

第三系地すべり地帯における水質の特徴

—北海道常盤台地区の例—

粕 武* 横田 節哉**

Geochemical Characteristics of Surface and Underground waters of Landslide Areas in Tokiwadai, Bibai-shi, Hokkaido, Japan

By

Takeshi KOMA & Setuya YOKOTA

Abstract

The occurrence and flowing state of groundwater in the landslide areas in Tokiwadai, Bibai-shi, Hokkaido, were studied using the characteristics and classifications of surface and underground waters.

The numbers of sampled water were 44, and for these samples conventional chemical analysis had been conducted. The classifications of water have been tried by "key diagram," "absorption ratio of ions" and "triangular diagram."

By the above-stated classifications using water quality, the existence and characteristics of groundwater having the close connection with the primary (structural) landslide and those of groundwater having the connection with the secondary (talus) landslide have been clarified.

It is clarified that to analyse the characteristics of water quality by the above-stated classifications is useful for the pre-protection against the landslides.

要 旨

この論文で筆者らは地すべり地帯における地表水および地下水の性質に関する特長づけと、水質の地域的分布状況から、地下水のあり方や流動について考察を試みた。

野外研究の地域は、北海道美瑛市の常盤台地区である。地域内から採取した44コの水試料について一般的な化学分析を行ない、求めた組成からキー・ダイヤグラム、イオン吸着比、三角座標などで水質分類を行なった。

えられた水質分類による水質組成の特長の検討によって、一次的な(構造的)地すべりと関連の大きい地下水の存在と、二次的な(崩壊層)地すべりに関連をもつ水の存在とを明らかにした。

水質の特長を上記した分類法などによって解析することは、地すべり対策に一つの目安を与える。

1. ま え が き

常盤台地すべりは北海道美瑛市常盤台地区にあり、面

積は約80ヘクタールを占める。この地すべりは農林省所管の防止指定地区内にあり、岩見沢林務署がボーリングを行なうなどして調査し、対策工事を実施中である。筆者らはこれまでに美瑛・夕張地域の地すべり資料を収集していたので、この地区の水質調査をこころみた。

地すべりと水との関係を明らかにすることは一つの大きな課題であり、その一環として、水質の研究が地すべり地区の水理、風化機構などの解明とともに地すべりの防止対策に役立てば幸いである。

水試料の採取については、地すべり対策工事を依頼されているダイヤコンサルタント株式会社の担当者佐野博一、森英男両氏の協力をいただいた。調査および取りまとめについて協力をいただいた関係者に深甚の謝意を表す。

2. 調査地域の概要

この地区は古第三系に属する石狩層群の幾春別層で構成される。岩質は砂岩および泥岩を主とし、ときに石灰岩および礫岩などを挟在する。地質図幅によると地質構造のうえでは、奔別衝上部の北東部に当たり、東西から南北方向に転ずる峯延向斜を形成している地帯に属する。

* 技術部
** 北海道支所

第1表 美唄市常盤台地すべり
Chemical composition of waters in Tokiwadai

試料番号 (no.)	採取場所および区分			気温 (°C)	水温 (°C)	水量 (m ³ /day)	水比抵抗 Ω-cm	pH	RpH	HCO ₃ ⁻ (mg/l)
1	浴場側	湧水	水	16.0	10.2	4.3	15,000	7.1	7.6	49.6
2	浴場側	湧水	水	16.0	6.0	—	13,000	7.1	7.7	48.5
3	浴場側	湧水	水	16.0	6.0	16	13,000	7.2	7.6	53.0
4	浴場側	湧水	水	16.0	9.5	0.3	27,000	7.0	7.6	39.5
5	浴場側	No. 2 ボーリング	下表流水	16.5	13.0	0.3	13,000	7.1	7.6	42.9
6	浴場側	湧水	水	16.5	11.0	2.6	22,000	6.7	7.2	20.3
7	浴場側	湧水	水	16.5	12.2	—	26,000	6.2	7.1	20.3
8	浴場側	湧水	水	16.0	13.0	0.5	15,000	6.7	7.3	28.2
9	浴場側	湧水	水	16.0	13.8	19	16,000	6.6	6.9	15.8
10	美唄川沿	ボーリング	No. 7	—	—	—	—	7.4	7.4	74.6
11	美唄川沿	表流水	水	16.0	11.0	160	8,000	7.4	8.1	72.0
12	浴場側	湧水	水	17.0	7.6	3.2	21,000	6.7	7.4	28.2
13	浴場側	湧水	水	17.0	6.5	1.3	26,000	6.6	7.0	18.1
14	浴場側	ボーリング	42—No. 3	—	—	—	26,000	6.3	7.4	33.8
15	浴場側	表流水	水	18.8	11.0	52	21,000	6.6	7.1	24.8
16	浴場側	表流水	水	18.8	11.0	104	20,000	6.8	7.2	22.6
17	美唄川沿	表流水	水	—	—	—	—	6.8	7.1	19.2
18	美唄川沿	表流水	水	—	—	—	—	7.2	7.4	38.4
19	美唄川沿	ボーリング	No. 6	—	—	—	—	7.5	7.7	270
20	美唄川沿	ボーリング	旧No. 2	—	—	—	—	7.5	7.5	47.9
21	美唄川沿	湧水	水	16.0	10.7	0.3	13,000	7.2	7.4	40.6
22	模範林の沢	湧水	水	18.8	16.0	0.4	4,800	6.8	7.0	19.2
23	調査地中央	表流水	水	17.0	8.9	18	17,000	6.6	7.3	22.5
24	調査地中央	ボーリング	42—No. 2	17.0	8.5	—	2,000	7.8	8.5	282
25	美唄川沿	湧水	水	17.0	10.0	8.6	5,200	7.2	8.1	45.1
26	美唄川沿	ボーリング	旧No. 4	—	—	—	—	7.6	7.6	50.0
27	美唄川沿	No. 2 集水孔	水	—	—	—	—	7.0	7.6	56.4
28	美唄川沿	ボーリング	旧No. 7	—	—	—	—	7.3	7.5	231
29	美唄川沿	表流水	水	—	—	—	—	6.7	7.2	22.6
30	美唄川沿	表流水	水	—	—	—	—	6.9	7.0	19.5
31	美唄川沿	表流水	水	—	—	—	—	6.9	7.0	18.1
32	美唄川沿	湧水	水	—	—	—	—	7.6	8.4	398
33	美唄川沿	ボーリング	旧No. 6	—	—	—	—	7.9	7.9	151
34	調査地中央	ボーリング	No. 4	—	—	—	—	7.4	8.1	84.6
35	模範林の沢	表流水	水	16.0	11.0	39	31,000	6.7	6.9	21.4
36	模範林の沢	表流水	水	16.2	6.0	4.3	5,700	6.7	6.9	19.2
37	模範林の沢	表流水	水	15.0	8.0	104	4,500	6.8	7.0	16.9
38	模範林の沢 (枝沢)	表流水	水	15.3	9.0	35	5,400	7.4	7.6	37.2
39	模範林の沢	表流水	水	16.0	8.9	52	4,900	7.3	7.4	33.8
40	模範林の沢	湧水	水	—	—	—	—	6.9	7.4	25.9
41	模範林の沢 (坑道内)	湧水	水	16.5	8.6	10	3,600	6.9	7.4	32.7
42	模範林の沢	表流水	水	16.5	7.6	30	2,600	7.2	7.5	30.5
43	模範林の沢	表流水	水	—	—	—	—	6.8	7.3	33.8
44	模範林の沢	表流水	水	15.7	11.8	342	8,000	7.4	7.7	44.0

なお石狩層群は美唄断層と牧田断層とによって大きくブロック化され、相互の位置がずれている。美唄川はこのような地質構造の山地をえぐり、常盤台の北約5km付近から幾春別層の走向にそって南流し、美唄断層にそうあたりで断層谷を形成して西に向きを変えている。

常盤台地すべり地区は、美唄川の左岸に位置し、標高およそ150mから400mの斜面にある。頂部に近い山腹

には、高さ約20m、長さ約100mの滑落崖が発達している。滑落崖から川に面した舌端部までの間には、数段の起伏や緩傾斜地があり、いわゆる地すべり地形を形成している。この地区一帯は石狩炭田空知地区の南部にあたり、古くから石炭の採掘が行なわれている。常盤台・清水台などの炭住街は、谷底より60~100m高い処に発達している河岸段丘状の平坦地に位置する。

第三系地すべり地帯における水質の特徴 (狩 武・横田節哉)

地区の水質分析表

Landslide Area, Bibai-shi

(1967, 1968, 1969 分析者: 狩 武・横田節哉)

free CO ₂ (mg/l)	CO ₃ ²⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)	Fe ²⁺ (mg/l)	Total Fe (mg/l)	Mn ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)
3.5	—	7.0	7	5.5	0.00	0.00	0.00	10.7	3.3	5.4	1.0
3.5	—	8.4	2	7.9	0.00	0.00	0.00	11.4	3.3	6.3	0.7
3.5	—	7.7	5	7.0	0.00	0.00	0.00	12.1	3.2	5.0	0.5
3.5	—	7.3	2	10.0	0.00	0.00	0.02	9.5	3.4	6.0	1.2
3.5	—	7.3	5	6.0	0.00	0.00	0.08	9.9	3.0	4.9	0.8
3.5	—	7.7	0	8.3	0.00	0.00	0.01	2.4	2.7	6.6	0.7
3.5	—	7.7	1	8.0	0.00	0.00	0.02	2.0	3.3	6.3	0.7
1.7	—	16.2	6	13.7	0.00	0.00	0.00	8.6	3.2	7.2	0.5
1.7	—	14.8	10	14.3	0.00	0.07	0.00	7.1	1.4	6.5	0.5
—	—	18.9	7	—	—	—	—	20.0	4.5	13.6	1.4
—	5.5	7.7	9	5.5	0.00	0.00	0.00	10.5	3.9	20.4	0.9
3.5	—	8.0	1	7.8	0.00	0.00	0.01	5.0	2.4	6.1	0.7
7.0	—	8.4	5	7.0	0.00	0.10	0.00	3.5	2.0	4.7	0.6
3.5	—	7.5	4	13.5	0.00	0.09	0.20	9.7	2.2	6.5	1.2
1.7	—	14.1	6	11.5	0.00	0.04	0.00	6.4	1.6	6.0	1.0
1.7	—	14.8	6	11.5	0.00	0.07	0.00	6.1	1.1	5.8	0.5
—	—	7.2	6	—	—	—	—	5.7	1.6	4.6	9.5
—	—	8.4	7	—	—	—	—	9.1	2.5	8.3	0.7
—	—	9.7	10	—	—	—	—	34.7	12.3	55.3	1.6
—	—	9.7	59	—	—	—	—	15.0	3.5	8.3	1.5
3.5	—	7.2	10	7.5	0.00	0.10	0.05	6.3	4.4	9.6	0.8
3.5	—	9.1	88	6.4	0.00	0.00	0.14	25.2	8.3	1.0	1.0
3.5	—	8.4	4	8.5	0.00	0.00	0.02	5.7	3.9	6.0	1.2
3.5	—	9.6	101	8.0	0.00	0.00	0.00	14.6	8.1	130.0	2.0
3.5	—	9.8	8	7.8	0.00	0.00	0.03	6.1	3.4	16.0	0.8
—	—	9.7	12	—	—	—	—	11.6	2.8	13.9	1.3
—	—	16.2	14	12.8	0.00	0.10	0.00	14.7	1.3	14.8	0.7
—	—	10.4	22	—	—	—	—	42.4	11.3	44.0	2.4
—	—	17.6	39	13.5	0.00	0.00	0.00	17.2	2.6	10.8	0.7
—	—	8.9	10	—	—	—	—	6.3	2.2	4.8	0.8
—	—	9.2	10	—	—	—	—	9.1	2.1	5.8	0.7
5.1	—	19.7	4	13.0	0.00	0.00	0.00	56.2	4.1	106	2.1
—	—	18.9	7	—	—	—	—	29.5	4.0	31.5	7.1
7.0	—	10.1	2	13.5	0.00	0.00	0.07	8.1	2.2	16.0	1.6
3.5	—	7.9	1	6.3	0.00	0.00	0.00	1.5	2.1	3.9	0.6
3.5	—	73.1	1	6.0	0.00	0.07	0.00	7.7	3.5	35.3	1.2
3.5	—	92.5	3	4.0	0.00	0.00	0.00	12.0	4.0	41.3	1.0
—	38.8	65.2	14	7.0	0.00	0.00	0.00	15.8	6.2	37.8	1.0
—	27.7	79.9	26	5.2	0.00	0.00	0.00	23.4	9.5	36.7	1.6
3.5	—	8.7	150	7.8	0.00	0.00	0.00	42.6	13.3	21.4	1.8
3.5	—	19.8	213	4.5	0.00	0.07	0.00	58.0	17.2	30.0	1.4
3.5	—	32.8	260	3.8	0.00	0.00	0.00	74.2	21.3	35.7	1.4
1.7	—	16.9	315	13.3	0.00	0.00	0.00	104.9	2.0	35.3	1.9
3.5	—	8.4	76	4.0	0.00	0.00	0.00	22.1	8.1	20.4	1.0

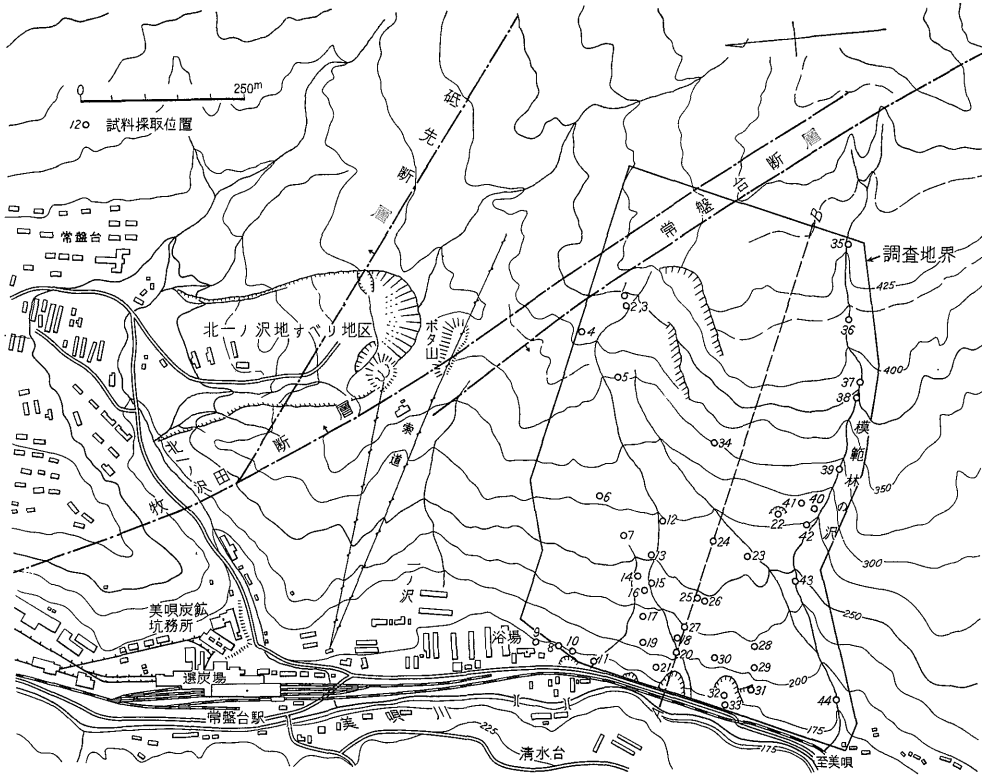
常盤台地区では、昭和36年4月に、一ノ沢付近で約6ヘクタールの地すべりが発生し、また昭和44年4月には、北一ノ沢地区で約10ヘクタールの地すべりが発生した。北一ノ沢地区で押し出した土砂は50~60万m³といわれている。これらの地すべりは公共施設・住宅・道路などに被害をおよぼしている。

常盤台地すべりの主部は風化岩盤中にすべり面をもつ

た構造的(一次的な地すべり)のものと考えられている。しかし北一ノ沢で発生したものは地すべり輪廻の過程で発生する崩積物の二次的な回転すべりと土砂流出の複合とみなされるものである。

3. 水質の調査地および採取試料

水質調査は常盤台地すべりの南の部分にある、南北約



第1図 常盤台地すべりの概要と試料採取位置
 Sampling locality of waters in Tokiwadai Landslide Area, Bibai-ahi, Hokkaido

500m, 東西約750mの範囲について行なった。分析に供した水試料は総計44コであり, このうちの11コは昭和42年6月に, また19コは昭和44年6月にダイヤコンサルタント株式会社が採取し, 残りの14コは昭和44年7月に筆者らが採取した。水質分析はいずれも筆者らが実施した。

試料の採取箇所は第1図, 分析結果は第1表に示した。第2図はA—B断面の地質概念図上に試料採取位置およびT・I関係を示したものである。

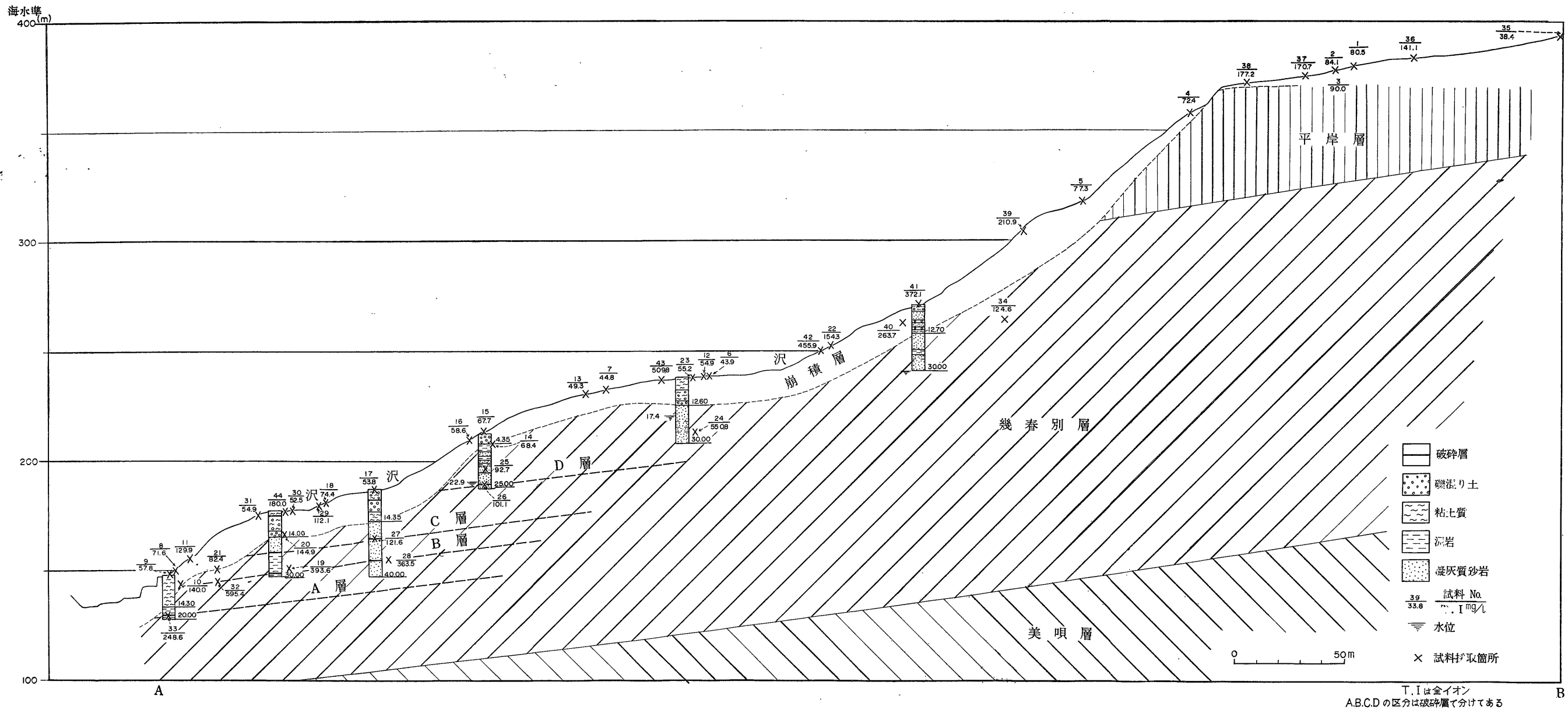
4. 水質の特徴

4.1 水質の概要

採取した水試料の水比抵抗値は 2,000~31,000 Ω-cm であって水質の変化がいちじるしい。水比抵抗値の高い部分は浴場側で 13,000 Ω-cm 以上を示している。これに反して模範林の沢側では一般に 8,000 Ω-cm 以下の低い値を示した。pH は 6.2~7.9の範囲であり, 浴場側の部分, 模範林の沢の上流および調査地中央部の表流水で一般に低い傾向にある。

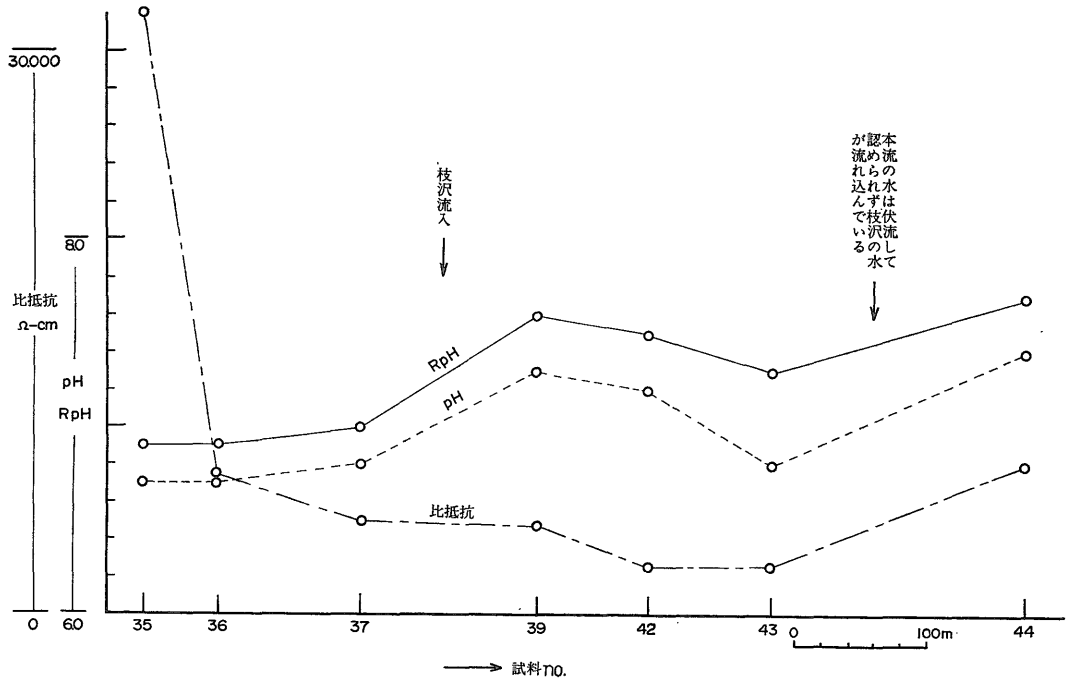
Cl⁻ は一般に少なく 10 mg/l 以下である。60~90 mg/l と異常に高いものは地下水追跡調査当時注1)の投入食塩が残存し, その影響を受けていると思われる。模範林の沢における水比抵抗・pH・RpH を第3図に, Cl⁻・HCO₃⁻・SO₄²⁻・SiO₂ を第4図に, また Ca²⁺・Mg²⁺・Na⁺ および K⁺ の関係と変化を第5図に示した。これらの図から明らかなように枝沢から合流してくる流水の影響を考慮して水質の変化を概観すると, 水比抵抗は下流方向に小さくなる傾向を示す。pH・RpH は no.35 から徐々に高くなり no.39 で頂点に達し, その下流で低くなる。HCO₃⁻・SO₄²⁻・Ca²⁺・Mg²⁺・K⁺ は下流に向かって増加する。とくに SO₄²⁻・Ca²⁺ は no. 39 で急激な増加を示し, Mg²⁺ は no.43 で急激な減少を示す。SiO₂ は no. 43 をのぞき徐々に減少している。Cl⁻・Na⁺ はともに no. 36 で急激に増加し, no. 39 付近から減少する。とくに Cl⁻ は no. 39 から下流に向かって急激な減少を示しており, no.36

注1) 地下水の追跡調査は試料採取のほぼ1カ月前に no. 35 地点で食塩 270kg を6 t の水に溶解したものを投入して実施されている。

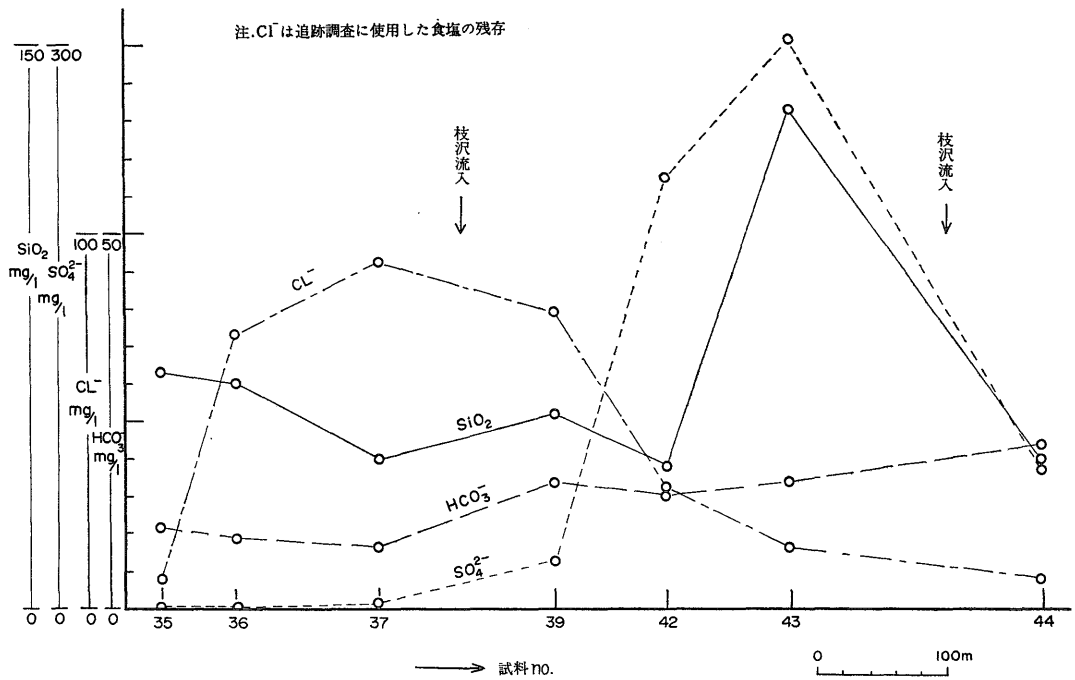


第2図 A—B断面概念図と試料採取位置の関係
Relation between geologic profile and sampling locality

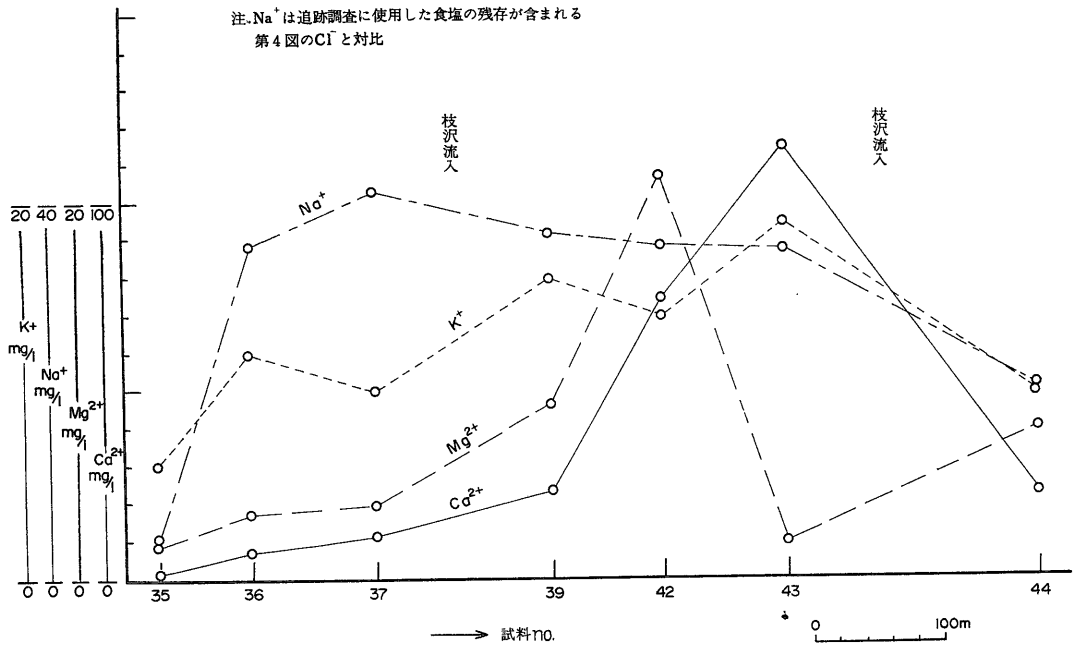
第三系地すべり地帯における水質の特徴 (狩 武・横田節哉)



第3図 模範林の沢における pH, RpH, 比抵抗の変化
Variations of pH, RpH and specific resistivity of waters in Mohanrin-no-sawa (valley)



第4図 模範林の沢における Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, SiO₂ の変化
Variations of Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻ and SiO₂ of waters in Mohanrin-no-sawa (valley)



第5図 模範林の沢における Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ の変化
Variations of Na⁺, K⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ of waters in Mohanrin-no-sawa (valley)

から no. 39 の水試料は前に述べた投入食塩の影響を多く受けていると考えられる。

HCO₃⁻ は 16~398mg/l と大きな変化を示し、とくに HCO₃⁻ の多いのはボーリング孔内の地下水である。SO₄²⁻ は 0~315mg/l で変化が大きく、とくに模範林の沢中央部で多くなっていることが注目される。

そのほか Ca²⁺ = 1.5~105 mg/l, Mg²⁺ = 1.1~21.3 mg/l, Na⁺ = 1.0~130 mg/l, K⁺ = 0.5~9.5 mg/l である。

Fe および Mn は少ないが検出された試料がある。

4.2 水質の分類

地すべりの発生には、間隙水圧あるいは中立応力など水の方が強く作用するものであり、水質のみから地すべりにおよぼす水の役割を見出すことは困難である。しかし、水質の特徴から地すべり地区における水と風化との関連性あるいは地すべりを促進する水のあり方などがある程度考察されるものである。このため次のような分類をこころみ、地すべりと水質との関係を検討した。

4.2.1 イオン吸着比による水質

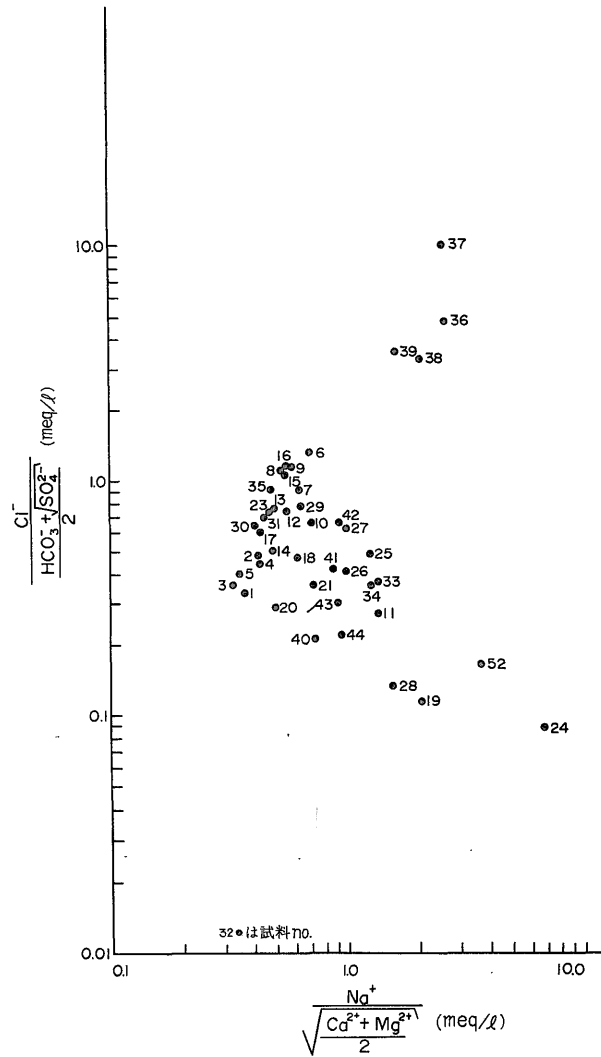
Na⁺ および Cl⁻ のイオン吸着比は $\frac{Na^+}{\sqrt{Ca^{2+} + Mg^{2+}}}$ (meq/l) および $\frac{Cl^-}{\frac{HCO_3^- + \sqrt{SO_4^{2-}}}{2}}$ (meq/l) で算出され

る。Na⁺ 吸着比は灌漑用水の水質規準として米国で用いられている。この値は、同一地域の河川や湖沼水について、四季のような短い期間の変化には反映されず、長い気候の変化に伴って変わるものといわれている。また Cl⁻ 吸着比は今回初めてのこころみとして使用した。Cl⁻ は温泉水、鉱泉水、化石海水、海水などからの供給が主なものと考えられており、堆積岩の風化によって供給されることは少ないと考えられている。HCO₃⁻ および SO₄²⁻ は鉱泉水、化石海水、海水などからの供給がなくても堆積岩中の有機物・硫化物などの分解によって増加する。これらのことから、Cl⁻ を含む水が外から付加されなければ、Cl⁻ 吸着比は水と堆積岩との接触時間が長いほど HCO₃⁻・SO₄²⁻ などの増加のため小さくなる。

調査地区の Na⁺・Cl⁻ 吸着比の算出結果は第6図に示した。この図は表流水・湧水・浅いボーリング孔内の地下水・比較的深いボーリング孔内の地下水など、さまざまな条件のもとにある水について示されているにもかかわらず Na⁺ 吸着比の増加するとともに Cl⁻ 吸着比は減少する傾向を示している。なお Na⁺ 吸着比の増加とともに溶存成分量は増加の傾向を示し注目される。

4.2.2 キー・ダイアグラムによる水質

キー・ダイアグラムは水の主成分を HCO₃⁻ + CO₃²⁻, Cl⁻ + SO₄²⁻, Ca²⁺ + Mg²⁺ および Na⁺ + K⁺ の成分系



第6図 イオン吸着比
Absorption ratios of ions of waters

とみなし、それぞれのミリグラム当量 (meq/l) を百分率に換算して菱形の図上にプロットしたものである。このダイアグラムは溶存成分量の多少とは関係なく、水質分析の結果から組成の比率をわかりやすく示したものであり、一般に地域的な水理や水質の特徴を検討するのに利用されている。

このダイアグラムは次のように区分されている。

I. 炭酸塩硬度型 (Carbonate hardness type)

陸水の一般的な特徴である重炭酸石灰 $[Ca(HCO_3)_2]$ 、苦土 $[Mg(HCO_3)_2]$ を主成分とする水で表流水、浅層地下水などは主としてこの型に属する。鉱泉水としては土

類炭酸泉などがある。

II. 炭酸塩アルカリ型 (Carbonate alkali type)

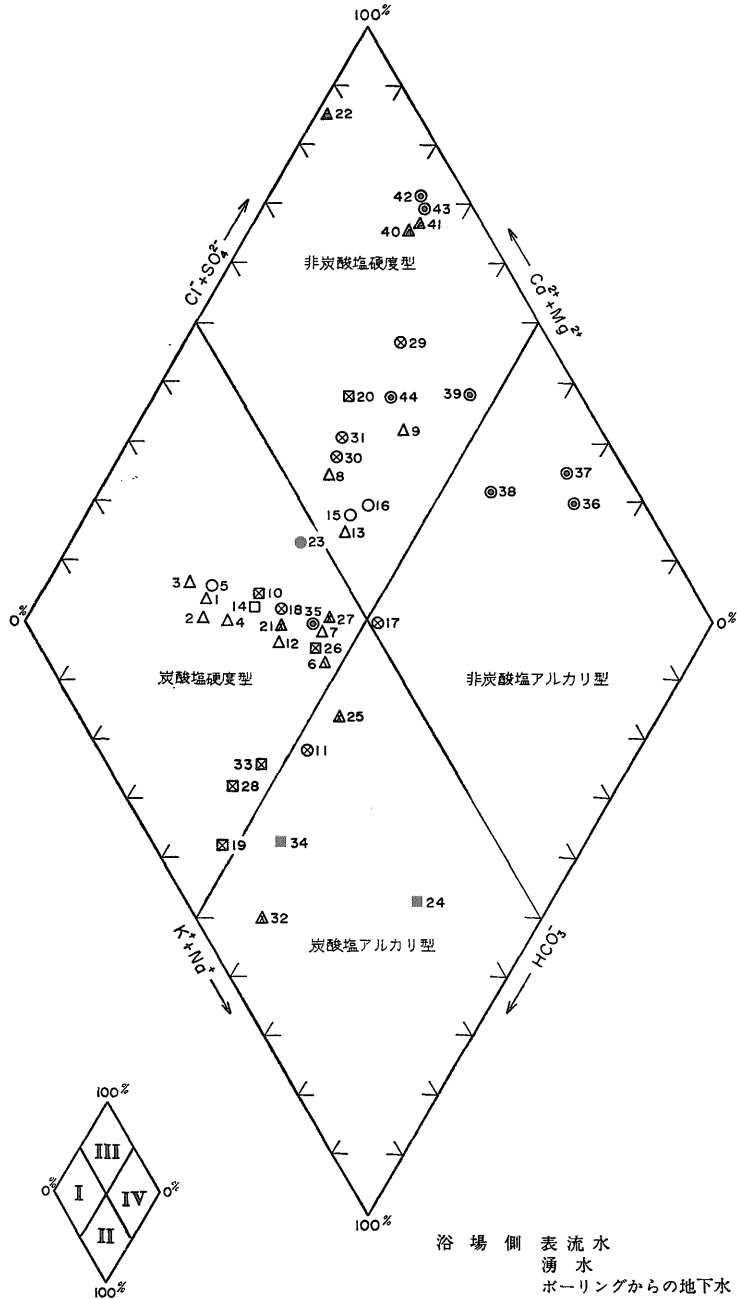
重炭酸アルカリ $[NaHCO_3, KHCO_3]$ を主成分とする水で、流動性の弱い被圧地下水、アルカリ泉などにはこの型に属するものが多い。

III. 非炭酸塩硬度型 (Non Carbonate hardness type)

塩化土類 $[CaCl_2, MgCl_2]$ あるいは硫酸土類 $[CaSO_4, MgSO_4]$ を主成分とする水で、鉱泉水・温泉水などにこの型がみられる。

IV. 非炭酸塩アルカリ型 (Non Carbonate alkali type)

塩化アルカリ $[NaCl, KCl]$ または硫酸アルカリ $[Na_2$



- I : Carbonate hardness type
- II : Carbonate alkali type
- III : Noncarbonate hardness type
- IV : Noncarbonate alkali type

- | | | |
|-------|-------------|---|
| 浴場側 | 表流水 | ○ |
| | 湧水 | △ |
| | ボーリングからの地下水 | □ |
| 調査地中央 | 表流水 | ● |
| | 湧水 | ▲ |
| | ボーリングからの地下水 | ■ |
| 模範林の沢 | 表流水 | ◎ |
| | 湧水 | ▲ |
| | ボーリングからの地下水 | □ |
| 美唄川沿 | 表流水 | ⊗ |
| | 湧水 | ▲ |
| | ボーリングからの地下水 | ⊠ |

第7図 キー・ダイアグラム
Key diagram for waters

第2表 美唄市常盤台地すべり地区の水質の特徴
 Characteristics of chemical composition of waters in Tokiwadai Landslide Area

キー・ダイアグラムによる区分		重炭酸と硬度による区分		三角ダイアグラムによる区分		地すべりとの関係
型	no.	系	no.	系	no.	
Ⅱ 炭酸塩アルカリ型	11, 24, 25, 32, 34	当量線上側 重炭酸アルカリ系	11, 24, 25, 32, 34 19, 28, 33	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{HCO}_3^-$	11, 24, 25, 32, 34	深部地下水 一次地すべりに関係が大きい ↑
				$\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \begin{cases} \text{HCO}_3^- \\ \text{SO}_4^{2-} \\ \text{Cl}^- \end{cases}$		
Ⅳ 非炭酸塩アルカリ型	17		17		17	
Ⅰ 炭酸塩硬度型	19, 28, 33 10, 14, 18, 21, 26, 27 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 12, 35 23	当量線上 重炭酸硬度系	10 14, 18, 21, 26, 27 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 12, 35 13, 15, 16	$\begin{cases} \text{Ca}^{2+} \\ \text{Mg}^{2+} \\ \text{Na}^+ + \text{K}^+ \end{cases} - \text{HCO}_3^-$	19, 28, 33 10 14, 18, 21, 26, 27 1, 2, 4, 6, 7 12, 35, 23	
				$\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$	3, 5	
				$\begin{cases} \text{Ca}^{2+} \\ \text{Mg}^{2+} \\ \text{Na}^+ + \text{K}^+ \end{cases} - \begin{cases} \text{HCO}_3^- \\ \text{SO}_4^{2-} \\ \text{Cl}^- \end{cases}$	13, 15, 16 8, 9, 30	
				$\text{Ca}^{2+} - \begin{cases} \text{HCO}_3^- \\ \text{SO}_4^{2-} \\ \text{Cl}^- \end{cases}$	29, 31	
Ⅲ 非炭酸塩硬度型	13, 15, 16 8, 9, 30 29, 31 44 20, 22, 40, 41 42, 43	当量線下側 硫酸硬度系	23 8, 9, 30 29, 31 44 20, 22, 40, 41 42, 43	$\begin{cases} \text{Ca}^{2+} \\ \text{Mg}^{2+} \\ \text{Na}^+ + \text{K}^+ \end{cases} - \text{SO}_4^{2-}$	44	
				$\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-}$	20, 22, 40, 41 42, 43	

注 no. 36. 37. 38. 39は除外

SO_4 , K_2SO_4 を主成分とする水で、塩化ナトリウム $[\text{NaCl}]$ を主成分とする水は海水の混入あるいは食塩泉などで知られている。硫酸ナトリウム $[\text{Na}_2\text{SO}_4]$ を主成分とする水は芒硝泉などである。

調査地区のキー・ダイアグラムによる水質組成を第7図に示した。また区分と試料の関係を第2表に示した。

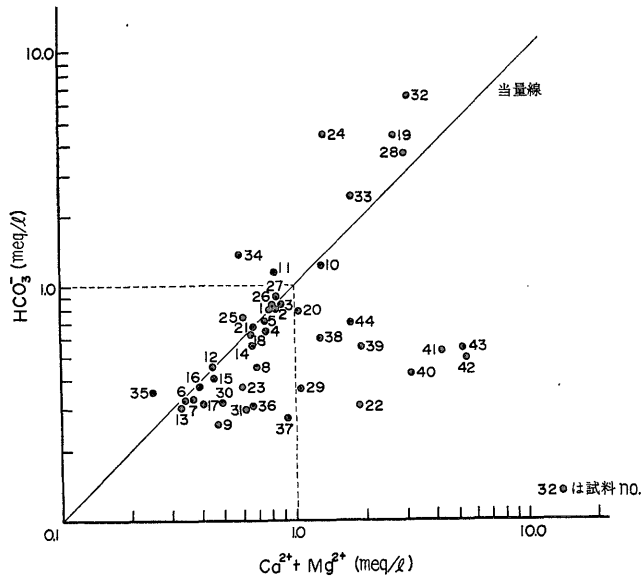
常盤台地区では、模範林の沢の頭部で採取した表流水 (no. 35)、浴場側の東部における表流水および湧水の一部 (no. 1~7)、美唄川沿いに掘られた5本のボーリング孔からの地下水 (no. 10, 19, 26, 28, 33) およびこれらボーリング孔付近の表流水、湧水など (no. 12, 14, 18, 21, 23, 27) は、炭酸塩硬度型に属している。これらの水のうち、美唄川沿いに掘られたボーリング孔からの地下水は割合に溶存成分量が多い。また no. 19, 28 および 33 は、炭酸塩アルカリ型にかたよっている。

調査地区の中央部で採取したボーリング孔からの地下水 (no. 24, 34)、美唄川沿いの表流水および湧水 (no. 11, 25, 32) は、炭酸塩アルカリ型に属している。これらの水の溶存成分量が多い方である。

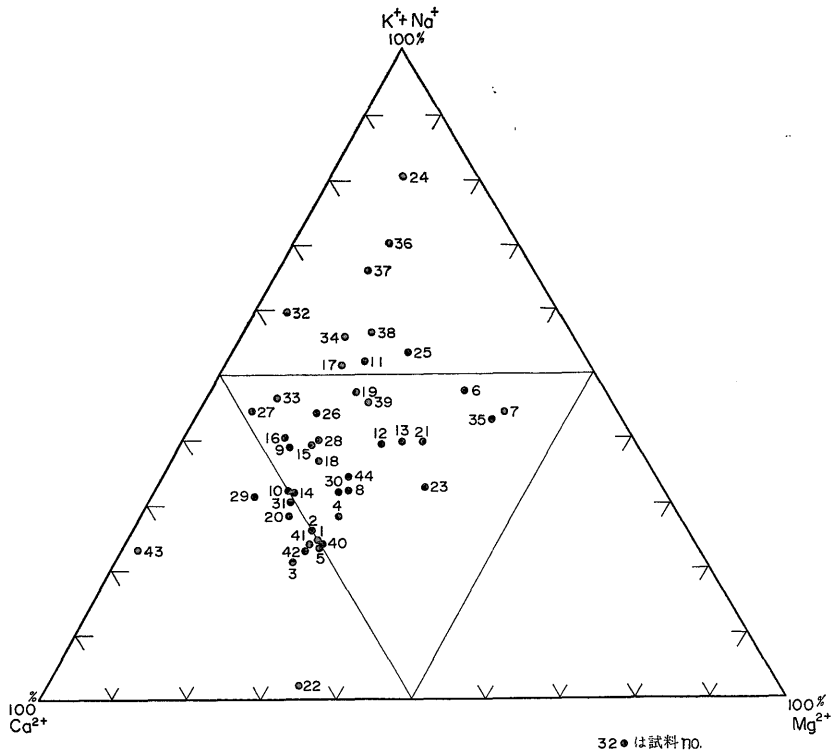
模範林の沢の中下流部・浴場側および美唄川沿いの表流水 (no. 15, 16, 29, 30, 31, 39, 42, 43, 44) ・湧水 (no. 8, 9, 13, 22, 40, 41) ・浅いボーリング孔内の地下水 (no. 20) は、非炭酸塩硬度型に属している。この型に属するものは採取試料の約40%である。

模範林の沢の上流部および美唄川沿いの表流水 (no. 36, 37, 38, 17) は、非炭酸アルカリ型に属し、含有成分量が多い方である。これらの水のうち、no. 17 は炭酸塩硬度型に近い水であり、no. 36, 37, 38 および no. 39 は追跡調査に使用した食塩の影響を受けている。

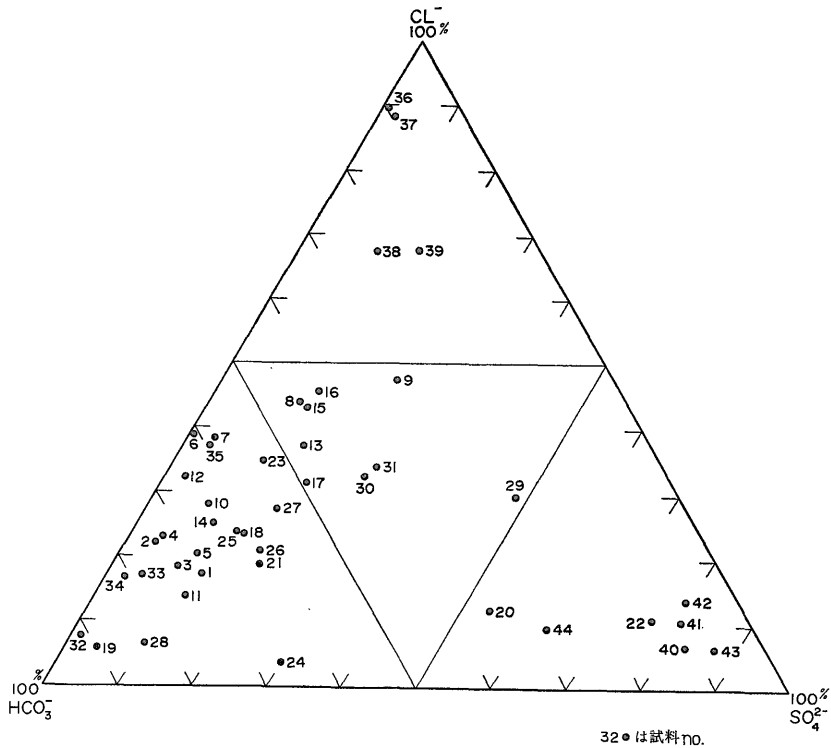
4.2.3 重炭酸と硬度による水質



第 8 図 重碳酸と硬度
Relation between HCO_3^- and hardness of waters



第 9 図 陽イオン三角ダイヤグラム
Triangular diagram of cations in waters



第10図 陰イオン三角ダイアグラム
Triangular diagram of anions in waters

この分類は、地表水の一般的主成分である重炭酸 (HCO_3^-) と硬度 ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) との関係を図8にプロットし、ほぼ当量線上にプロットされるものを重炭酸硬度系、当量線の上側にプロットされるものを重炭酸アルカリ系、当量線の下側にプロットされるものを硫酸硬度系に区分した。

なお、 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ および HCO_3^- の量がそれぞれ 1.0 meq/l 未満のものをA、 1.0 meq/l 以上のものをBとし、成分量によって細分した。

重炭酸硬度系はほとんどAに属し、成分量が少ない。一方、重炭酸アルカリ系はほとんどBに属し成分量が多い。硫酸硬度系はA・Bの両方に属している。

4.2.4 三角ダイアグラムによる水質

このダイアグラムは水の主成分である Ca^{2+} ・ Mg^{2+} ・ $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ・ HCO_3^- ・ SO_4^{2-} および Cl^- を、陽イオンと陰イオンに分け、それぞれの百分率 (meq/l) を求めて、三角座標にプロットしたものである。

調査地区の三角ダイアグラムを第9図および第10図に示した。

陽イオンの分布を見ると、 Mg^{2+} が50%以上のものはなく、また Ca^{2+} および $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ が50%以上のものは

少ない。試料の大部分は Mg^{2+} 、 Ca^{2+} および $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ を主とした三成分の組合せからなっている。

陰イオンの分布を見ると、 Cl^- が50%以上を占めるものではなく注2)、 HCO_3^- が50%以上を占めるものは全体のほぼ60%を占め、 SO_4^{2-} が50%以上のものを含めると全体の70%以上に達する。 HCO_3^- ・ SO_4^{2-} および Cl^- の3成分を主とした組合せはわずか9コに過ぎない。

5. 水質の考察

一般に水に溶解する主成分は山本 (1953) によると Ca^{2+} ・ Mg^{2+} ・ Na^+ ・ K^+ ・ Cl^- ・ SO_4^{2-} ・ CO_3^{2-} および HCO_3^- であると考えられている。また永井 (1968) によると、陰イオンは、空気中の炭酸ガスならびに岩石中の炭酸塩および有機物の分解によって生成した炭酸ガスの溶解によって生じる HCO_3^- がもっとも多量を占める。陽イオンの溶出ではCa-長石がNa-長石よりも溶解度の大きいことが注目されている。

調査地区の地表水、地下水の主成分は一般の水と同じ

注2) 第10図の測点36, 37, 38, 39の4点は、4.1項で述べたように、観測用に投入した NaCl に由来するものなので、除外する必要がある。

ような傾向にある。

陽イオンについて見ると、調査地区のほぼ中央部でボーリング孔から採取した地下水 (no. 24, 34), 美唄川沿いの湧水 (no. 25, 32) および追跡調査の指示薬が混入していると思われる試料 (no. 36, 37, 38) 以外は $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ が $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$ より多い結果を示した。

陰イオンでは一般的な水質の傾向、すなわち、 $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^{-}$ より HCO_3^{-} が多い結果を示す試料は地層と接触時間の少ない地表水および美唄川沿いのボーリング孔から採取した地下水であった。採取した水試料の大部分は $\text{Cl}^{-} + \text{SO}_4^{2-}$ とくに SO_4^{2-} が多い。硫酸塩の多い現象は安藤 (1963), 有泉 (1965) によって指摘されているように、第三紀層地すべり地区で特徴的なものである。 SO_4^{2-} は有機物に起源を持つ場合もあるが主として泥質岩中の硫化鉄に起因するものとみなされている。

5.2 イオン吸着比

この地域では、第三紀層から鉱泉水あるいは炭酸坑内水にしばしば Cl^{-} の多い湧水がみられる。これらの湧水は Cl^{-} 吸着比が大きい。しかし調査地区では、模範林の沢頭部 (no. 35), 浴場側 (表流水 no. 15, 16 および湧水 no. 8, 9, 13), 美唄川沿い (表流水 no. 17, 29, 30, 31 およびボーリング孔付近の表流水 no. 11, 12, 14, 18, 21, 23, 25, 27, 32), 模範林の沢の中下部 (表流水 no. 42, 43, 44 および湧水 no. 22, 40, 41), 美唄川沿いの5本のボーリング孔の順に Cl^{-} 吸着比の減少と Na^{+} 吸着比の増加をもたらしている。

調査地区の水は、 Na^{+} 吸着比の増加および Cl^{-} 吸着比の減少からみて、鉱泉水、化石海水などが付加されたものではなく、単に滲透した天水が地層との接触によって化学組成の変化と溶存成分量の増加とをもたらしたと考えるのが妥当であろう。

5.3 キー・ダイアグラム

流動にともなう水質の変化をキー・ダイアグラムで考察してみると、多くの地点でえられた $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ を主成分とする炭酸塩硬度型から CaSO_4 を主成分とした非炭酸塩硬度型へと変化していることが理解される。なお型の変化にともなって溶存成分量が多くなることも注目される。

美唄川沿いのボーリング孔から採取した地下水およびその付近の湧水は、いずれも炭酸塩硬度型に属しているが、このなかには溶存成分量の多いものがある。溶存成分量の多い炭酸塩硬度型の地下水は試料採取箇所が基盤または基盤に近い所 (ガケ付近) であることから、かなり深部を流動した水であると考えられる。

調査地の中央にある炭酸塩アルカリ型の水は、ボー

リング孔から採取した地下水であり、溶存成分量が非炭酸塩硬度型に比較していちじるしく多くない。炭酸塩硬度型の地下水が地化学的環境によって炭酸アルカリ型に変わったものと考えられる。

5.4 重炭酸と硬度

重炭酸と硬度との関係からみると、重炭酸硬度系から硫酸硬度系に変わるものと、重炭酸アルカリ系に変わるものとに分けられる。前者は表流水または湧水であり、溶存酸素が割合に多い状態で堆積岩や土壌と接していた水と考えられる。後者は、ボーリング孔から採取した水または湧水であり、とくに HCO_3^{-} が多いことは還元環境で地球化学的变化に対応した結果を示しているものと考えられる。

5.5 三角ダイアグラム

陽イオンおよび陰イオンの三角ダイアグラムから、イオン構成によって組合せを作ると、 $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^{-}$ 系、 $\text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+} \cdot \text{Na}^{+} + \text{K}^{+} - \text{HCO}_3^{-}$ 系、 $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+} - \text{HCO}_3^{-}$ 系、 $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+} - \text{HCO}_3^{-} \cdot \text{SO}_4^{2-} \cdot \text{Cl}^{-}$ 系、 $\text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+} \cdot \text{Na}^{+} + \text{K}^{+} - \text{HCO}_3^{-} \cdot \text{SO}_4^{2-} \cdot \text{Cl}^{-}$ 系、 $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^{-} \cdot \text{SO}_4^{2-} \cdot \text{Cl}^{-}$ 系、 $\text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+} \cdot \text{Na}^{+} + \text{K}^{+} - \text{SO}_4^{2-}$ 系、 $\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-}$ 系の8つの組合せができる。

$\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^{-}$ 系と $\text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+} \cdot \text{Na}^{+} + \text{K}^{+} - \text{HCO}_3^{-}$ 系はキー・ダイアグラムによると炭酸硬度型に、 $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+} - \text{HCO}_3^{-} \cdot \text{SO}_4^{2-} \cdot \text{Cl}^{-}$ 系は非炭酸アルカリ型に、 $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+} - \text{HCO}_3^{-}$ 系は炭酸塩アルカリ型に属している。 $\text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+} \cdot \text{Na}^{+} + \text{K}^{+} - \text{HCO}_3^{-} \cdot \text{SO}_4^{2-} \cdot \text{Cl}^{-}$ 系、 $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^{-} \cdot \text{SO}_4^{2-} \cdot \text{Cl}^{-}$ 系、 $\text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+} \cdot \text{Na}^{+} + \text{K}^{+} - \text{SO}_4^{2-}$ 系および $\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-}$ 系の4つは非炭酸塩硬度型に属している。

三角ダイアグラムによって地下水の流動による系の変化を区分してみると、 $\text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+} \cdot \text{Na}^{+} + \text{K}^{+} - \text{HCO}_3^{-}$ から $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+} - \text{HCO}_3^{-} \cdot \text{SO}_4^{2-} \cdot \text{Cl}^{-}$ 系をへて $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+} - \text{HCO}_3^{-}$ 系に変わる系列と、 $\text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+} \cdot \text{Na}^{+} + \text{K}^{+} - \text{HCO}_3^{-}$ 系から $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^{-} \cdot \text{SO}_4^{2-} \cdot \text{Cl}^{-}$ 系、 $\text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+} \cdot \text{Na}^{+} + \text{K}^{+} - \text{SO}_4^{2-}$ をへて $\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-}$ 系に変わる系列の2つがあるとみなされる。

6. まとめ

調査地区における水はイオン吸着比の結果からみて、 Cl^{-} を多く含んだ鉱泉水、化石海水などは付加されていないものとみなされる。

美唄川沿い地区の地下水は、キー・ダイアグラムによると、溶存成分量が多い炭酸塩硬度型に属している。なお、重炭酸と硬度との関係によると重炭酸アルカリ系に、三角ダイアグラムによると $\text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+} \cdot \text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$

系に属している。一方、模範林の沢地区の表流水および地下水は、キー・ダイヤグラムによると炭酸塩硬度型から非炭酸塩硬度型に変わり、溶存分量も型の変化とともに増加する傾向にある。また、重炭酸と硬度との関係によると硫酸塩硬度系に属し、三角ダイヤグラムによると主に $\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}$ 系に属している。

水質の特徴からみると、大きく分けて2つの異なった性質を示す水の存在が明らかにされた。

水質の特徴は、地すべり地区の地質的要素と、水の滲透・流動過程における時間的要素に支配され、さらに地質的要素と時間的要素との結びつきによって起こる酸化還元作用の強弱を反映している。溶存分量の変化と組合せによる水質からは、地下水のあり方や流動が考察され、また一方では風化の進行が推察される。

この結果、常盤台地すべりでは、深部に存在・流動する地下水と、地表近くに存在する地下水とはいちじるしく性質を異にしていることが明らかにされた。なお前者は一次的な(構造的)地すべりを促進し、後者は二次的な(崩壊層)地すべりを促す役割をもっているといえる。

文 献

安藤 武 (1963) : 地汙りにおける泥岩の風化機

構, 応用地質学会誌, vol. 4, no. 1, p. 3~23

有泉 昌 (1965) : 地すべり地帯陸水の水質について, 土木研究所報告, no. 123

堀本健次・他2名 (1969) : 美唄北一の沢地区の地すべり, 地質ニュース, no. 184, p. 34~38

松林正義・望月巧一 (1970) : 茶臼山地すべり地上部の地下水について, II, 地すべり, no. 3, p. 1~10

松野久也・他3名 (1964) : 5万分の1地質図幅岩見沢(札幌一第14号)および同説明書, 北海道開発庁

永井 茂 (1968) : 水質による地下水系の解明, 工業用水, no. 144, p. 773~781

仲野昭治郎・丸山利正 (1968) : 常盤台地すべり第1報一治山工法の研究一, 岩見沢林務署, p. 1~25

山本莊毅 (1953) : 地下水調査法, p. 206~208, 古今書院