大涌谷変質帯および大涌川流水の地球化学的環境

著者	伊藤 司郎, 大久保 太治
雑誌名	防災科学技術総合研究報告
号	8
ページ	21-27
発行年	1966-03-31
URL	http://id.nii.ac.jp/1625/00002515/

550.4：552.16（521.26）

大涌谷変質帯および大涌川流水の地球化学的環境

伊藤司郎
地質調査所技術部地球化学課
大久保太治
地質調査所応用地質部応用地質課

Geochemical Environments of the Altered Zone with Reference to Running Water at Owakudani Area

By Shiro Itoh and Taiji Okubo
Geological Survey of Japan, Tokyo

Abstract

The hydrogen-ion concentration, oxidation-reduction potential, temperature, and water resistivity at the volcanic altered zone of Owakudani, Hakone, were measured. From those data, pH-Eh diagram was prepared to illustrate geochemical condition of the altered zone. Two opposite trends of evolution of geochemical environments were noticed. Although both of them start from the same point, one goes to the acidic side with oxidation, and the other to the basic side. As the cause for such difference, it is considered that the former is affected by acidic ground water, whereas the latter is in the normal process of alteration.

The pH, Eh, temperature, and resistivity of running water in the upper streams of the Owaku river are also measured, and the variations in the conditions of the streams are discussed.

1. 序　　言

箱根，大涌谷の火山性地すべりの発生機構解明の総合研究の一環として，変質帯および大涌川流水の酸化還元電位(Eh)，水素イオン濃度(pH)，温度，水の比抵抗を測定し，粘土鉱物の生成に重要な因子となるであろう地球化学的環境を求めた．火山性地すべりでは噴気または熱水によって生成する粘土鉱物が重要な役割を演ずることはよく知られており，地すべりの発生機構を解明するうえで粘土鉱物の成因を解明することは根本的な問題の一つである．一般に，火山性の噴気および熱水によって生成する粘土鉱物の種類は噴気または熱水の温度，化学組成，移動速度，作用を受ける岩石の化学組成，反応する場の圧力などによって決まる．しかし，どのような物理的，化学的条件のときにどのような粘土鉱物ができるかは定性的にはわかっていても，定量的には未だ完全には体系化されてはいない．この問題の解明には合成実験と並んで，現実に粘土を生成しつつある野外での各種の測定，観察が重要であると考えられる．ここで報告する測定結果は主として，粘土帯の pH-Eh 条件と温度，および岩石に影響を与え，または与えつつある流水の pH，Eh，温度，比抵抗であるが，これらの結果を，現に生成している粘土鉱物種と対比することによって，その成因解明の一助となれば幸いである．

2. 変質帯の地球化学的環境

2.1 測定位置

変質帯の調査区域は，すでに藤井らによって報告された"大涌谷変質帯地質図"の調査領域とほぼ同一である．測定点の位置を図—1に示した．



図—1 測 定 点 の 位 置

2.2 測定方法および測定結果

測定方法は各測定点において，約 20cm の穴を堀り，その中に以下に述べる各測定器の電極を埋没し，約10分後に測定した．pH の測定には東亜電波工業の DM-1A 型を，Eh の測定には同会社製の酸化還元電位計 RM-1 型を，温度の測定には同会社製の温度計 GTM-1 型を，水の比抵抗の測定には DKK の PK-3 型を使用した．

測定結果を表―1に示した．

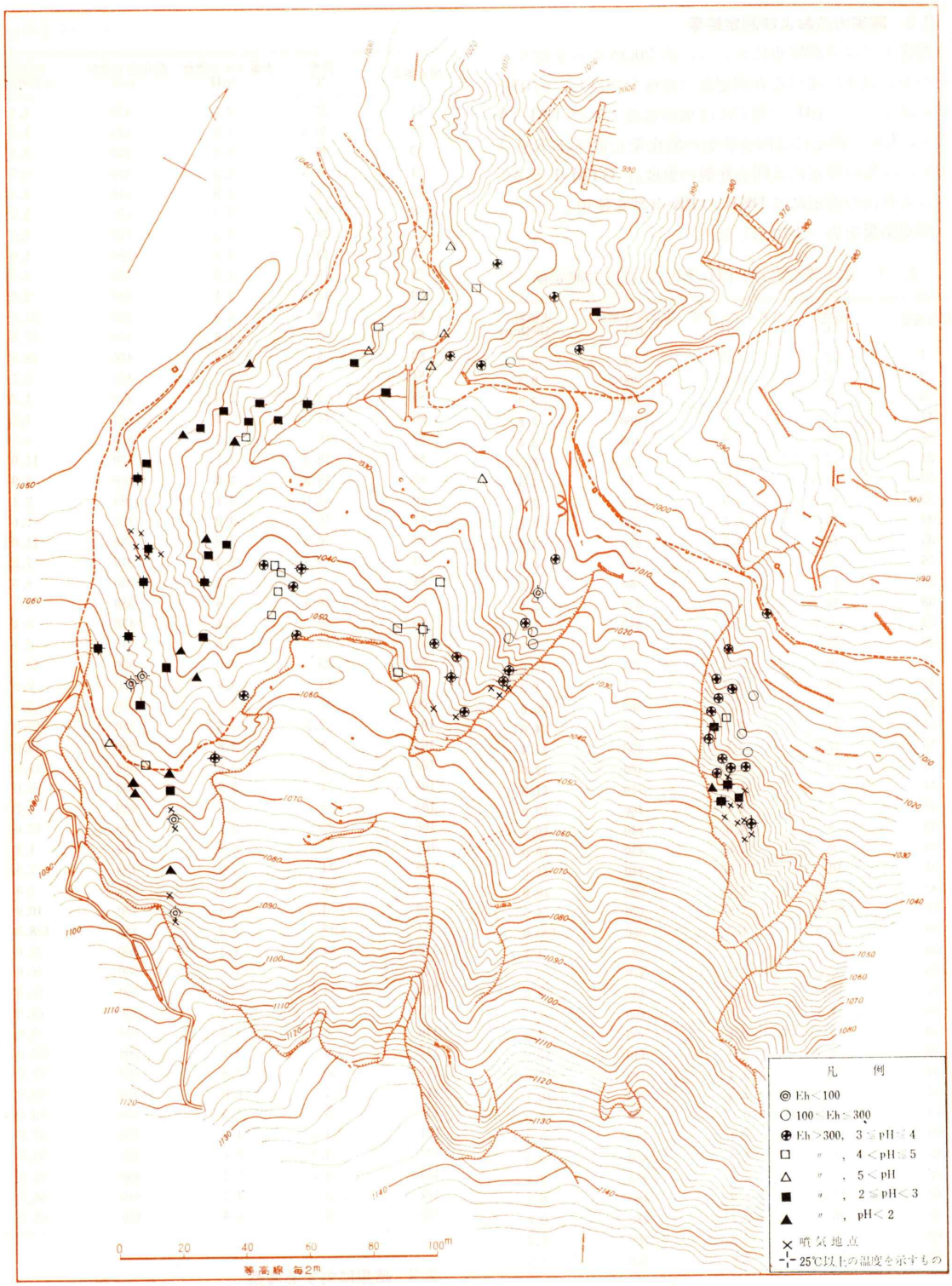
表―1 粘土帯の温度，pH, Eh, 比抵抗の測定値

測点番号	温度 °C	水素イオン濃度 (pH)	酸化還元電位 mV	比抵抗 ×10³Ωcm
1	12	4.2	430	3.5
2	6.5	4.5	360	9.5
3	31	4.3	390	3.2
13	14	3.0	360	2.8
30	14	1.9	400	3.4
31	32	2.5	− 35	1.5
32	40.5	3.3	10	4.5
33	15.5	2.9	475	2.3
34	16	6.4	325	0.8
35	10	4.2	420	3.3
36	5	1.9	455	4.0
37	17	1.3	480	0.2
38	10	1.9	430	2.1
39	6.5	2.5	440	4.0
40	99	3.5	−100	2.5
41	19.5	3.6	375	12.0
42	68.5	2.9	41	1.9
43	9	3.2	360	25.0
44	34	3.7	360	24.0
45	12.5	3.1	450	11.4
46	10	3.3	460	12.0
47	9	3.0	470	11.8
48	8	3.4	460	12.0
49	8	4.0	440	10.5
50	8	4.6	430	40.0
51	10	4.0	440	41.0
52	30.8	2.7	500	10.0
53	80.0	3.8	470	4.9
54	12.5	1.2	380	120.0
55	66	2.5	495	1.1
56	9.2	2.9	470	3.7
57	12	2.1	465	9.0
58	51.5	2.4	400	1.5
59	15	2.1	395	3.5
60	6	2.9	440	14.0
61	5	2.4	480	12.0
62	5	4.5	385	10.1
63	6	0	380	2.0
64	11.5	2.1	440	0.2
65	8	1.9	490	0.3
66	7	2.4	455	2.4
67	12.5	1.9	460	0.3
68	20	2.7	480	2.0
69	37	2.2	500	1.8
70	52.5	2.6	410	0.5
71	27	2.0	430	1.0
72	30.5	2.6	430	1.5
73	29	2.6	440	0.4
74	6.5	2.3	420	2.7
75	9	1.8	440	4.2
76	12	2.3	435	5.0
77	26	2.3	470	7.1
78	13	2.2	390	1.0
79	19	1.8	400	0.4
80	14.5	2.1	420	2.0
81	8	6.0	340	21.0
82	7	4.8	440	37.0
83	5	3.8	480	26.0
84	7	3.5	490	7.1
85	3	2.6	370	1.8
86	11	3.2	260	1.9
87	10	3.2	390	4.7
88	10.5	3.1	400	11.0
89	19.5	3.0	400	5.9
90	63.0	3.1	− 90	2.1
91	10	3.0	220	7.0
92	10.5	3.6	250	11.0
93	9.5	3.3	310	7.2
94	6	3.6	250	8.5
95	26.5	3.6	380	4.7
96	30	3.4	430	0.4
97	25	3.6	410	2.1
98	23	3.9	380	10.1
99	11	3.8	350	6.0
100	11	3.7	350	3.9
101	7.5	3.3	280	13.0
102	6	3.6	290	16.0
103	5	3.8	300	17.9
104	24	3.2	350	6.0
105	10	3.5	400	7.2
106	23	3.7	420	12.0
107	37	2.8	460	1.8
108	11	2.5	480	7.3
109	30	3.8	485	3.8
110	4.5	3.8	460	10.0
111	18	3.5	480	138.0
112	14	4.2	360	72.0
113	11	4.2	360	40.0
114	14.5	3.6	350	50.0
115	7	4.1	330	61.0
116	6	4.3	320	75.0
117	5	3.7	360	100.0
118	50	3.6	400	72.0
119	7	6.0	380	40.0
120	8	5.5	520	35.0
121	4.5	4.6	480	57.0
122	4.5	6.6	500	52.0
123	4.5	5.2	480	50.0
124	5	4.7	440	30.0
125	5	4.8	430	65.0

* 箱根大涌谷の噴気ガスの特性の項参照

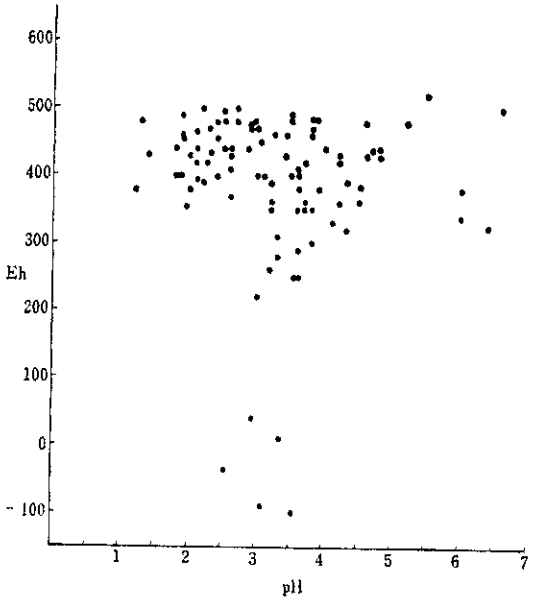
2.3 結果に対する考察

噴気の pH は高橋らの報告*にあるごとく，pH は1.0



図—3 粘 土 帯 の Eh-pH 条 件 の 分 布 図

～3.0であり，強い還元性のガス（H_2S, SO_2 など）を含むので，直接噴気に接している変質帯は還元的環境にあることが当然予想される．しかし，噴気より多少なりとも離れると，ほとんど大気と接触しているといってもよいほどの地表下を測定しているので，たちまち酸化状態となる（Eh が高くなる）．また，pH は噴気の pH を反影して，直接噴気と接する場所では 3.0 前後となるが，その影響から遠ざかるにつれて次第に中性に近くなることが考えられる．しかし，噴気の影響を受けた地下水は SO_4^{--} を大量に含有することになるので，強酸性を示すから，その地下水の滲透する変質帯では，直接噴気と接していない場所でも酸性を示すことになるだろう．図―2 の Eh-pH 関係図においても，この2つの変化径路を明瞭に読みとることができよう．この2つの径路を区別して地図上に示したのが図―3 である．



図―2　粘土帯の Eh-pH 関係図

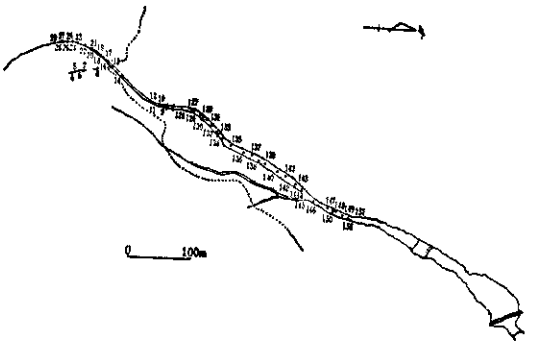
図―3から，かなりはっきりした累帯分布が読みとれる．すなわち，Eh の低い地点を中心として，次第に Eh の高い変質帯に移行し，近くに噴気帯がないか，または，あってもそこを通過する地下水の流路からはずれる場所では pH は高くなり中性に近づく．噴気の混入した地下水の流路にあたる部分では，逆に酸性側に移行している．この場合はまた，直接噴気と接してはいないが，ごく近くに噴気帯がある場合が多く，そのために高温を示すものも多い．

前述したごとく，噴気帯で生成する粘土鉱物の種類は，ここで測定した pH-Eh-T の地球化学的環境以外に，噴気または熱水の化学組成，原岩の化学組成，噴気または熱水との接触時間，圧力などが重要な因子として考えられる．したがって，ここで得られた結果を生成している粘土鉱物と対応させて議論するまでには至らないかもしれない．実際，先の藤井らの地表地質図との対比を試みたが，有意の関係は見出し得なかった．もっとも，地表と地表下 20cm のところでは生成している粘土鉱物種にかなりの相違が認められ，その地球化学的環境にもかなりの差異が考えられるので，両者の間に関係が見出し得なかったのは，むしろ当然のことなのかもしれない．したがって，測定位置での粘土鉱物種の組合せを決定し，それとの関係を調査することが今後の問題として残されている．しかしこの場合，粘土鉱物の生成の反応時間が問題になると考えられる．つまり，その粘土鉱物組合せがその時点で生成するには，それを生成させた地球化学的環境がどれだけの時間保たれなければならなかったのか，あるいは，環境の変化に粘土鉱物種の組合せはどれだけの順応性を持つのか，などの問題が実験的に解決されなければならないと考えるのである．

3.　大涌川の流水の地球化学的環境

3.1　測定位置

大涌川流域のうち，主として大涌谷地区の本流を対象として，流水の pH，Eh，温度，水の比抵抗を測定した．各測点の位置を図―4 に示した．測定時期が11月末なので，渇水期にあたり，測点 No. 9 より No. 14 まではほとんど流れはなく，溜水を参考までに測定した．測点



図―4　大涌川流水の測点位置

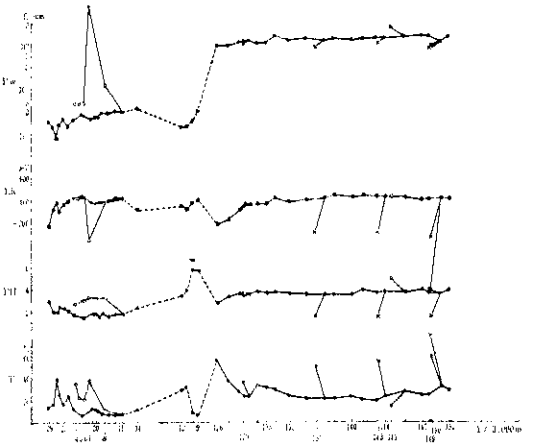
No. 152 は温泉供給 K.K. の採水口となっており，この地点より下流では，図上の最下流のえん堤まで流水はなかった．

3.2 測定方法および測定結果

前述した各測定器の電極を流水中に置き，数分後に測定した．測定結果を表—2に示した．また各測定値の変化をわかり易くするために図—5を作った．図中横軸は測定点を軸上に投影したものであり，数字は測点番号である．測点番号は4～29（No. 13 を欠く），126～152の通し番号になっており，煩雑になるので，ところどころだけ記してある．実線は流路の連続を示しており，×印は湧出温泉を，○印は支流を示している．

表—2 大涌川の温度・pH・Eh・比抵抗の測定値

測点番号	温度 ℃	水素イオン濃度 (pH)	酸化還元電位 mV	比抵抗 ×10³Ωcm
4	34.5	2.7	410	0.5
5	22	2.9	420	0.5
6	21.2	3.0	420	0.5
7	38.5	3.3	40	80.0
8	11.0	3.2	390	1.2
9	8	5.7	410	0.3
10	10	4.8	380	0.2
11	32.5	3.9	320	0.1
12	29.5	3.4	360	0.1
14	12	2.4	320	0.3
15	7.5	1.9	420	0.3
16	7.5	1.8	420	0.3
17	8.5	1.6	400	0.3
18	9.6	1.9	390	0.3
19	11.0	1.6	390	0.3
20	12.5	1.8	380	0.2
21	13.1	1.8	380	0.2
22	5.9	1.5	440	0.3
23	12	1.8	420	0.2
24	24	2.1	400	0.2
25	17.5	2.3	370	0.2
26	25	2.4	300	0.2
27	39	2.0	380	0.1
28	16.5	2.0	320	0.2
29	14.2	2.9	170	0.2
126	55	2.7	190	10.0
127	38.5	3.3	230	10.0
128	28	3.6	320	13.0
129	37	3.6	350	12.0
130	24	3.5	370	13.0
131	24	3.6	370	14.0
132	34	3.8	380	12.0
133	32	3.7	380	12.0
134	30	3.8	430	16.0
135	25	3.7	400	14.0
136	22	3.6	410	15.0
137	50	1.6	120	9.5
138	22	3.6	430	14.0
139	22	3.6	450	15.0
140	24	3.6	440	14.0
141	21	4.0	450	15.0
142	20	3.8	440	15.0
143	55	1.5	120	12.0
144	24	3.9	440	15.0
145	15	5.0	440	25.0
146	28.5	3.7	430	16.0
147	25	4.0	420	17.0
148	25	3.7	420	17.0
149	79	3.9	−310	9.0
150	60	1.5	80	10.0
151	33	3.6	420	13.0
152	29.5	3.9	420	16.0



図—5 大涌川流水の pH，Eh，温度，比抵抗の変化図

3.3 結果に対する考察

測点 No. 126 はこの地点より上方の熱水および伏流水の湧出点であるらしく，流出量も多く，これより下流の流水となっていた．この源泉の pH，Eh，温度，比抵抗の値は下流のところどころに湧出する温泉水に類似したが，下流の湧出温泉水に比して圧倒的に大量であるという点で違っている．下流の湧出温泉水は量的に極めて小さいので，本流の pH，Eh，温度，比抵抗のいづれにも大した変化を与えていなかった．

比 抵 抗

測点 No. 126 を境として上流では比抵抗に大きな差が認められた．これは，上流では流量が小さく，各測点は溜水的要素が強く，そのために溶存イオン濃度が高くなったことに起因するものと考えられる．測点 No. 7 は流路の泥水中に噴気がみられる場所で，非常に還元的であり，比抵抗も異常に高いが，温度，pH にはそれに対応する程の異常性はなかった．流れを下るにしたがって，特に上流では，比抵抗が僅かながら上昇する傾向が認められるが，これはきれいな水の混入または pH，Eh，温度などの条件の変化による溶存イオンの沈積除去がその原因として考えられる．

酸化還元電位（Eh）

粘土帯の項でものべたように，大涌谷地区の噴気には，H_2S, SO_2 などの還元性のガスを含んでおり，このような噴気の混入した地下水は非常に還元性に富む水となる．しかし，地表に出て大気に接すると，圧力の減少による溶存ガスの逸出，大気中の酸素による酸化などによって急速に還元性が低下する．このようなことを反影して，源泉の Eh の測定値はほとんどが 0～+200mV の範囲にあった（下流の温泉源の一つだけは −200mV を示し，強還元性の性質を示した）が，短距離のうちに +400mV 前後の酸化状態になった．この距離は湧出量に関し，流量の少ない上流では短く，流量の多い No. 126 以下では比較的長い距離を要したと解することができる．

水素イオン濃度（pH）

比較的長い時間岩石と接触しており，かつ，天水の影響を強く受けたと考えられる測点 No. 9, 10 の pH が 6 に近い値を示した他は，ほとんどの測点の pH は 4 以下で，上流では噴気地帯のごく近傍を流れるために 1～2 の強酸性を示し，No. 126 以下の下流では，源泉の 2.8から比較的短距離の間に 3.6 に上るが，それ以後はほとんど変化を示さなかった．No. 126 以下の pH 値の変動は，その変化曲線が Eh のそれと類似することから考えて，酸性の一因をなしている溶存 H_2S（溶液中では $H_2S \rightleftarrows H^+ + HS^-$ に一部解離している）が酸化されることに起因すると考えられる．この酸化によって生じた遊離の S は一部沈積することもあるだろうが，大部分はコロイド状 S となって流水中に存在し，運び去さられるものと思われる．コロイド状 S がさらに酸化されて硫酸イオンにまでなれば，ふたたび pH を減少させることになる．一定の pH を維持する流水の酸度はほとんど遊離の硫酸，塩酸（火山性の噴気には多量の HCl が存在する）の存在に帰して差し支えないと考える．

4. ま と め

i）箱根，大涌谷の変質帯および大涌川上流の流水の pH, Eh, 温度，水比抵抗を測定し，その結果について種々考察した．

ii）大涌谷の変質帯の地球化学的環境の進化は pH・Eh 条件により，2 つの径路があることを見出した．その一つの進化径路は pH 3 付近，Eh 100mV 付近から始まり pH 6 付近，Eh 500mV 付近に至るものであり，他の一つの径路は前の径路と同じ位置から出発し，pH 1 付近，Eh 500mV 付近に進むものである．

iii）上記の地球化学的環境は既存の地表地質図とは対比し得なかった．

iv）大涌川の pH, Eh, 水比抵抗，温度の流路における変化図を示した．その変化の程度は主として流量に関係することを認めた．

おわりに，本調査の上で温泉供給K．K．に種々の御便宜を計らっていただいた．また，地質調査所の高橋清技官および安藤直行技官に有益な御意見をいただいた．これらの方々に感謝の意を表します．