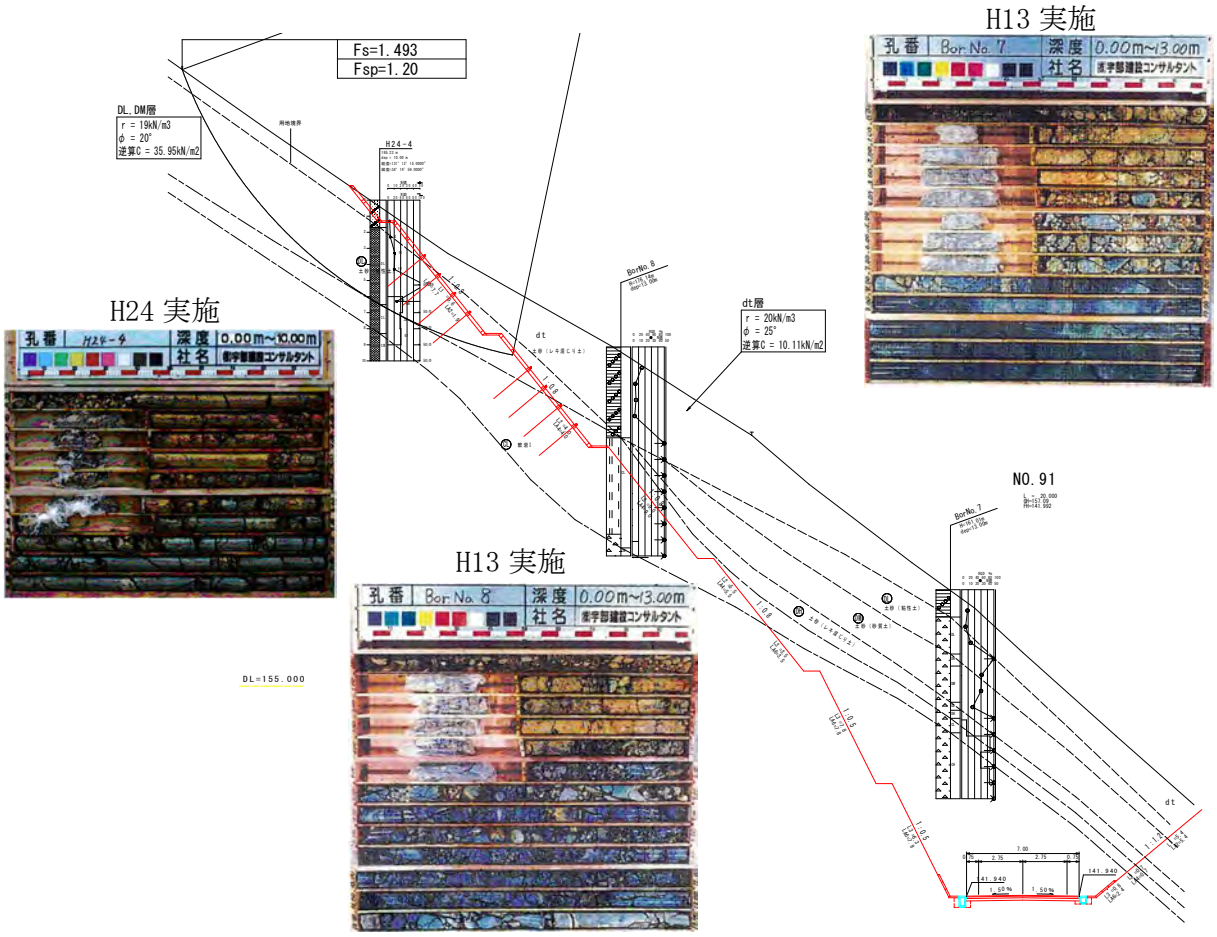


図 1　既存ボーリングコア写真・当初計画横断図(No. 91)

３．法面変状状況

４段目法面は、変状の連絡を受けてから状況を確認した。当初計画では上半分に DH 級、下半分に CL 級岩盤が出現すると想定していたが、切土面には DH 級相当の硬質岩片状岩盤が全面に出現し想定より地盤状況が悪いことが確認された。(その後、追加調査ボーリングでは N 値が低いことが判明、DL 級に再評価)。

変状は、わずかの幅の開口亀裂や、コンクリートのヘアクラックが大半であった。４段目法面は岩片状岩盤のため、変位箇所を認識出来なかった。ただし、崩壊端部には 10°～15°程度の流れ盤方向に傾斜する軟弱粘土が確認されたため、この粘土層沿いに変状が生じたと考え、変状下端部とした。変状箇所には大量の湧水は無く、軟弱粘土周辺に滲む程度の湧水を確認した。なお、変状発生後直ちに押え盛土を施工したことにより、抜き板や観測ピンでは、変状の大きな進行は確認されなかった。

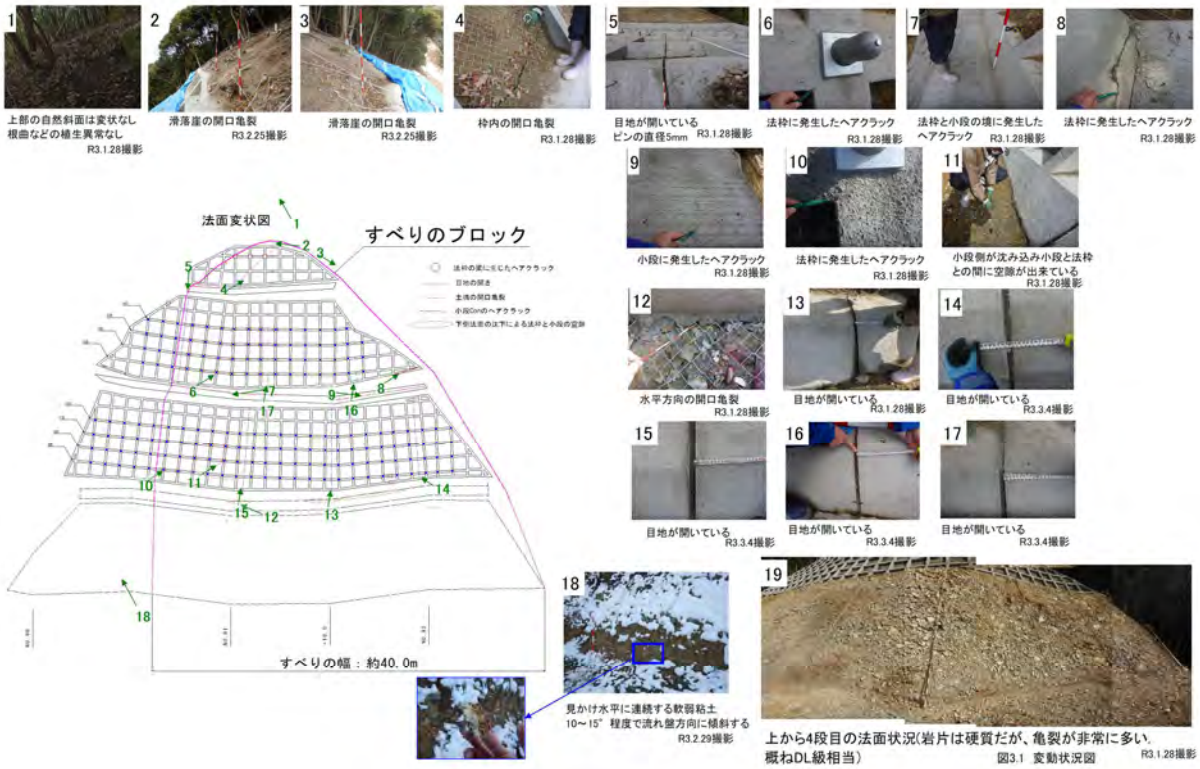


図２　法面変状状況

4. 追加調査ボーリング結果及び変状のメカニズム

変状の状況、地質調査結果及び各観測結果に基づき、以下の様な被災のメカニズムを想定した。



図３　素因と変状発生のメカニズム

Bor. No. R3-1 コア写真

5. 対策工法

対策工法は、横ボーリング工及びグラウンドアンカー工を検討し、所定の計画安全率を満足するように計画した。

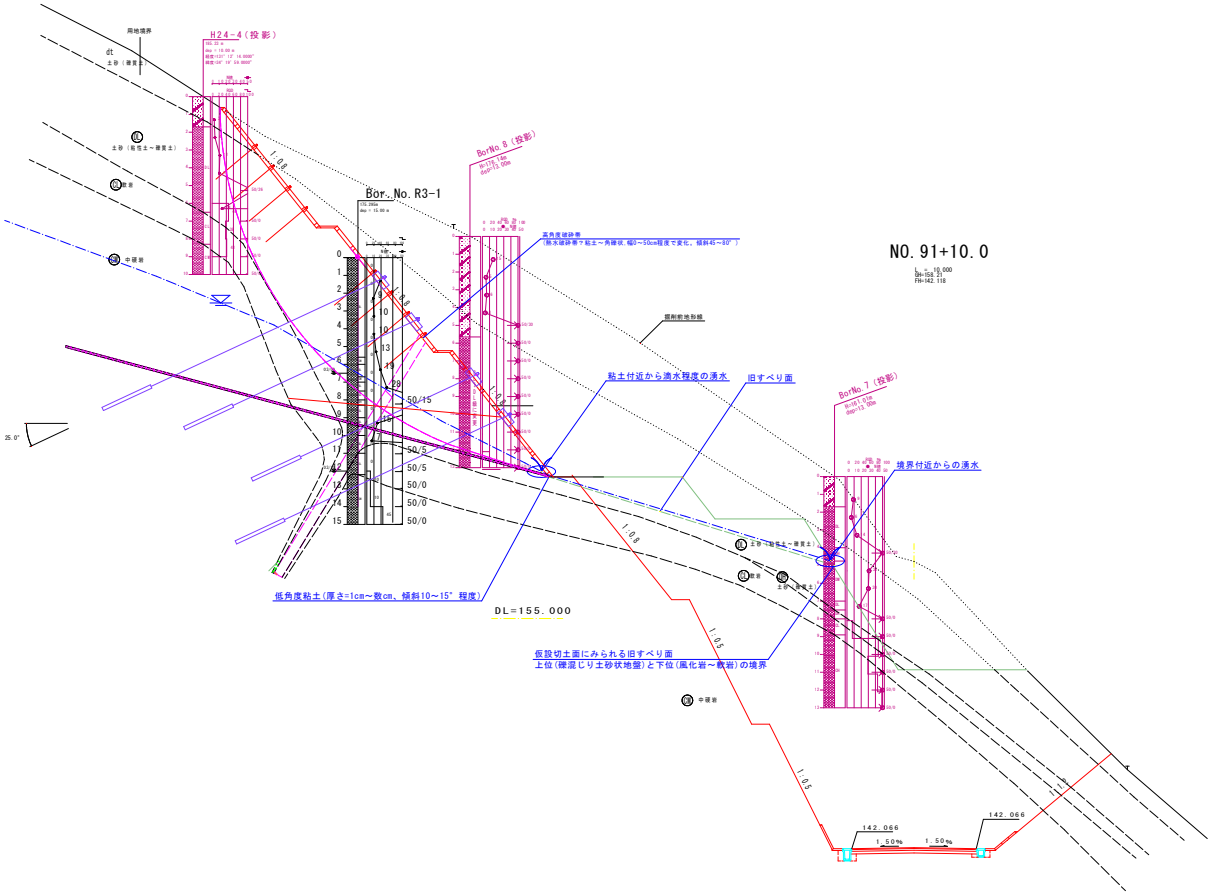


図 4　標準断面図

6．おわりに

7 段からなる長大切土法面の逆巻き施工中に変状が発生した。

変状した法面には全面に法枠工と鉄筋挿入工で法面保護されていたが、上から 3 段目の法面保護工が終わり、4 段目を切り下がった直後に変状が生じた。対策工は、地下水排除工として横ボーリング工を配置し、想定されるすべりに対して計画安全率を満足するグラウンドアンカー工を計画した。

当該設計箇所の施工が終わり数年経過したが、変状は認められない。

山口県北東部、須佐高山の中新世火成活動：日本海形成過程への制約

○大和田正明 [1)*]・江島圭祐 [1)]・太田岳洋 [1)]・池本茜衣 [1)]

1) 山口大学

* E-mail: owada@yamaguchi-u.ac.jp

Miocene igneous activities in Susa Kohyama,Yamaguchi Prefecture: Constrains on opening of Japan Sea

Masaaki Owada [1)*], Keisuke Eshima [1)], Takehiro Ohta [1)], Akane Ikemoto [1)]

1) Yamaguchi University

** E-mail: owada@yamaguchi-u.ac.jp*

Abstract

The Susa Kohyama area in the north-eastern part of Yamaguchi Prefecture, Southwest Japan, has preserved distribution of igneous rocks related to back-arc rifting during the Miocene. We investigated the geology, petrography, and major-trace elements geochemistry measured by XRF equipment both of extrusive and intrusive rocks. They are divided into three types in terms of occurrence and lithofacies. Type 1 is the Yamashima andesite that is extrusive rocks exposed in Yamashima Reef and in the northern part of the Mt. Kohyama; it also occurs as xenoliths in the Kohyama gabbro. Type 2 is the Kohyama gabbro. It is coarse grained with various lithology from tonalite to gabbro. Type 3 rocks are mafic dikes, which mainly intrude conglomerate of the Miocene Susa Group and locally intrude the Kohyama gabbro. In addition, small amounts of rhyolite dikes intrude into the basement Cretaceous dacitic tuff. In this presentation, we focus on the rhyolite dikes, and Types 1 and 3 rocks in comparison to the igneous activities in Shimane Peninsula. The main results are as follows.

1. The rhyolite dikes fill fractures that developed within the Cretaceous dacitic tuff, and geochemically resemble that of Josoji rhyolite, 18–15 Ma, in Shimane Peninsula.
2. The Yamashima andesite and some Type 3 dikes underwent thermal metamorphism by the intrusion of the Koyama gabbro, whereas most of Type 3 dikes cannot exhibit any thermal effects under the microscope.
3. Based on the geochemical study, Type 1 and most of Type 3 rocks have calc-alkaline signatures similar to arc magmatism. Meanwhile, some of Type 3 dikes show elevated K_2O and Zr abundances. Such Type 3 rocks are basalts containing olivine phenocrysts. These features resemble those of Stage II rocks, ~13 Ma, in Shimane Peninsula.

The geochemical signatures of Type 1 and the most of Type 3 rocks, and likely also the Kohyama gabbro classified as Type 2 in this study, would reflect a remnant of metasomatized lithosphere formed by the subducted Pacific Plate prior to opening of the Japan Sea. The high-K and -Zr rocks in Type 3 basaltic dikes geochemically resemble those of Stage II on Shimane Peninsula; therefore, they likely originated from a more fertile magma, probably related to the back-arc rifting. In other words, the Miocene igneous activities in the Susa Kohyama area may reflect the mantle dynamics during the formation of Japan Sea. This study has been conducted as “Yamaguchi Studies Project” promoted by Yamaguchi University (2024-2026).

キーワード：山口，須佐高山，中新世火成活動，日本海拡大
Keywords: Yamaguchi, Susa Kohyama, Miocene igneous activities, Opening of Japan Sea

１．はじめに

新生代中期中新世の日本海拡大に伴うマグマ活動の変遷は，主に北陸地方を含む東北日本弧で研究されてきた[1)]．しかし，北陸地方以西では島根半島での研究例があるに過ぎない[2)]．山口県の日本海側須佐高山地域には，白亜紀阿武層群や新第三系須佐層群を貫く高山はんれい岩（13–14 Ma）とその噴出相の山島火山岩（13–14 Ma）が分布する[3)]．これらは島根半島の火成岩類とほぼ同時に活動している．そこで本研究では，日本海拡大期のマグマ活動の広域的な変遷を検討するため，山島火山岩と岩脈類の記載的・化学的特徴を検討し，島根半島との対比を試みた．

２．地質概要と岩石記載

本研究では，産状から火成岩類を 3 タイプに分け，タイプ 1 と 3 を検討対象とした．タイプ 1 は，山島火山岩と岩脈類の一部で，高山はんれい岩に貫かれている．これらは斜長石斑晶を含む安山岩で，石基に再結晶した輝石を含む．タイプ 2 は高山はんれい岩，そしてタイプ 3 はそれ以外の岩脈で，一部は高山はんれい岩を貫く．大半は無斑晶質安山岩で，一部にカンラン石（仮像）の斑晶を含む玄武岩を含む．また上記のタイプ以外に基盤の白亜紀デイサイト質凝灰岩を貫く流紋岩が江崎港付近に分布する．

３．地球化学的特徴と結論

全岩化学組成は流紋岩試料を除くと SiO_2 含有量は 48–58 wt%で，ハーカー図ではブロードなトレンドを示す．島根半島では，活動年代によって上荘司流紋岩（18–15 Ma），ステージ I（14 Ma），ステージ II（13 Ma）に 3 区分され，これらは基本的に沈み込み帯の化学的特徴を持つが，ステージ II の岩石は拡大に伴うアセノスフェアの影響がより強いとされた[2)]．高山地域の火山岩類は，タイプ 3 の玄武岩を除くとほとんどが島根半島のステージ I の組成トレンドにプロットされ，タイプ 3 の玄武岩はステージ II の岩石が形成するトレンドと類似する．また，流紋岩は島根半島の中新世火成岩類の初期に活動した上荘司流紋岩のトレンドと一致する．

以上から，島根半島で検討された日本海拡大期におけるマグマ活動の変遷は，須佐高山地域においても適用でき，タイプ 3 玄武岩の活動が日本海拡大の進んだ時期（ステージ II）に相当すると推察される．

1) Shuto, K., Ishimoto, H., Hirahara, Y., Sato, M., Matsui, K., Fujibayashi, N., Takazawa, E., Yabuki, K., Sekine, M., Kato, M. and Rezanov, A.I. (2006) Geochemical secular variation of magma source during Early to Middle Miocene time in the Niigata area, NE Japan: Asthenospheric mantle upwelling during back-arc basin opening. Lithos, 86, 1–33.

2) Al-Busaidi, S., Kamei, A. and Silpa, S.A. (2024) Petrogenesis of Josoji rhyolite and intrusive rocks of NE Shimane Peninsula, SW Japan: implication on Miocene volcanism related to back-arc rifting in San’in region. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 119:005.

3) 今岡照喜・西村祐次郎・後藤芳彦・中島和夫・齊藤和男・板谷徹丸（1997）山陰西部山島火山岩の産状と K–Ar 年代．岩鉱，92，302－315.

山口県阿武単成火山群における地下水水質と微生物叢の関係性

○福岡仁至 [1)*]・山下璃貢 [1)]・藥師寿治 [1)]・太田岳洋 [1)]
1) 山口大学
* E-mail: d002wbu@yamaguchi-u.ac.jp

Relationship between groundwater quality and microbial communities in the Abu Monogenetic Volcano Group, Yamaguchi prefecture

Masashi Fukuoka [1)*], Riku Yamashita [1)], Toshiharu Yakushi [1)], Takehiro Ohta [1)]
1) Yamaguchi University
** E-mail: d002wbu@yamaguchi-u.ac.jp*

キーワード：**地下水，水質，微生物叢，深部流体，阿武単成火山群**
Keywords: Groundwater, Groundwater Quality, Microbial Community, Deep-seated Fluid, Abu Monogenetic Volcano Group

１．はじめに

一般的に，地下水の水質は，水－岩石反応，生物作用，蒸発作用，地下水同士の混合および土壌水との混合等によって決定される [1)]．一方で，地下水には多様な微生物が生息しており，その代謝活動が地下水中の脱窒をはじめとする物質循環に影響を及ぼすことが示唆されている [2)]．さらに，微生物叢の情報が地下水の起源や流動経路を追跡する上で有用な指標になりうることが指摘されている [3) 4)]．

山口県北部の阿武，高佐，徳佐地域から島根県南西部の津和野地域にかけては，天水由来の地下水の他に，高塩濃度流体の湧昇が広域的に認められる [8)9)10)]．これら地下水の周辺には北東から南西方向のリニアメントが卓越し [5)]，さらに新第三紀から第四紀 [6)]の阿武単成火山群および第四紀 [7)]の青野山火山群が分布する [5)]．こうした地下水，地形および地質の特徴を背景に，これまでの研究では高塩濃度流体の起源や湧昇経路が議論されてきた [8)9)10)]．そのうち，阿武，徳佐および津和野地域の高塩濃度流体は，それらの化学的特性から深部流体の混入が指摘されている [8)9)10)]．しかし，山口県高佐地域の高塩濃度流体 (高佐温泉)の起源や湧昇経路については太田・吉野 [11)]で検討中である．また，深部流体が関与する地下水に対し，微生物叢を解析した事例は乏しい現状にある [4)]．

これらを踏まえ本研究では，高塩濃度流体である高佐温泉跡地の地下水と，比較対象として天水由来と考えられる伊良尾火山山麓の地下水に対して，水質分析および微生物叢解析を実施する．これらの結果から，水質と微生物群集との関係性を検討することで，高塩濃度流体の起源を解明することを目的とする．

２．調査地域の地質概説

採水箇所は，山口県北部の高佐温泉跡地 (高佐温泉)および阿武単成火山群の一つである伊良尾火山の南西麓に湧昇する地下水(伊良尾)の 2 地点である．採水地周辺の地質は，下位より白亜紀前期の下関亜層群，主に溶結凝灰岩からなる白亜紀後期の阿武層群および匹見層群，および新第三紀～第四紀[6)]の阿武単成火山群である[5)]．

３．研究手法

3.1　現地調査，採水方法

2025 年 11 月 12 日において，各採水地点の地下水を対象に，水温，pH，電気伝導度 (EC)，塩分 (Salinity)，総溶解固形分 (TDS)および酸化還元電位 (ORP)を測定した．イオン分析用試料はプラスチック製容器に採取した．微生物叢解析に用いる試料の採取方法については第 3 章第 3 節で述べる．

3.2　イオン分析

地下水中の溶存イオン濃度を明らかにするため，陽イオンおよび陰イオンの含有率を測定した．陽イオン濃度 (Na^+，K^+，Ca^{2+}，Mg^{2+}，B，Li，Fe)をプラズマ発光分光分析装置 (Agilent Technologies ICP-OES 5110)により分析した．陰イオン濃度のうち，Cl^-，SO_4^{2-}，NO_3^-，NO_2^-，F^-, PO_4^{3-}, Br^-はイオン分析計 IA-300 型を用いて測定し, HCO_3^-は硫酸滴定法により測定した．

3.3　微生物叢（マイクロバイオーム）解析

現地において，地下水中の微生物細胞をポリカーボネート製のメンブレンを用いた吸引ろ過によって採取した．得られた細胞から染色体 DNA を抽出し，16S rRNA 遺伝子 V4 領域を対象に次世代シーケンサーを用いたアンプリコンシーケンス解析を実施した．次世代シーケンサーによる分析は(株)生物技研に依頼した．得られた配列データから SILVA データベースを利用し微生物の群集構造（多様性や優占種）を網羅的に決定した．

４．結果・考察

4.1 水質による高佐温泉の起源

高佐温泉と伊良尾の地下水を比較すると，水質で顕著な差異が認められた．高佐温泉は pH が 6.97，EC が 130.3 mS/m，ORP が-29 mV であるのに対し，伊良尾は pH が 7.04，EC が 13.71 mS/m，ORP が+8 mV を示す．また溶存イオン濃度において，高佐温泉は伊良尾よりも 1～2 桁程度異なり, Na^+ (195.90 mg/L)および Cl^- (346.00 mg/L)を主体とする Na-Cl 型の水質を示す．このような Na-Cl 型の水質は，島根県津和野地域に分布する高塩濃度流体[8)]と類似している．津和野地域の高塩濃度流体は，化学的特性 (溶存イオン濃度や酸素・水素同位体比等)および地質構造から，断層沿いに湧昇した深部流体と天水由来の地下水が混合したものと解釈されている[8)]．高佐温泉は海岸から 10 km ほど内陸に位置し，海水の混入は考え難い．これらの水質および地理的な特徴から，高佐温泉は深部流体と天水由来の地下水が混合した可能性が

考えられる．ただし，高佐温泉の塩濃度 (Na^+, Cl^-)は津和野地域[8]の 1/50～1/30 に留まることから，津和野地域と比較して高佐温泉は深部流体の寄与率が小さいと考えられる．

また NO_3^-において，伊良尾では 2.19 mg/L が検出されたのに対し，高佐温泉では検出されなかった．両採水地周辺では農業が行われているため，土壌には硝安が施肥されている可能性がある．そのため，伊良尾は施肥の影響が考えられるのに対し，高佐温泉は施肥の影響範囲がない深さの地下水であることが考えられる．

4.2 微生物叢解析による高佐温泉の起源

微生物叢解析の結果，高佐温泉と伊良尾では微生物群集が異なることが明らかとなった．伊良尾では，*Omnitrophaceae* 科と呼ばれる，未培養系統群が全体の約 25%を占めていた．また, *Woesearchaeales* 目, *Nitrososphaeria* 綱, *Parcubacteria* 綱などの未培養系統群も検出された．これらの分類群は地下水や帯水層，特に貧栄養な地下環境からの報告が多く[12)13)]，土壌由来微生物の供給と地下環境への適応を示す浅層地下水特有の微生物群集組成と整合している[14)]．さらに、*Cyanobacteriota* 門に分類される Chloroplast が 5.5%検出された. このことは, 植物片，藻類，表層水，または周辺土壌の混入を示唆し，伊良尾湧水は地表近くの環境と接触している可能性がある．一方で，高佐温泉では好気性細菌と知られる *Thiothrix* 属が検出された．また，*Gallionellaceae* 科である *Ferriphaselus* 属，*Gallionella* 属および *Sideroxydans* 属が検出されており，これらは微好気性細菌であることが知られている[15)]．そして，*Thermodesulfovibrionia* 綱も検出されている．微生物の生理・生態情報データベース BacDive[16)]の中で *Thermodesulfovibrionia* 綱に属する登録株は全て絶対嫌気性細菌であった．また，同綱に属する微生物の生育可能温度を調査したところ，全て 40°C から 70°C で生育する好熱性細菌だった．このように，高佐温泉ではで好気性，微好気性，嫌気性の微生物が同時に検出されたことから, 異なる酸化還元環境に由来する地下水が混合している可能性が示唆される. さらに，好熱性かつ嫌気性の *Thermodesulfovibrionia* 綱の存在は，高佐温泉の一部が地下の高温環境に由来することを示唆する．これらのことは，第 4 章第 1 節における「高佐温泉は天水由来の地下水と深部流体が混入した地下水」という考えと整合的である．

５．まとめ

本研究は高佐温泉および伊良尾を対象として水質分析と微生物叢解析を実施した．その結果，高佐温泉では溶存イオン濃度と微生物叢解析から，深部流体と天水由来の地下水との混合が示唆された．この成果は，杉山ほか[4)]が指摘するように，天水によって希釈された地下水であっても，微生物群集から深部流体の混入を評価できる可能性を示す．

謝辞

山口大学大学院創成科学研究科の吉野瑛師氏には，野外における採水および水質分析の手法，ならびに硫酸滴定法についてご指導いただいた．また，イオン分析の実施にあたり，同

氏および山口大学卒業生（現・東海旅客鉄道株式会社）の平山稜悟氏に多大なるご協力をいただいた. 本研究は, JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2111 の支援を受けた. 以上，記して感謝いたします.

引用文献

1) 鹿園直建 (2001)：水－岩石反応による地下水中の主化学成分組成の変化(Ⅰ)－化学平衡とマスバランス－, 地下水学会誌, 43 (3), 149-159.
2) 斎藤光代，小野寺真一 (2009)：沿岸農業流域における地下水による硝酸性窒素流出の季節変動特性, 陸水学雑誌, 70, 141-151.
3) Sugiyama, A., Masuda, S., Nagaosa, K., Tsujimura, M. and Kato, K. (2018): Tracking the direct impact of rainfall on groundwater at Mt. Fuji by multiple analyses including microbial DNA, Biogeosciences Discuss, 15, 721-732.
4) 杉山　歩，富岡祐一，平野伸一 (2026)：スラブ起源水を含む温泉水の微生物 DNA 解析, 日本水門科学会誌, 56, 33-51.
5) 松浦浩久，尾崎正紀，脇田浩二，牧本　博，水野清秀，亀高正男，須藤定久，森尻理恵，駒澤正夫 (2007)：20 万分の 1 地質図図幅「山口及び見島」, 産業技術総合研究所　地質調査総合センター.
6) 宇都浩三，小屋口剛博 (1987) : 西南日本，阿武単成火山群中のアルカリ玄武岩の K-Ar 年代, 火山第 2 集, 32, 263-267.
7) Furuyama, K., Nagao, K. and Murata, M. (2002): K-Ar Ages of Andesites from Two Volcanic Arrays in Western Chugoku, Southwest Japan, Bull. Volcanol. Soc. Japan, 47, 481-487.
8) 村上裕晃，田中和広 (2016)：島根県津和野地域に分布する高塩濃度地下水の地球化学的特徴と湧出機構, 地下水学会誌, 57, 415-433.
9) 太田岳洋，髙吉菜夕，川上千尋，井上颯太 (2022)：山口県阿武町奈古におけるトラバーチンの発見とその意義, 山口地学会誌, 84, 5-10.
10) 西山成哲，田中和広，鈴木浩一 (2016)：電磁探査および地質・地下水調査による深部流体の移動経路の可視化―山口県北東部徳佐盆地における適用―, 応用地質, 57, 102-112.
11) 太田岳洋・吉野瑛師 (2026)：山口県北部で発生した群発地震と地下水位の関係, 2026 年度山口応用地質研究発表会講演要旨集.
12) Seymour, C.O., Palmer, M., Becraft, E.D. et al. Hyperactive nanobacteria with host-dependent traits pervade Omnitrophota. Nat Microbiol 8, 727–744 (2023). https://doi.org/10.1038/s41564-022-01319-1
13) Herrmann M, Wegner C-E, Taubert M, Geesink P, Lehmann K, Yan L, Lehmann R, Totsche KU

and Küsel K (2019) Predominance of Cand. Patescibacteria in Groundwater Is Caused by Their Preferential Mobilization From Soils and Flourishing Under Oligotrophic Conditions. Front. Microbiol. 10:1407. doi: 10.3389/fmicb.2019.01407

14) Villeneuve K, Violette M, Lazar CS. From Recharge, to Groundwater, to Discharge Areas in Aquifer Systems in Quebec (Canada): Shaping of Microbial Diversity and Community Structure by Environmental Factors. Genes (Basel). 2022 Dec 20;14(1):1. doi: 10.3390/genes14010001. PMID: 36672742; PMCID: PMC9858702.

15) Naruse, T., Ban, Y., Yoshida, T., Kato, T., Namikawa, M., Takahashi, T., … Watanabe, T. (2019). Community structure of microaerophilic iron-oxidizing bacteria in Japanese paddy field soils. Soil Science and Plant Nutrition, 65(5), 460–470. https://doi.org/10.1080/00380768.2019.1671139

16) Isabel Schober, Julia Koblitz, Joaquim Sardà Carbasse, Christian Ebeling, Marvin Leon Schmidt, Adam Podstawka, Rohit Gupta, Vinodh Ilangovan, Javad Chamanara, Jörg Overmann, Lorenz Christian Reimer, BacDive in 2025: the core database for prokaryotic strain data, Nucleic Acids Research, Volume 53, Issue D1, 6 January 2025, Pages D748–D756, https://doi.org/10.1093/nar/gkae959

浅海成層である厚保層群に挟在する付加体露頭

○隅田匠 1)*・藤井貴之 1)・末田雄樹 1)・民部雅史 1)
1) サンヨーコンサルタント
* E-mail: s.sumida@sanyo-ct.co.jp

An Accretionary-Complex Outcrop Incorporated within the Shallow-Marine Atsu Group

Sho Sumida 1)*, Takayuki Fujii 1), Yuki Sueda 1), Masasi Minbu 1)
1) Sanyo Consultant
** E-mail: s.sumida@sanyo-ct.co.jp*

キーワード：**厚保層群、付加体、圧力溶解劈開、タービダイト、石灰岩**
Keywords: Atsu group, Accretionary prism, Pressure solution cleavage, Turbidite, Limestone,

１．はじめに

地質図にレンズ状の石灰岩が描かれていることはしばしば見られる。例えば四国四万十帯、山口県内であれば玖珂地域などで描かれている。いずれも付加体中に見られている。

広域的な地質図において、山口県美祢市厚保地域に分布する厚保層群の本郷層でレンズ状石灰岩が確認できる（図 1）[1)2)]。石灰岩は「結晶質石灰岩」で、「石灰岩・珪質泥岩互層」と「珪質泥岩基質の混在岩」を伴って産する。この露頭は JR 厚保駅より北に約 550m 離れた厚狭川の河床で確認できる [3)]。本郷層はトリアス系の堆積岩層で、岩相は砂岩・泥岩・礫岩が主体である。産出する化石より、本郷層は三角州成層を挟む浅海成層であると考えられている（Tokuyama, 1962）。

浅海成層であるとされる本郷層のなかで「結晶質石灰岩、石灰岩・珪質泥岩互層、珪質泥岩基質の混在岩露頭」は異質な岩相であり、それは形成プロセスの違いに起因するものかもしれない。本露頭の形成プロセスとしては、四万十帯などで見られるレンズ状石灰岩と同様の付加作用、もしくは本郷層の砂岩などと同様の浅海における堆積作用が考えられるが、詳細には分かっていない。

以上より、本発表は厚保層群の本郷層で見られる「結晶質石灰岩、石灰岩・珪質泥岩互層、珪質泥岩基質の混在岩露頭」の形成プロセスに関する考察を行うことを目的とする。



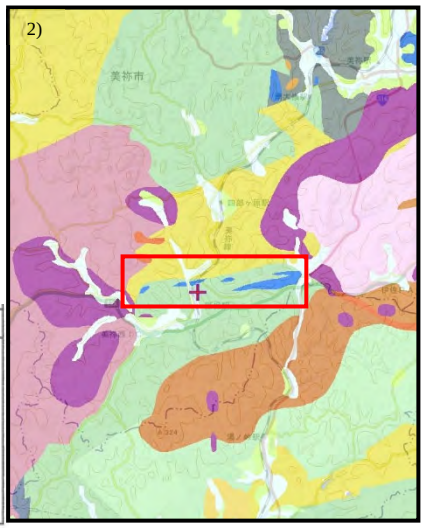


図 1　調査地周辺の地質図 [1) 2)]
レンズ状石灰岩が描かれている。



図 2　調査位置図 [3)]

2．結果と考察

南から「結晶質石灰岩」、「石灰岩・珪質泥岩互層」、「珪質泥岩基質の混在岩」の順で産する。以下に岩相ごとの観察結果と形成プロセスに関する考察を示す。

「石灰岩・珪質泥岩互層」の石灰岩部では、石英などの岩片が認められ、それらには級化構造が見られる（図 3）。これは石英や石灰質の砕屑物が密度流として流れて堆積したことで見られる産状だと考えられ、いわゆるタービダイトだと推測される。

また、珪質泥岩部には圧力溶解劈開が見られる（図 4）。圧力溶解劈開の方向性は、互層の面構造と調和的である。圧力溶解を含む粒界拡散は温度 150～350℃ほどで生じると考えられている [4)]。以上の観察結果より、石灰岩・珪質泥岩互層は石灰質の砕屑物と珪質軟泥が海溝付近に堆積して形成され、その後プレート境界に沈み込んで大陸側に付加したものだと考えられる。

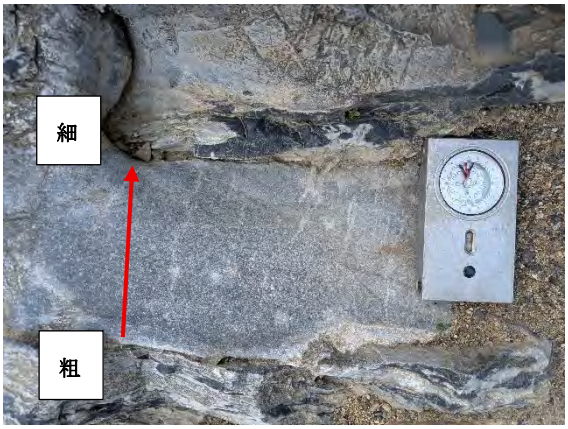


図 3　砕屑性石灰岩。上部に細粒な砕屑物が、下部に粗粒な砕屑物が確認できる。

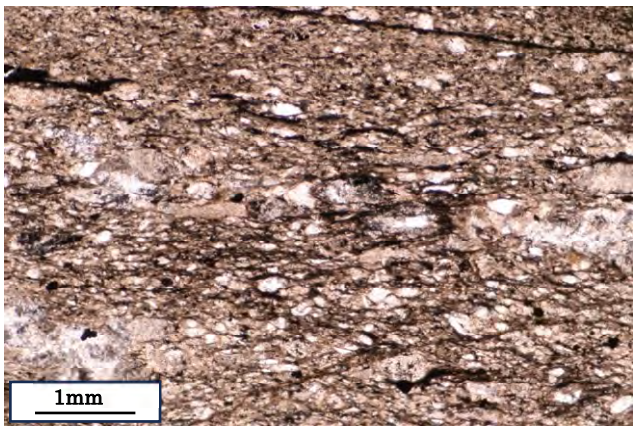


図 4　黒色部は圧力溶解劈開。砕屑粒子には定向配列が見られる。

「珪質泥岩基質の混在岩」は、ブロックとしてチャートと石灰岩を含むが、石灰岩ブロックのほとんどは溶脱して露頭に複数の抜け跡が見られる。ほとんどのブロックは変形を被っている。チャートブロックと、石灰岩ブロックの溶脱跡には定向配列が見られ、その方向は石灰岩･珪質泥岩互層の圧力溶解劈開の方向性と概ね同一方向である。以上の観察結果より、珪質泥岩基質の混在岩は、珪質軟泥がチャートと石灰岩をブロックとして含み、石灰岩・珪質泥岩互層と共にプレート境界に沈み込んで大陸側に付加したものだと推測できる。

「結晶質石灰岩」には定向配列した黒色の筋が見られた（図 5）。スタイロライトの配列、もしくはスタイロライトを利用した剪断面のように見られ、変形を被ったことが推察できる。この黒色の筋は、石灰岩・珪質泥岩互層の圧力溶解劈開の方向性と概ね同一方向である。また、黒色の筋は、石灰岩・珪質泥岩互層との境界面にかけて密に発達する傾向が見られる。このことから、岩相境界で変形集中があったこと、「結晶質石灰岩」と「石灰岩・珪質泥岩互層」が接した状態で変形を受けたことが推察できる。



図 5　結晶質石灰岩に見られる黒色の筋。

以上の観察結果より、各岩相で見られる変形構造が概ね同一の方向性を持ち、本露頭全体は同一応力下で変形したと考えられる。よって、「結晶質石灰岩、石灰岩・珪質泥岩互層、珪質泥岩基質の混在岩」は総じて、浅海での堆積作用によって形成されたのではなく、付加作用によって形成されたと考えられる。つまり、本露頭は付加体露頭であると考えられる。

最後に、本露頭（付加体）は周辺の厚保層群（浅海成層）と形成プロセスが異なっていると考えられるため、本露頭を厚保層群ではなく別の層として区分するべきなのかもしれない。

３．今後の課題

- 結晶質石灰岩の源岩の堆積プロセスはどのようなものか。
- 結晶質石灰岩の形成プロセスはどのようなものか。
- 結晶質石灰岩、石灰岩・珪質泥岩互層および珪質泥岩基質の混在岩がどのようなプロセスを経て厚保層群に挟在されたのか。

引用文献

1) 山口地学会日本地方地質誌 6 中国地方(2009), 日本地質学会, 85-86.
2) 20 万分の 1 シームレス地質図 V2, https://gbank.gsj.jp/seamless/v2/viewer/
3) 地理院地図/GSI Maps|国土地理院, https://maps.gsi.go.jp/
4) 狩野謙一・村田明広 (1998)：構造地質学, 朝倉書店, 95-98.

山口県北部群発地震を事例とした リスクコミュニケーションに関する調査

○吉野瑛師 1)*・太田岳洋 1)
1) 山口大学
* E-mail: f039vcw@yamaguchi-u.ac.jp

A Survey on Risk Communication: A Case Study of the Seismic Swarm in Northern Yamaguchi Prefecture

Eishi Yoshino 1)*, Takehiro Ohta 1)
1) Yamaguchi University
** E-mail: f039vcw@yamaguchi-u.ac.jp*

Abstract

This study examines risk communication issues using the seismic swarm occurring near the Mutsumi district of Hagi City, northern Yamaguchi Prefecture (from February 2025) as a case study. The swarm occurs in the lower crust (25–40 km depth) and consists mostly of microearthquakes of magnitude 1 or less, making it a scientifically distinctive yet largely imperceptible phenomenon for residents. Interviews with the Hagi City disaster prevention division and an NHK reporter were conducted, together with questionnaire surveys of Hagi residents (n = 10 and n = 9) and university students at Yamaguchi University (n = 344) and Yokohama National University (n = 70). Interviews revealed challenges in information transformation—expert explanations of over three minutes compressed into about 15 seconds in broadcasts—and a perception gap between residents and the municipal office. The recognition rate of the swarm did not differ significantly between the two universities, indicating that geographic proximity does not enhance awareness. Despite their geographic exposure, Yamaguchi University students showed lower hazard map awareness and stronger anxiety toward seismic unpredictability than the Yokohama group. A discrepancy was also observed between disaster training experience (77%) and actual preparation (35% reported no preparation). Even among the geographically proximate Yamaguchi students, awareness of the swarm remained low (10.5%) despite more than 6,000 recorded events, indicating that the scale of physical occurrence does not necessarily correspond to the level of public awareness.

キーワード：リスクコミュニケーション，群発地震，防災意識，災害情報，不確実性
Keywords: Risk Communication, Seismic Swarm, Disaster Awareness, Disaster Information, Uncertainty

１．はじめに

2025年2月以降，山口県北部の萩市むつみ地区付近で群発地震が継続的に発生しており，2026年1月末までに6,000回を超える地震が観測された一方，震度1以上を観測した地震は発生していない（図1）．Nakajima et al. (2026)[1]は，本群発地震が通常の地震発生層を大きく下回る下部地殻（深さ25-40 km）で発生し，その大半がマグニチュード1以下の微小地震であることを明らかにし，マントル由来の高温流体の注入と断層帯における含水鉱物の脱水分解との正のフィードバックによる発生機構を提案した．また地震調査委員会 [2]も，GNSS観測および傾斜データにより本群発地震に伴うわずかな地殻変動が生じていることを報告し

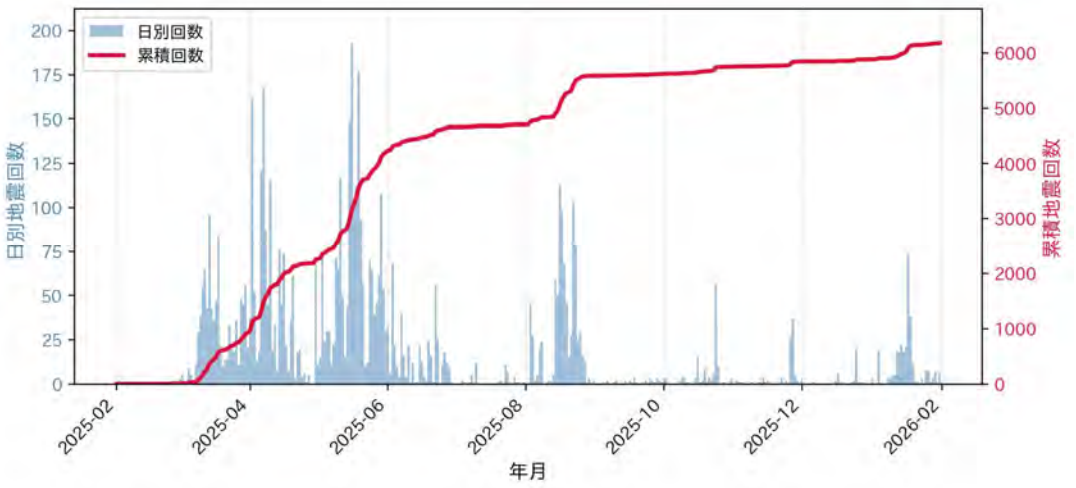


図 1　山口県北部の群発地震の日別および累積発生回数

ている．すなわち本群発地震は，科学的には特異な現象である一方，住民にとっては「ほんど揺れを伴わない，目に見えない」現象という特徴を持つ．

本研究グループはそのメカニズム解明を目的に深部流体観測井のモニタリングおよび震源域内での GNSS 観測を実施しており，本報告はそのサブテーマとして実施されたリスクコミュニケーションの実態調査の 1 年目の結果をまとめたものである．本調査では，関係者へのインタビュー，萩市住民および大学生を対象とした質問紙調査を通じて，災害情報の伝達・共考・信頼に関わる意識・態度・行動の実態を把握することを目的とした．なお本調査は，リスクコミュニケーション上の課題を記述・整理することを目的とし，コミュニケーションの効果や因果プロセスを直接測定するものではない．

２．調査方法

2.1　インタビュー調査

2025 年 8 月 5 日，萩市総務部防災危機管理課（課長・地域防災マネージャー　計 2 名）および NHK 記者 1 名を対象に半構造化インタビューを実施した．なお，得られた知見は各氏個人の認識に基づくものであり，所属組織の公式見解ではない．

2.2　萩市住民への質問紙調査

2025 年 9 月 19 日に萩市椿東前小畑一区のなかよしサロン参加者 10 名（防災意識比較低グループ），10 月 18 日に萩市総合福祉センターで実施された防災士ステップ UP 研修参加者のうち萩市在住の 9 名（防災意識比較高グループ）を対象に質問紙調査を実施した．両グループはサンプルサイズが小さいため統計的検定は行わず，参考値として扱う．

2.3　大学生への質問紙調査

地理的近接性および防災意識の異なる比較対照群として，山口大学学部学生 344 名（経済学部 225・人文学部 87・医学部保健学科 24・理学部地球圏システム科学科 8）および横浜国立大学学生 70 名（都市科学部・都市イノベーション学府ほか）を対象に質問紙調査を実施した．両群とも便宜的サンプリングであり代表性を持たないこと，回答者の所属が山口大学では経済学部・人文学部を中心とする文系であるのに対し，横浜国立大学では都市科学部の理工系が中心であり学部構成が大きく異なること，および性別比に大きな差があること（山口大学：男性 44.5%・女性 53.8%，横浜国立大学：男性 78.6%・女性 20.0%）に留意する必要がある．これらの構成の違いは大学間の差を解釈する際の交絡要因となりうる．

2.4　分析手法

単一選択設問については，両大学間でカイ二乗検定（χ^2 検定）を行い，効果量として

Cramér's V を算出した．複数回答設問は選択肢間の独立性が担保されないため検定を行わず，記述統計のみを示す．両大学で表記が異なるが同一内容を指す選択肢（山口「行政（市・県など）」と横浜「行政（市区・都県など）」）は，同一の選択肢として統合した．一部の単一選択設問では，期待度数の小さい稀少カテゴリを「その他」に統合した上で検定した．

３．結果と考察

以下ではインタビューおよび質問紙調査の主要な結果と考察を述べる．単一選択設問の検定結果は表１にまとめた．

3.1　インタビューからの知見（行政・メディアの視点）

萩市総務部防災危機管理課からは，群発地震は「目に見えない・わからない」現象として住民に不安を与えうること，テレビ報道の直後に住民からの問い合わせが増加すること，住民の意識は３層（興味あり／聞く／何もしない）に分かれること，「自分は大丈夫」（住民）と「いつ来てもおかしくない」（行政）の認識ギャップが存在することが語られた．NHK 記者からは，専門家の 3 分以上の説明が放送では約 15 秒のコメントに圧縮されるという情報変換の課題が指摘された．

3.2　群発地震の認知

群発地震の認知率は山口大学 10.5%，横浜国立大学 8.6%で，両大学間に有意差はなかった（χ^2=0.07， p=0.794）．地理的近接性は認知率を高めていない．情報源（複数回答）は，山口大学認知者 36 名のうちインターネットニュース 15 件（41.7%），テレビ 9 件（25.0%），家族・友人 9 件（25.0%）であり，行政・自治体からの広報は 3 件（全体の 0.9%）に留まった．テレビ報道の直後に住民からの問い合わせが増加するというインタビューでの指摘とあわせて，報道機関が住民の認知において大きな役割を果たしている可能性がうかがえる．

萩市住民調査でも，9/19 グループで「知っていた」は 3 名（30%）に留まった一方，防災士研修参加者である 10/18 萩市在住グループでは 9 名全員が認知しており，参考値ながら両グループの差は大きかった．

3.3　ハザードマップによる自然災害の把握度（グループ分けの主根拠）

「自身の生活圏で発生が予想される自然災害をハザードマップなどで，どの程度把握しているか」という設問に対し，「把握している」「非常によく把握している」と回答した割合は山口大学 18.0%，横浜国立大学 65.7%で大きな差があった（χ^2=76.49， p<0.001，V=0.430）．本指標を主根拠に，横浜国立大学を防災意識比較高グループと位置づけた．な



図２　ハザードマップによる自然災害の把握度（大学生）

お，ハザードマップによる自然災害の把握度のほか，防災準備率・地球科学への興味・知識の日常有用性・訓練の活用度のいずれにおいても，横浜国立大学が山口大学を上回る一貫した傾向が認められた．ただし，グループ分けの根拠と検証結果が同一調査から得られていることに循環性の課題が残る（図 2）．

3.4　地震の予測不能性への感情と人命の金銭的評価

地震に関する「まだわかっていないこと」「予測できないこと」に対する感情は，山口大学では「不安に感じる」（50.9%）が最多であったのに対し，横浜国立大学では「仕方ないと思う」（37.1%）が最多であった（χ^2=28.36，p<0.001，V=0.263）．萩市住民調査でも，9/19 グループでは「不安」「少し不安」「仕方ない」が各 3 名（30%）に分かれたのに対し，防災意識の高い 10/18 萩市在住グループでは「仕方ないと思う」が最多（5 名，56%）であり，参考値ながら大学生調査と整合する結果であった．大学生・萩市住民の両調査から，防災意識が高い群ほど予測不能性を受容的に捉える傾向が示唆される．また，人命の価値を金銭的に評価することへの賛成系は山口大学 45.3%，横浜国立大学 71.4%であり，有意差が認められた（χ^2=16.59，p=0.001，V=0.201）．

3.5　防災準備の実態

防災訓練・講座への参加経験について「複数回ある」と回答した割合は山口大学 67.7%，横浜国立大学 60.0%であり（χ^2=6.69，p=0.035，V=0.127），「参加経験あり」は山口大学で 77.0%に達した．一方，「特に準備していない」と回答した割合は山口大学 35.2%，横浜国立大学 12.9%であり，参加経験と具体的な防災行動の間に乖離が観察された．参加経験者に限っても，山口大学では 30.2%（265 名中 80 名）が「特に準備していない」と回答しており（横浜国立大学：10.7%），個人レベルでも乖離が確認された．

４．結論

本調査の主な知見は以下のとおりである．

① インタビューからは，専門家による 3 分以上の説明が放送では約 15 秒に圧縮されるという情報変換の課題，および「自分は大丈夫」と考える住民と「いつ来てもおかしくない」と考える行政との認識ギャップが指摘された．

② 群発地震の認知率は地理的近接性に依存せず，主要な情報源はインターネットニュース・テレビ・家族友人であり，行政広報からの認知は限定的であった．一方，萩市住民では 9/19 グループの認知が 30%に留まったのに対し，防災士研修参加者である 10/18 萩市在住グループでは 9 名全員が認知しており（いずれも参考値），防災への関与度による認知の差がうかがえる．

表 1　大学生 2 群における単一選択設問の比較（カイ二乗検定）

設問	χ^2	p 値	V	有意差
群発地震の認知	0.07	0.794	0.013	—
ハザードマップによる自然災害の把握度	76.49	<0.001	0.430	**
地球科学への興味	9.38	0.095	0.151	—
地球科学知識の日常有用性	11.14	0.049	0.164	*
行政への信頼	7.87	0.049	0.138	*
最も信頼する立場	24.05	<0.001	0.242	**
緊急時の判断依存先	12.13	0.059	0.172	—
予測不能性への感情	28.36	<0.001	0.263	**
人命の金銭的評価	16.59	0.001	0.201	**
防災訓練の参加経験	6.69	0.035	0.127	*

** p<0.01，* p<0.05，− 有意差なし．複数回答設問は検定対象外．「最も信頼する立場」「緊急時の判断依存先」は稀少カテゴリを「その他」として検定した．

③ 防災意識比較高グループと位置づけた横浜国立大学では，その位置づけと整合する結果が複数の設問で得られた（ハザードマップによる自然災害の把握度・防災準備率の高さなど）．特に地震の予測不能性に対しては，山口大学では「不安に感じる」（50.9%）が最多であった一方，横浜国立大学では「仕方ないと思う」（37.1%）が最多であった．萩市住民でも，9/19 グループでは「不安」「少し不安」「仕方ない」が各 3 名（30%）に分かれたのに対し，防災意識の高い 10/18 萩市在住グループでは「仕方ないと思う」が最多（56%）であり（いずれも参考値），防災意識が高い群ほど予測不能性を受容的に捉える傾向がうかがえる．

④ 防災訓練・講座への参加経験者は山口大学で 77.0%に達した一方，その参加経験者のうち 30.2%は「特に準備していない」と回答しており，参加経験と具体的な防災行動の間に乖離が確認された．

⑤ 本群発地震は揺れをほとんど伴わない「目に見えない」現象であり，2026 年 1 月末までに 6,000 回を超える地震が発生したにもかかわらず，地元の山口大学においても認知率は 10.5%にとどまった．物理的な発生の規模と社会的な認知の度合いが必ずしも対応しないことがうかがえる．

ただし，インタビューで得られた知見は担当者個人の認識に基づくこと，両大学とも便宜的サンプリングであり代表性を欠き，交絡変数（性別比・学部構成等）が統制されていないこと，萩市住民調査はサンプルサイズが小さく参考値に留まることに留意が必要である．今後の課題として，属性を統制した層別分析および萩市住民への追加調査の実施が挙げられる．

謝辞

本調査にご協力いただいた萩市総務部防災危機管理課，NHK 山口放送局，萩市在住の住民の皆様，山口大学および横浜国立大学の教員，学生の皆様に深く感謝申し上げます．

引用文献

1) Nakajima, J., Miyazaki, K., Suenaga, N., Azuma, S., and Yoshioka, S. (2026): Prolonged hypocenter migration in a lower-crustal earthquake swarm in Japan: Positive feedback between heat influx and fluid production, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 131, e2025JB032955.

2) 地震調査委員会（2025）：2025 年 5 月の地震活動の評価についての補足説明，地震調査研究推進本部.

土層構造の違いによる土石流の発生し易さについて

○吉原和彦 1)*・太田岳洋 2)・上野考弘 1)・加川裕二 1)・木山拓海 1)
1) トキワコンサルタント株式会社, 2) 山口大学
* E-mail: yoshihara@tokiwack.co.jp

Regarding the susceptibility of debris flows due to differences in soil layer structure

Kazuhiko Yoshihara 1)*, Takehiro Ohta 2), Takahiro Ueno 1), Kagawa Yuji 1), Takumi Kiyama 1)
1) Tokiwa Consultant, 2) Yamaguchi University*
** E-mail: ttk@yamaguchi-u.ac.jp*

キーワード：土層構造，土石流，透水係数，実効雨量
Keywords: Soil layer structure, Debris flow, Permeability coefficient, Effective rainfall

１．はじめに

2009 年 7 月の中国･九州北部豪雨により, 山口県防府市では同時多発的に土石流が発生し, 16 人のかたが亡くなられた [1]。土石流は，標高 300m から 400m の中起伏山稜の山頂から山裾にかけて細長く発生し，合流しながら勢いを増し，谷地形に沿って生活圏まで流下し，甚大な被害を与えた。被災直後に撮られた空中写真では，縦に細長く薄茶色の地肌が山地の至る箇所で見られている（図 1)。しかし、緑色の植生が残っている箇所もある。本発表では，この現象を，土層構造の違いによって，土石流が発生し易い条件と，し難い条件があると考え，防府市右田地区において，斜面崩壊および土石流の発生地と非発生地で，地表踏査，簡易貫入試験，室内土質試験を実施し，これらの結果から土層構造を明らかにした。また，土壌透水試験によって, 地盤の透水性を評価した。次に, 2009 年 7 月降水量から実効雨量を計算し，斜面崩壊および土石流の発生する実効雨量について検証してみた。

２．手　法

山口県防府市右田地区で地表踏査を行い，地形・地質状況，斜面崩壊および土石流の発生跡の有無を確認した（図 2)。土石流が発生した箇所，過去に発生したと考えられる箇所と，非発生箇所を抽出し，現地で簡易横断測量，簡易貫入試験，土試料の採取を行い，室内で採取した土試料で室内土質試験と土壌透水試験 [3] を実施した。土石流発生箇所と非発生箇所の両者で，地形的特徴，土層構造，地盤強度，土質工学的特性，地盤の透水性について比較した。次に, 2009 年 7 月土石流災害が発生した時の降雨量を基に, 実効雨量 [4] について検証し，土砂災害が発生すると考えられる実効雨量を推測した。



図 1　2009 年防府市土石流災害斜め写真 [2)]

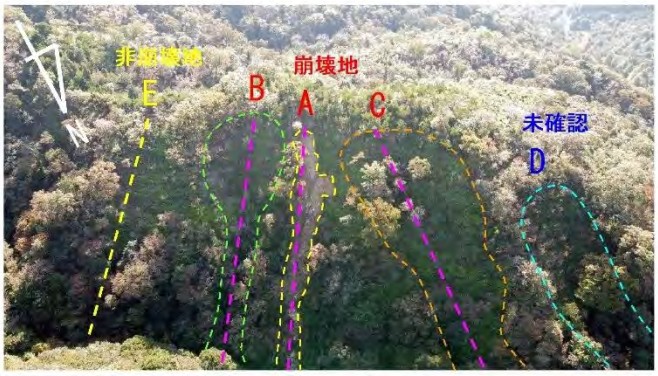


図 2　ドローンによる空撮と地形判読

3．結果と考察

(1)地表踏査

近年、斜面崩壊及び土石流が発生したと思われる箇所を確認し，これに隣接する斜面で崩壊履歴の有る箇所と無い箇所を抽出した。この付近では，細粒花崗岩と粗粒花崗岩が分布し，細粒花崗岩は硬質で岩盤露頭として存在し，粗粒花崗岩が風化し風化礫または土砂化していた。岩盤亀裂の方向は，N60W，N50E が多く見られた。岩塊露頭の亀裂や上位の堆積土砂との境界から湧水が確認された。

(2) 空中写真判読，ドローン空撮による地形判読

斜面崩壊及び土石流が発生したと考えられる箇所（A 箇所）を中心に隣接する斜面の地形判読を行った。A 箇所の東側では，ボトルネック型の崩壊地形（B 箇所）が見られた。さらに東側では，非崩壊地（E 箇所）を確認した。A 箇所の西側では，長方形型の崩壊地形が 2 箇所（C 箇所・D 箇所）見られた（図 2)。

(3)簡易地形測量，断面図作成

測機機器またはポール横断で断面図を作成した。高さ 45～68m，斜距離 68～107m，崩壊幅は 8～22m であった。崩壊地では尾根部で地形傾斜角度 20～26 度の緩い勾配で，その下の崩壊地では 33～39 度を呈した。非崩壊地では，尾根部から中腹まで地形傾斜角度 32 度，中腹から下位まで 35～45 度であった（図 3)。

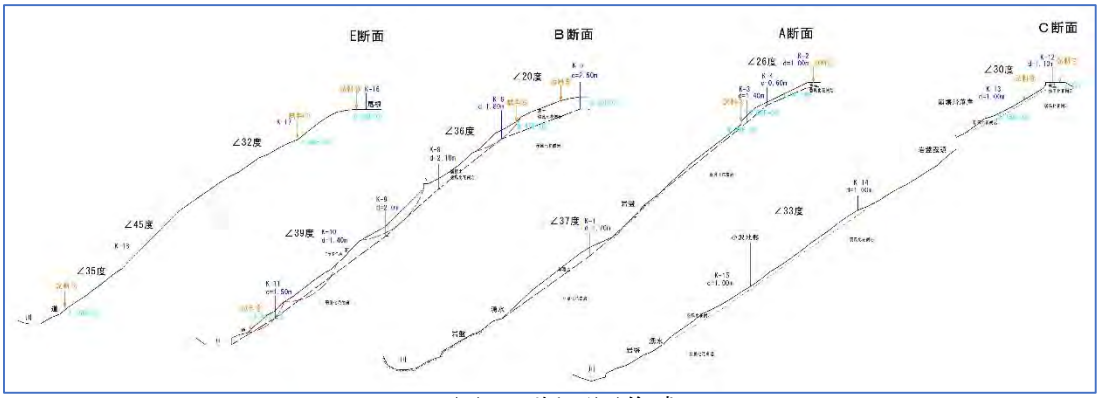


図 3　断面図作成

(4)簡易貫入試験結果

A,B,C,E 箇所の尾根頂部，中腹部，末端部で簡易貫入試験を実施した。結果から指定された土質構造は、上から、表土が 0.3～0.5m（Nd 値 1～5），崩積土層が 0.5～1.5m（Nd 値 5～10），強風化層が 0.5～1.0m（Nd 値 10～40）、弱風化岩（Nd 値 50 以上）と推定された（図 4）。

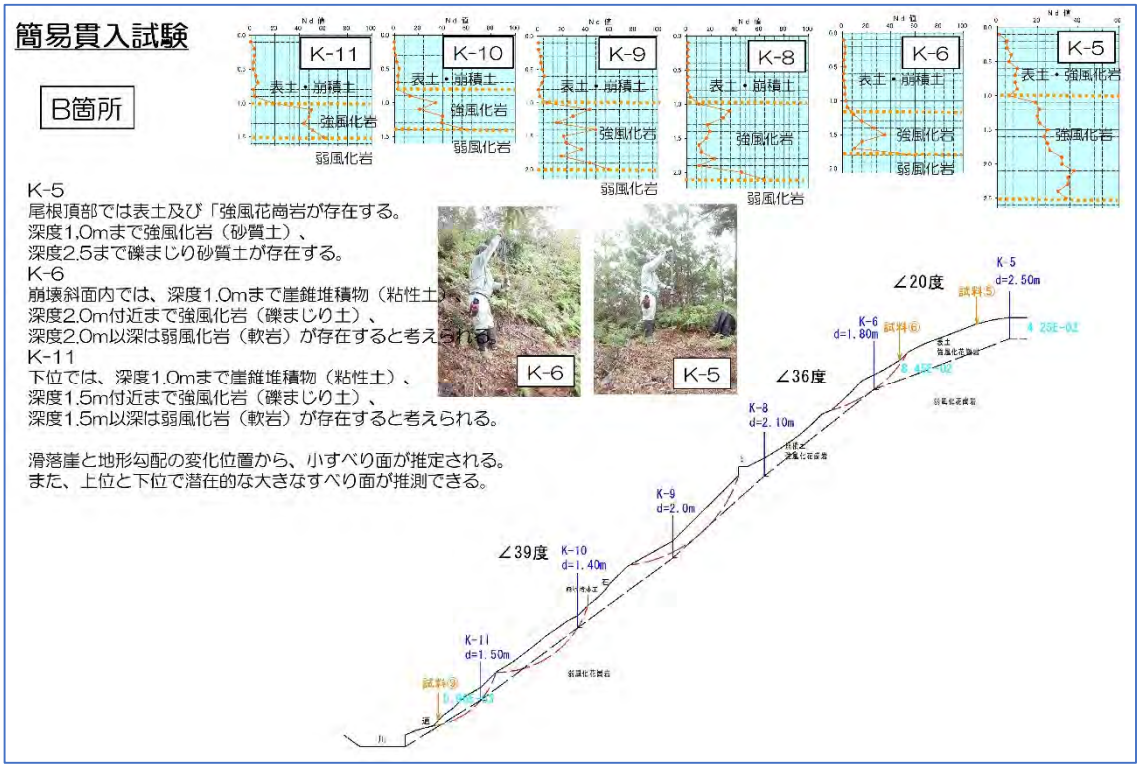


図 4　簡易貫入試験結果図（B 箇所）

(5)室内土質試験結果

土の室内土質試験では，崩壊地では根頂部では礫分・砂分が多く，崩壊地や滑落崖では，シルト分・粘土分などの細粒分が多かった。非崩壊地では，シルト分・砂分が多かった。

(6)土壌透水試験結果

土壌透水試験による透水係数 k(cm/sec)では,崩壊地の表土では 10^{-2} cm/sec～10^{-3} cm/sec，崩積土では 10^{-2} cm/sec～10^{-3} cm/sec，強風化花崗岩では 10^{-3} cm/sec であった。非崩壊地の表土では 10^{-3} cm/sec，強風化花崗岩では 10^{-2} cm/sec～10^{-3} cm/sec であった。

(7)降水量の評価

降水量評価の実効雨量の検証では，半減期の定数を 72h にした場合、実効雨量 200 ㎜以上が、過去の山口県内の土砂災害の発生履歴[5]に対して整合していると考えられた。しかし，防府観測所以外の地区では，実効雨量 300 ㎜～400 ㎜が適していた。

４．結　論

今回，各調査・試験により，崩壊地と非崩壊地の比較により、崩壊に起因する条件を明らかにし，崩壊のし易さ，し難さを評価した。土砂災害発生の実効雨量について検証した。

崩壊地と非崩壊地の比較では，斜面の傾斜角度に違いが認められた。

土層構造の比較では，崩壊地の B 箇所では崩積土の層厚が厚く，強風化岩の層厚も厚かった。同じ崩壊地の A 箇所と C 箇所では，崩壊地内に岩盤が露出しているため，強風化岩層はほとんど存在しなかった。非崩壊地では，強風化岩層が一定層厚存在していた。

土の工学的性質では，崩壊地では，尾根頂部や末端部で，礫分・砂分が多く，滑落崖で細粒分が多かった。非崩壊地では，全体としてシルト分・砂分が多かった。

土壌透水試験による透水係数 k（cm/sec）は，崩壊地と非崩壊地に関わらず，10^{-2}cm/sec～10^{-3}cm/sec を示した。

斜面崩壊の過程は，強風化岩層内で小崩壊を繰返し，大きな崩壊に発達するものと考えられる。強風化岩層が崩壊および土石流によって流出した後は，岩盤が露頭し，その後は長い時間をかけて，岩盤亀裂内に雨水が浸透し岩盤を劣化させて，岩盤での小崩壊を引き起こすのではないかと推測した[6)]。

降水量評価では，気象庁防府観測所の降水量データを用いて，実効雨量定数 T 半減期を 72h に設定した場合，実効雨量 200 ㎜以上が，山口県内で過去に発生した災害記録と合致することが分かった。防府観測所以外の地区でも検証してみた結果，概ね合致する結果であった。

謝　辞

今回の調査において，土地管理者である防府市様，土壌透水試験機器の使用方法を教えていただいた太田研究室の皆様，現地調査，各種試験に協力してくれたトキワコンサルタント（株）職員の皆様，に感謝いたします。

引用文献

1）国土交通省　ホームページ【参考資料-1】「平成 21 年 7 月 21 日豪雨による山口県土石流災害」https://www.mlit.go.jp/river/sabo/tokushu_dosha/tokushu_dosha1_sanko1.pdf

2）株式会社パスコ　ホームページ　災害撮影[事業活動と社会貢献]
https://www.pasco.co.jp/disaster_info/090721/

3）大起理化工業株式会社　DIK-4012　土壌透水性測定器　4 点式　取扱説明書

4）防災科学研究所　水・土砂防災研究部門　ホームページ　実効雨量について
https://sip4dkit-web.bosai.go.jp/rain/effectiverainfall/

5）山口県の主な災害全般（昭和 20 年以降）山口県防災危機管理課

6）大川侑里，金折裕司，今岡照喜（2012）：白亜紀防府花崗岩体で発生した土石流の分布と性状，応用地質，第 52 巻，第 6 号，248-255 頁

山口県北部で発生した群発地震と地下水位の関係

○太田岳洋 [1)*]・吉野瑛師 [1)]
1) 山口大学
* E-mail: takohta@yamaguchi-u.ac.jp

The Relationship between the 2025 Seismic Swarms Occurred in Northern Yamaguchi Prefecture and Groundwater Level

Takehiro Ohta [1)*], Eishi Yoshino [1)]
1) Yamaguchi University
** E-mail: takohta@yamaguchi-u.ac.jp*

Abstract

Regarding the seismic swarms observed in northern Yamaguchi Prefecture since late February 2025, the influence of fluids from deep underground has been suggested. Therefore, we confirmed the upwelling of fluids from deep underground in the region and examined the involvement of these deep fluids in the occurrence of the seismic swarm by analyzing the relationship between fluctuations in the water level and the occurrence of the swarm. As a result, the following findings were revealed.

1) Groundwater influenced by fluid upwelling from deep underground is distributed throughout northern Yamaguchi Prefecture. Based on groundwater quality, it was estimated that the fluids in the Nago area are of volcanic origin, while those in the Takasa-shimo area are influenced by seawater similar to diagenetic dehydration fluids.
2) It became clear that the occurrence of seismic swarms is largely influenced by self-excitation, such as aftershock activity.
3) Although fluctuations in the groundwater level in Takasa-shimo, which is influenced by fluid upwelling from deep underground, are statistically significant in relation to the occurrence of seismic swarms, it was estimated that the extent of this influence is very small and that it likely acts as a secondary factor.

キーワード：**群発地震**，**深部流体**，**地下水位変動**
Keywords: Seismic Swarm, Fluids from Deep Underground, Fluctuations in the Water Level

１．はじめに

2025 年 2 月以降，萩市から阿武町にかけた地域で，群発地震と非定常地殻変動が観測されている [1)]．一方，萩市中心北東から萩沖，阿武町，萩市須佐にかけて，阿武単成火山群が分布しており，阿武町奈古では火山性流体の湧出が確認されている [2)]．地震調査委員会 [3)]は群発地震の発生について深部からの流体移動の関与の影響を指摘している．一般に，深部からの流体は塩分濃度が高く，ホウ素濃度も高いことが多いとされる [4)]．そこで，聞き取り調査と水質分析から，群発地震発生域周辺での深部流体湧出箇所を調査し，その湧出が確認された萩市

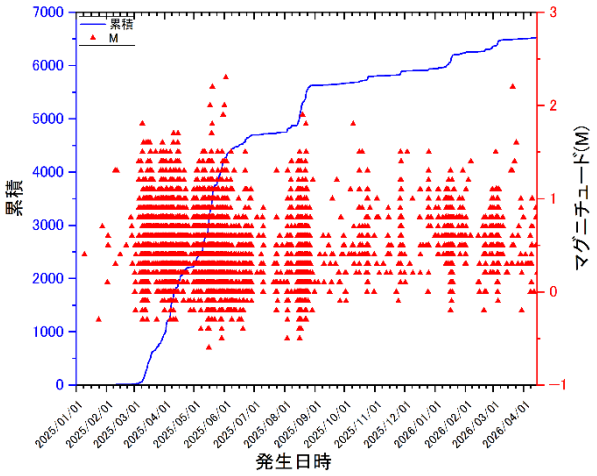


図 1　群発地震の発生日時とマグニチュード及び累積発生数

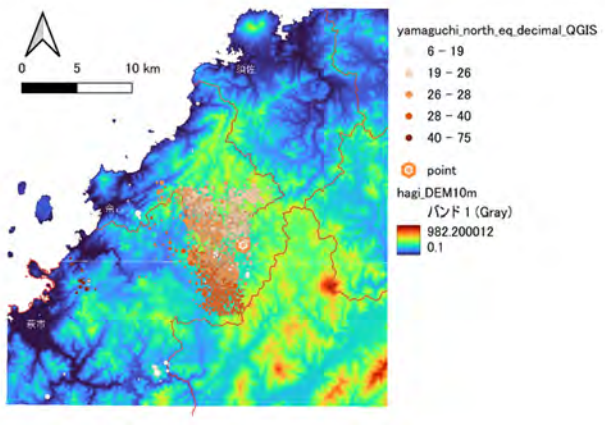


図 2　群発地震の震源分布
凡例の point は高佐下の湧水地点

高佐下のボーリング孔において地下水位の連続観測を 2025 年 7 月 26 日より行った.

本報告では, 確認された湧出水について水質分析結果から深部からの流体の可能性を示し, 湧出水の水位変動と群発地震の発生状況の対比から，深部からの流体の群発地震発生への影響について検討した結果を報告する.

2．山口県北部で観測された群発地震

2025 年 2 月下旬から山口県北部の萩市から阿武町にかけた地域で，群発地震が観測されている．気象庁 HP から「山口県北部」を震源とする地震を抽出した．これらを群発地震とすると，その活発な活動期は主に 3 月から 6 月であり，7 月以降は沈静化しつつあるものの，7 月 26 日以降も 3 月末までに 1,500 回以上の地震が観測され, 2 月下旬からの地震発生総数は 6,500 回を超える（図 1）．震央は萩市むつみから阿武町南部にかけて分布し，北に行くほど震源の深さが浅くなる（図 2）.

3．山口県北部に湧出する地下深部からの流体の化学的特徴

地下深部からの流体は塩分濃度に富むことが知られている [4]. 例えば, 水道法に基づく塩化物イオンの水質基準は 200mg/L とされており，県内の水道水源となっている地下水の塩素イオン濃度は 5～35mg/L である [5]のに対して，阿武町奈古にトラバーチンを形成して湧出する湧水は 600mg/L[2], 萩市むつみ高佐下のボーリング孔湧水は約 350mg/L の塩素イオン濃度を有する．電気伝導率（EC）についても，山口県内の一般的な地下水は 10～30mS/m である [5]が，奈古の湧水は 300mS/m を超え，高佐下の湧水は 130mS/m を示す．奈古の湧水および高佐下の湧水のヘキサダイアグラムとトリリニアダイアグラムをそれぞれ図 3，4 に示す．図 3 に示

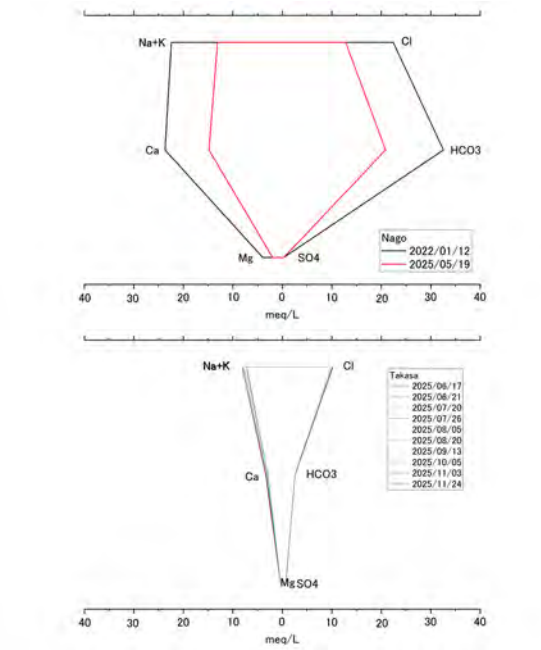


図 3　イオン濃度のヘキサダイアグラム

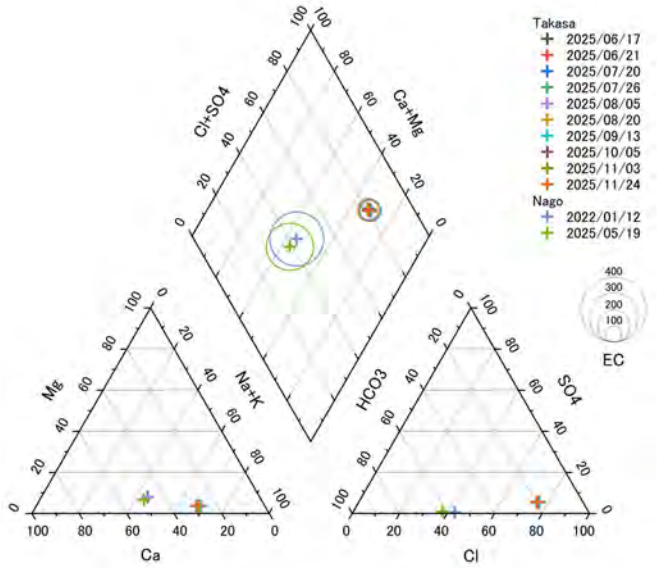


図 4　イオン濃度のトリリニアダイアグラム

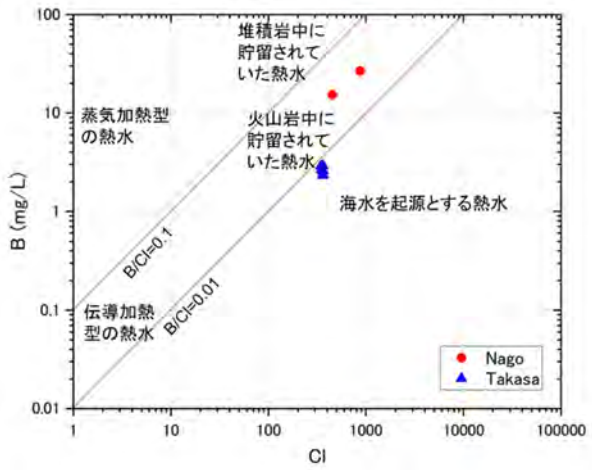


図 5　Cl 濃度と B 濃度による熱水の区分 [6)]

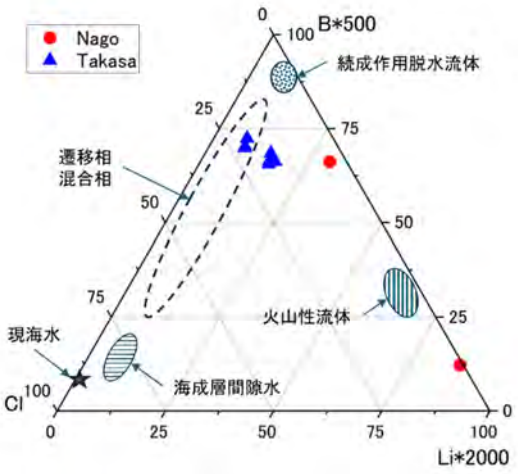


図 6　B-Li-Cl 相対組成図 [7)]

す通り，これらの湧水のイオンの当量濃度は高く，濃度の低い高佐下の湧水においても一般的な地下水の 10 倍程度の当量濃度を有する．また，図 4 に示すようにそれぞれの湧水のイオン濃度組成比は，採水時期に関わらず，ほぼ一定である．これらの特徴から，奈古及び高佐下の湧水は，いずれも地下深部を起源とする高塩濃度流体の可能性が考えられる．

前述のように，深部からの流体は塩分濃度が高く，ホウ素濃度も高いことが多いが，さらにそのうち火山性の流体はリチウム濃度も高いことが知られている [4)]．犬山ほか [6)]，平島 [7)]，大沢ほか [8)] は，地下水中の Cl，B，Li の濃度を用いて，その起源を推定する指標を示している．奈古，高佐下の湧水について，その指標を当てはめると，Cl-B 濃度の関係（図 5）からは奈古の湧水は「火山岩中に貯留されていた熱水」と区分され，高佐下の湧水は「海水を起源とする熱水」と区分される．また、Cl-B-Li 相対組成の関係（図 6）からは，奈古の湧水は「火

山性流体」，高佐下の湧水は「海成層間隙水」と「続成作用脱水流体」の「遷移相」の続成作用脱水流体に近い領域に相当する．これらのことから，奈古の湧水，高佐下の湧水は，いずれも沈み込む海洋地殻からの脱水流体を起源とする可能性が考えられる．

４．水位観測と地表変位測定に基づく群発地震評価

2025 年 2 月下旬から萩市から阿武町にかけた地域で観測された群発地震については，前述のように深部からの流体による影響が指摘された [3]ため，萩市高佐下で確認された高塩濃度湧水が湧出するボーリング孔において地下水位の連続観測を 7 月 26 日より行った．図 7 に機器設置後から 4 月 3 日までの発生した地震のマグニチュード，10 分間降水量，地下水位，地下水の電気伝導度の時系列を示す．地震マグニチュードは気象庁 HP から「山口県北部」を震源とする地震を抽出して得られたデータである．また，10 分間降水量は気象庁 HP に掲載されている萩特別地域気象観測所の観測データである．図には，群発地震の発生や地下水位変動に影響を与える可能性のある周辺での大きな地震活動を付記した．また，地下水位の 7 日間の移動平均も示している．図からはこれらの現象の関係性を見出すことは困難であるが，大きな地震後に地下水位が上昇する場合があり，地下水位の移動平均でみると水位が低下傾向にある時期に群発地震が発生しているように見える．

そこで，地震の発生頻度を，背景地震発生率 μ と余震活動などの自己励起項で表した Ogata の式 [7]に外部要因項を追加したモデル式 [8]を仮定し，外部要因項を地下水の影響として

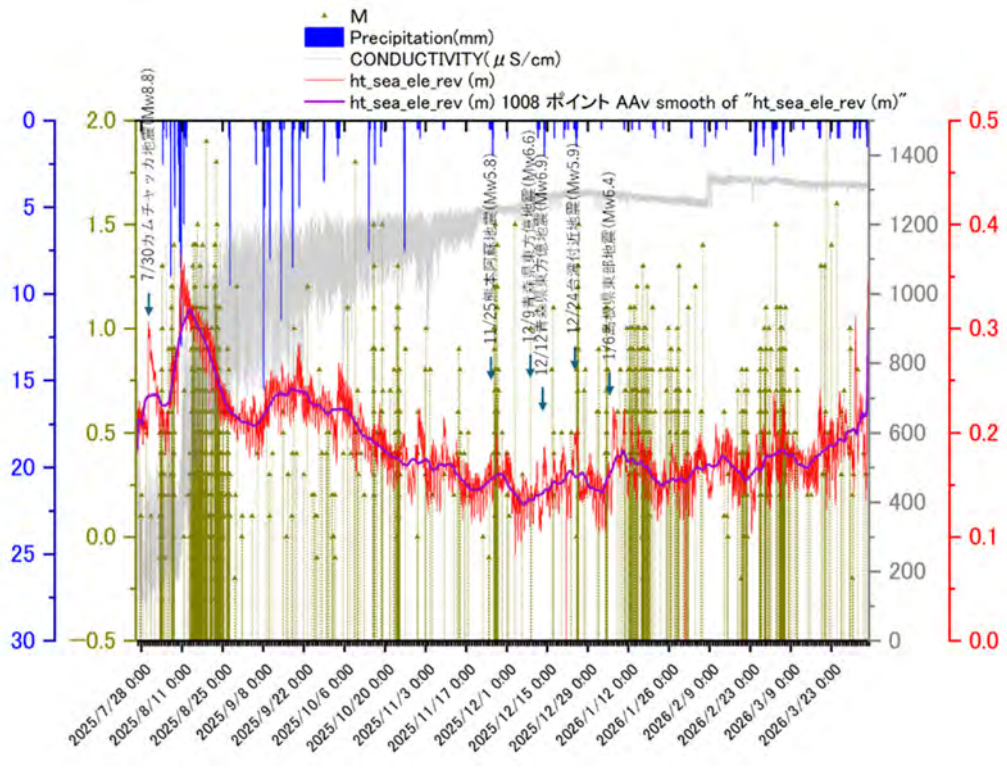


図 7　地震、降水量、地下水位の時系列

$$\lambda = \mu + \sum_{t_i<t} K e^{\alpha(M_i - M_0)} \frac{1}{(t-t_i+c)^p} + \beta x(t-\tau) \quad (1)$$

とモデル化した．ここに，μは背景地震発生率，K は生産性係数，αはマグニチュード依存性，c は時間オフセット，p は時間減衰指数，βは地下水効果，τは地下水効果の時間遅れ，x は地下水変動量，である．この(1)式を用いて，地下水(x)に対する地震発生頻度(λ)を最も説明できるパラメータの最適解とその尤度を求め，地下水の効果を表すβが 0.0 の場合の最適解における尤度と比較し，尤度比検定より優位性を判断した．

解析の結果，最適解としてβ=－1.0，τ=0.057 日が得られ，尤度比検定から有意であることが確認された．βが負であることから，地下水位変化が地震発生率に対して抑制的に作用している可能性がある．また，τの値から約 1.3 時間前の水位変化が遅れて影響する可能性が示された．しかし，最適解で(1)式のλを時系列で求めた際の，第 1 項と第 2 項の合計に対する第 3 項（地下水項）の比あるいはλ値に対する第 3 項の比を見ると，これらの比がほぼ 0 の時に地震が発生しており，地下水項の影響は小さいと考えられる（図 8）．

以上のことから，群発地震活動は主に自己励起項により支配されると考えられる．一方，地下水項は絶対値は小さいもののモデルの適合度は有意に改善されるため，地下水位の変化は主要な原因ではないが，補助的な要因として作用している可能性がある．

５．まとめ

山口県北部で 2025 年 2 月下旬より観測されている群発地震について，地下深部からの流体の影響が指摘されたため，当該地域での深部からの流体湧昇を確認し，その水位変動と群発地震の発生との関係から，深部からの流体の群発地震発生への関与を検討した．その結果，以下のことが明らかとなった．

1) 山口県北部には深部からの流体湧昇の影響を受けた地下水が分布し，地下水水質から奈古地区では火山性の流体，高佐下地区では続成作用脱水流体に近い海水の影響を受けた流体であることが推定された．
2) 群発地震の発生は，余

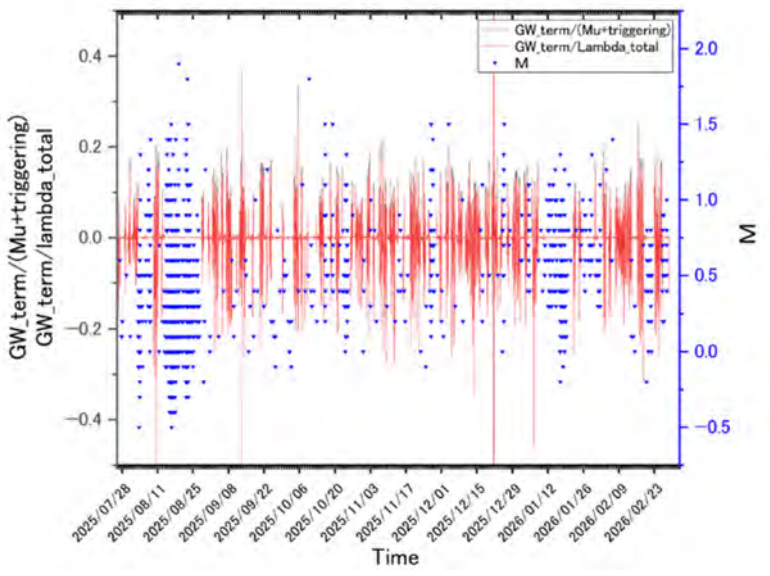


図 8　λ値に対する地下水の影響程度と地震発生の時系列

震活動に代表される自己励起の影響が大きいことが明らかとなった.

3) 高佐下の深部からの流体の影響を受けた地下水の水位変動は，統計学的には有意に群発地震の発生に関与していると考えられるが，その程度は非常に小さく，補助的な要因として作用している可能性があることが推定された.

引用文献

1) 西村卓也，宮澤理稔，西川友章，長岡愛理，宮町凛太郎，太田雄策，大園真子，高橋浩晃(2026) : 山口県阿武火山郡付近で発生した群発地震に同期する非定常地殻変動，京都大学防災研究所 令和 7 年度研究発表講演会， https://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/hapyo/26/pdf/A215.pdf.
2) 太田岳洋，髙吉菜夕，川上千尋，井上颯太(2022) : 山口県阿武町奈古におけるトラバーチンの発見とその意義，山口地学会誌，84, 5-10.
3) 地震調査委員会（2025）: 2025 年 4 月の地震活動の評価，令和 7 年 5 月 13 日地震調査研究推進本部，4.
4) 原子力発電環境整備機構(2020) : 火山性熱水・深部流体の分類に応じた影響評価手法の整備，78p.
5) 川上千尋，太田岳洋(2019) : 山口県における地下水の水質特性の把握，山口県環境保健センター所報第 62 号，80-89.
6) 犬山文孝，島田寛一，鴇田洋行，横井浩一(1999) : 地熱発電所環境保全実証調査 温泉・地下水系影響予測マニュアル(1)，地熱エネルギー，24, 3, 245-283.
7) 平島崇男(2018) : 青色片岩は有馬型熱水の起源，温泉科学，68, 159-167.
8) 大沢信二，綱田和宏，山田誠，三島壮智，風早康平(2010) : 宮崎平野の大深度温泉井から流出する温泉水の地化学特性と成因ー温泉起源流体としての続成脱水流体ー，温泉科学，59, 295-319.
9) Ogata, Y. (1988): Statistical models for earthquake occurrences and residual analysis for point processes, J. Am. Stat. Assoc.. 83, 9-27.
10) Nishikawa, T. and Nishimura, T. (2023): Development of an Epidemic-Type Aftershock-Sequence Model Explicitly Incorporating the Seismicity-Triggering Effects of Slow Slip Events, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 10.1029/2023JB026457.

山口大学理学部附属地質技術者教育センター

山口応用地質研究発表会事務局：太田岳洋

〒753-8512　山口県山口市吉田 1677-1
TEL: 083-933-5753 FAX: 083-933-5753
E-mail: takohta@yamaguchi-u.ac.jp