

十勝岳火山泥流(1926)による酸性硫酸塩土壌の問題と対策

誌名	農業および園芸 = Agriculture and horticulture
ISSN	03695247
著者名	水野,直治 丸岡,孔一 後藤,英次 稲津,脩
発行元	養賢堂
巻/号	91巻3号
掲載ページ	p. 325-336
発行年月	2016年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



十勝岳火山泥流（1926）による酸性硫酸塩土壌の問題と対策

水野直治*・丸岡孔一**・後藤英次***・稲津 脩***

〔キーワード〕: 秋落ち水田, イオウ, 火山性泥流,
酸性硫酸塩土壌, 硫化水素

1. はじめに

近年は地震, 津波, 火山噴火ならびに巨大台風と次々に大きな災害が続発している. そのような時代を歴史学者は前の災害と今後の災害との間, すなわち「災間」と呼んでいる. ここに報告する火山性泥流も必ず起き, これまで経験したこともない規模で発生することを地質に残された記録から想定される. したがって過去の災害の実態を知ることはその対策を学ぶことであり, 自然を科学することでもある.

火山とイオウは不可分の関係にあり, 火山噴火でもたらされるイオウの量は膨大である. 還元状態でイオウは硫化水素になり, ヒトは 400ppm のこのガスの中では 30~60 分で生命に危機が生じ, 700ppm では即死する. 近年, 秋田県の温泉地で死亡事故が相次いでいるのはこのガスによる (水野・水野 2007). 農地に入ったイオウは土壌の還元によって硫化水素となり, 盛夏にはイネの根を腐らせ, 落水後に急激に生育が衰えて減収するのが秋落ち水田である (大杉・河口 1938, 塩入・原田 1943).

日本の食糧問題に関わる秋落ちの防止対策は, 戦中・戦後の水田研究や改良事業として大規模に進められた (山根 1981). 対策の基本は硫酸根の入った肥料を使用しないこと, 含鉄剤を施用することであり, 含鉄資材にはボーキサイト滓, 褐鉄鉱などの鉄材の投入 (高井・三好 1977) が実施された. これらの事業が効果をあげ, 1970 年代には秋落ち水田が話題にあがることは無くなった. そのためいつの間にかこのような問題のあったことも忘れられた時代に入っている. しかし, ここで取り上げる火山性泥流や酸性硫酸塩土壌による農地へのイオウの負荷は, 硫安などの肥料の使用で秋落ち水田になった場合と異なり, そのイオウの量は桁違いに大きく,

対策も従来と異なってくる. この問題は十勝岳泥流だけでなく, 著者の一人の水野が国際プロジェクトで参加したフィリピン・ピナツボ山噴火による泥流でも同じ問題があった. 以下これら火山泥流の実態を報告する.

2. 実験・調査法

1) 調査法

調査は富良野盆地の上富良野町草分地区から中富良野町北 6 号に至る泥流堆積地帯と, この地帯より高台にあり, 泥流の堆積はないが酸性水流入による地帯である日の出地区, 上富良野町市街地域から中富良野町側の西中地区を踏査した. 試穴の掘削は人力によって泥流の下の旧作土層まで行った.

2) 分析法

全元素の分解抽出: 元素分析は風乾土壌を磁性乳鉢で粉碎後, 0.5g を 100ml 容量のケルダール分解ビンに入れ, 20ml の王水を加え一夜放置した. その後さらに 5ml の過塩素酸を加え, ヒーター上で過塩素酸の白煙が発生するまで静かに加熱した. 冷却後これに再蒸留水を加えてろ過し, 1L 当たり 5ml の塩酸を加えた再蒸留水で数回にわたりろ紙を洗い, 洗液とあわせて 100ml に定容した.

金属元素の定量: 原子吸光度計で測定した.

イオウの定量: イオウ (S) はグリセリン-アルコールと塩加バリウムを用いる比濁法 (環境庁 1983) によった. 本方法は従来のバリウム-ゼラチン法と異なり, 過塩素酸が混入してもゼラチンの白濁が生じない利点がある.

遊離酸化鉄: 浅見・熊田法によるヒドロサルファイト-EDTA 抽出法によった (土壌養分測定法委員会編 1970).

3. 十勝岳火山性泥流地帯

1) 被害の概要

北海道の主要な火山群は, 北から大雪火山群, トムラウシ火山群, それに十勝火山群 (十勝連峰) が

* 元酪農学園大学獣医学研究科 (Naoharu Mizuno)

** 富良野地区農業改良普及所 (Kouichi Maruoka)

*** 北海道立上川農業試験場土壌肥料科 (Eiji Goto, Osamu Inatsu)

続く。山岳名は当初の名前から改変され、古い文献との照合上旧名と改変後の名前を示すため図1に略図に示す(清水 2004)。十勝火山群はいくつかの火山からなり、この中で十勝岳は標高 2077m の最高峰で十勝火山群の盟主である。この地域は約三百万年前から火山活動が続いていると云われる(勝井ほか 2007)。

国内における二十世紀最大の火山災害となった1926年から遡ること18年前の1918年に調査に入った小泉秀雄によれば、「火孔の中段にある一帯の平地はあたかもハチの巣の如く大小数十の噴気孔があり…」(猪狩 1940)とあり、過去にも多くの噴火の存在があったことがうかがわれる。

1926年の十勝岳爆発時に硫黄山といわれていた噴火口近くでは、硫黄鉱山が操業中であった。噴火の三年ほど前から温度も上がり、イオウの生産も増大し、1924年には約2,000t、1926年の生産高は3,000tを予想していた(猪狩 1940)。したがって噴気活動が盛んになり、小爆発があっても操業を中止せず、鉱山作業者の悲劇を招いた。

爆発は1926年5月24日の11時半にあり、これは小爆発であったが、午後4時ころの2回目の爆発は中央火口丘の西急斜面を岩屑、火山岩塊、火山砂

礫等がまだ残雪の多い中、雪を溶かしながらか一気に流下していった。この時、火口から25km先の上富良野までわずか25分で流れ下ったという。時速に換算すると60kmであった。当時の泥流の流れを図2に示した(猪狩 1940)。この爆発の泥流では総数144名が亡くなり、また、明治以来血と汗で開かれた農地は美瑛村316ha、上富良野村731ha、中富良野村140.5haにおよび、合計1,187.5haになり(猪狩 1940)、その他多くの牛馬、鶏などの家畜と財産が失われた。

著者が1992年に上富良野泥流地帯を調査するとき出会った災害時の生き残り被災者の老婦人によると、当初はまったく泥流を予想していなかったという。カーキ色の泥流を見たとき、最初は「兵隊さんが横列になって進軍してきた」と思ったという。それが山津波と気が付き、急いで近くの木に登り助かったという。この言葉はあまり大きくない火山噴火の場合、その危険性が身近に迫るまでわからないことを教えてくれる。なお、この時の悲劇は三浦綾子の小説「泥流地帯」に詳しい。

1926年の泥流量を猪狩の報告書のデータに基づき算出すると0.004km³となり、この値は1991~1995年の雲仙岳の噴出テフラの1/75、1707年富士山宝

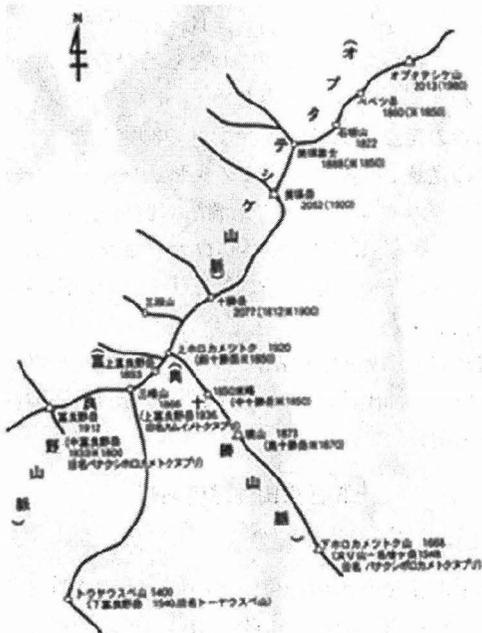


図1 十勝岳連峰略図
清水敏一 (2004).



図2 十勝岳泥流分布図
猪狩源三 (1940) より転写.

永噴火の1/170にすぎなかったが、積雪の多い時期であったことが悲劇を大きくした。このような災害は十勝岳ばかりでなく、他の火山でも起こる可能性がある。特に多量の雪に覆われた火山では、テフラによる被害ばかりでなく、関東大震災の3年後に起きた十勝岳のように、融雪によって被害が増幅されることを忘れてはならないであろう。

現在、山形県と宮城県にまたがって聳える蔵王についても火山活動が伝えられているが、十分警戒する必要があろう。

泥流被災 67 年後の泥流の調査：爆発から 67 年目に当たる 1993 年に地元農業協同組合、農業改良普及所の協力を得て、北海道立上川農業試験場と東京農業大学網走寒冷地農場（ゼミ学生を含む）の共同で調査を行った。調査地点はデータの比較のため、猪狩（1940）が調査した地点に合わせて行った。調査地点を図 3 に示す（水野ほか 1992）。

2) イオウおよび他の元素の残存

調査のための断面調査で、泥流と現在の客土された作土層と旧作土層は明瞭に区分することができた。泥流層は角砂礫層であったからである。このよ

うに 70 年近くたっても土壌粒子がこれほど明瞭に違うのは驚きであった。

化学分析の結果を表 1 に示す。このデータの平均値は表 2 に示す。これからイオウの平均値は客土された現在の作土層の S は 0.63%、泥流層で 1.41%、旧作土は 1.24%であった。これらを災害直後の泥流の分析値と比較すると、表 3 の通りである。すなわち、本来イオウは極めて低かったはずの旧作土で泥流を上回る値が検出された。平均値はどの土壌も災害直後の 2 分の 1 以下になっているが、現在の作土層である客土層と旧作土層に分散したためである。念のため当時客土に使用した土壌も分析検討したが、これにはイオウは含まれなかった（表 4）。泥流地帯の土壌中 S 含有率は極めて高く、北海道の水田土壌の平均値は 0.06%（水野 1989）であるからその 10 倍以上である。

これらの分析値で問題なのはイオウ対策に必要な鉄の客土土壌の遊離酸化鉄と全鉄ともずいぶん低いことである。北海道水田土壌のイオウを調べたとき、同時に分析した遊離酸化鉄の平均 Fe 含有率は 1.36%であり、北海道農用地（水野ほか 1977）

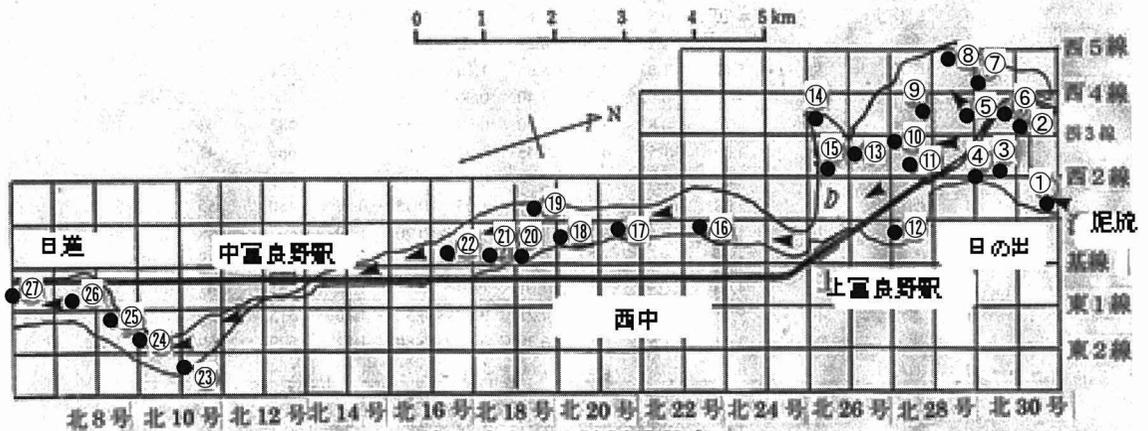


図 3 泥流の分布と土壌採取地点

表 2 泥流地帯の全含有率の平均値 (%)

土壌	S	Fe	Al	Mg	Ca
作土	0.63	3.55	7.35	0.55	1.27
泥流	1.41	4.04	7.00	0.74	1.47
旧作土	1.24	4.25	7.16	0.53	1.06

表 3 イオウ含有率の比較

分類	最高値	最低値	平均値
災害時の泥流	7.066	0.458	3.425
1993 年			
客土層	1.31	0.14	0.63
泥流	4.53	0.10	1.41
旧作土	7.75	0.19	1.24

表4 客土土壌の分析値

土壌採取場	pH (H ₂ O)	遊離酸化鉄 Fe (%)	イオウ S (%)	全鉄 Fe (%)
西中	6.30	0.25	0.00	2.61
日新	6.51	0.22	0.00	2.74

表1 上富良野町・中富良野町泥流地帯の土層別 pH と全元素の含有率

No.	層位	層別	土層深 cm	pH (H ₂ O)	S %	Fe %	Al %	K %	Mg %	Ca %	Mn mg/kg	Zn mg/kg	Cu mg/kg
1	1	客土	15	6.03	0.23	4.97	8.66	1.04	0.59	1.09	705	68	87.3
	2	泥流	20	5.38	1.51	4.24	7.55	1.13	0.75	1.36	554	121	74.6
	3	旧作土		5.18	1.73	4.11	8.14	0.90	1.02	1.93	679	61	51.4
2	1	客土	20	5.52	0.66	3.13	6.00	1.21	0.55	1.22	437	44	37.0
	2	泥流	20	5.75	0.29	3.73	7.11	1.12	0.56	1.26	405	44	28.5
	3	泥流	60	4.36	3.25	4.68	6.05	1.35	0.98	1.65	619	49	29.9
	4	旧作土		5.39	1.84	3.18	6.88	1.16	0.67	1.25	432	56	17.5
3	1	客土	30	6.08	0.90	3.95	8.31	0.66	0.67	1.21	613	49	24.8
	2	泥流	55	5.33	1.63	4.66	7.27	1.98	1.01	1.63	632	43	22.4
	3	旧作土		4.88	1.86	5.10	8.48	1.02	0.54	0.85	511	35	24.3
4	1	客土	23	5.15	1.31	4.37	8.45	1.00	0.71	1.49	505	43	20.1
	2	泥流	45	5.18	1.92	4.33	7.36	0.97	0.85	1.86	586	57	21.6
	3	旧作土		5.32	1.65	5.78	7.73	1.04	0.43	0.84	326	49	19.5
5	1	客土	21	4.96	1.00	3.37	7.90	0.99	0.60	1.27	408	38	19.1
	2	泥流	64	4.13	1.69	4.17	7.04	1.13	1.05	1.61	607	37	23.0
	3	旧作土		4.24	3.25	4.34	7.14	1.00	0.94	1.96	558	39	22.1
6	1	客土	18	5.70	0.43	3.07	7.62	1.07	0.61	1.22	811	43	13.7
	2	泥流	10	6.12	1.99	4.25	7.22	0.92	0.98	1.49	608	37	20.7
	3	泥流	60	4.62	2.72	3.95	6.97	1.19	0.95	1.76	577	45	16.7
	4	旧作土		5.70	0.89	3.74	7.82	0.84	0.39	0.84	287	37	17.8
7	1	客土	22	5.53	1.29	4.00	8.22	1.12	0.40	0.91	296	44	17.6
	2	泥流	31	5.47	1.07	4.39	8.06	1.16	0.04	1.57	629	53	27.2
	3	旧作土		4.75	0.52	3.31	8.40	0.96	0.56	1.04	380	35	15.7
8	1	客土	22	5.73	0.87	3.27	7.60	0.99	0.55	1.34	482	43	14.1
	2	泥流	28	4.09	1.55	4.18	7.45	1.07	1.07	2.14	666	41	17.3
	3	泥流	25	4.67	1.46	3.80	8.14	0.79	0.62	1.85	531	41	10.5
	4	旧作土		5.08	0.57	6.54	9.38	1.05	0.35	0.37	480	55	9.5
9	1	客土	16	4.87	0.62	4.14	8.32	1.04	0.70	1.29	697	38	12.8
	2	泥流	42	4.18	2.93	4.04	7.23	0.90	1.10	1.67	639	58	16.5
	3	旧作土		4.60	1.34	2.38	7.01	1.40	0.67	1.72	431	41	17.5
10	1	客土	17	5.75	0.86	4.29	7.22	0.98	0.56	1.16	515	36	17.3
	2	泥流	36	4.44	1.52	5.88	6.79	0.85	0.80	1.42	529	39	16.7
	3	旧作土		5.07	0.90	6.37	7.66	1.35	0.75	1.09	504	54	21.5
11	1	客土	22	5.78	1.26	3.57	7.78	1.14	0.73	1.59	598	39	16.9
	2	泥流	43	4.56	3.15	4.36	7.47	1.05	0.96	1.45	589	41	18.8
	3	旧作土		5.62	1.54	4.65	7.96	1.08	0.47	0.76	297	24	22.8
12	1	客土	20	5.40	0.87	3.21	7.74	1.08	0.67	1.31	482	43	43
	2	泥流	32	4.54	1.15	3.83	7.12	1.09	0.87	1.66	535	39	39
	3	泥流	63	4.80	1.99	4.48	6.71	0.87	1.02	1.66	622	45	45
	4	旧作土		5.76	1.13	2.86	6.52	0.80	0.57	1.37	494	30	30
13	1	客土	18	5.55	0.84	2.61	7.36	0.93	0.51	1.39	372	39	17.0
	2	泥流	18	4.70	1.16	4.25	6.97	1.06	0.99	1.73	607	39	20.7
	3	泥流	94	4.58	4.53	4.01	6.79	0.97	0.83	1.79	535	40	17.0
	4	旧作土		5.58	1.83	4.63	7.74	0.86	0.59	1.39	382	39	16.6

表1 上富良野町・中富良野町泥流地帯の土層別 pH と全元素の含有率（続き）

No.	層位	層別	土層深 cm	pH (H ₂ O)	S %	Fe %	Al %	K %	Mg %	Ca %	Mn mg/kg	Zn mg/kg	Cu mg/kg
14	1	客土	16	6.10	0.14	2.89	7.80	1.14	0.45	1.15	816	41	11.9
	2	泥流	19	6.23	0.10	2.53	7.86	1.18	0.48	1.56	660	46	12.8
	3	旧作土		5.59	0.19	2.48	7.51	1.31	0.47	1.36	567	43	13.5
15	1	客土	15	5.98	0.60	3.21	7.29	1.06	0.57	1.52	588	44	17.5
	2	泥流	45	5.68	0.99	3.49	6.42	1.07	0.79	1.56	565	38	14.8
	3	泥流	100	4.27	3.00	3.92	6.65	1.07	0.84	1.38	516	38	15.6
		旧作土		5.03	1.11	3.81	7.09	1.15	0.64	1.36	611	44	15.2
16	1	客土	19	5.26	0.62	3.74	7.61	0.79	0.61	1.39	599	41	12.8
	2	泥流	18	5.55	0.55	3.49	7.66	0.94	0.54	1.22	699	40	12.5
	3	旧作土		4.68	7.75	8.18	3.21	0.34	0.31	0.77	342	26	13.7
17	1	客土	15	5.68	0.31	3.44	7.09	1.06	0.65	1.65	690	39	13.1
	2	泥流	9	5.82	0.35	3.61	7.77	0.87	0.51	1.19	701	40	18.5
	3	旧作土		5.76	0.98	4.71	2.94	0.30	0.29	1.04	779	17	14.7
18	1	客土	7	5.45	0.45	3.37	7.33	0.34	0.44	1.04	565	34	20.0
	2	泥流	13	5.49	0.78	3.94	6.62	0.10	0.54	1.01	483	32	19.1
	3	旧作土		5.08	0.99	4.90	5.96	0.97	0.76	1.12	504	35	15.7
19	1	客土	15	5.35	0.44	3.76	6.07	1.09	0.46	1.41	542	33	11.1
	2	泥流	10	5.78	0.52	4.28	7.00	1.31	0.44	1.09	581	38	14.1
	3	旧作土		5.68	0.31	5.03	6.29	1.11	0.47	1.07	513	37	13.9
20	1	客土	20	6.15	0.35	3.45	7.31	1.09	0.45	1.23	607	34	13.5
	2	泥流	18	6.05	0.42	3.78	5.28	0.87	0.46	1.39	669	38	19.8
	3	旧作土		4.98	0.51	3.72	7.06	0.64	0.22	0.32	173	14	14.2
21	1	客土	20	5.63	0.17	3.52	5.85	1.10	0.48	1.26	731	34	12.5
	2	泥流	5	5.95	0.33	4.19	5.92	1.00	0.46	1.34	766	37	11.6
	3	泥流	10	5.79	0.75	4.11	5.48	0.33	0.40	0.84	509	32	12.3
		旧作土		5.81	0.70	3.76	5.45	0.04	0.31	0.59	376	25	14.1
22	1	客土	18	5.73	0.27	3.11	5.16	0.39	0.46	1.15	573	35	12.8
	2	泥流	12	5.96	0.62	4.74	5.14	1.02	0.04	1.36	640	37	16.0
	3	旧作土		5.80	0.64	4.64	4.76	0.65	0.86	2.46	595	38	13.3
23	1	客土	15	6.06	0.30	3.19	5.19	1.20	0.41	1.26	767	38	15.9
	2	泥流	10	6.18	0.28	3.30	4.86	1.22	0.46	1.28	599	35	13.9
	3	旧作土		6.21	0.61	3.89	7.67	1.06	0.42	0.57	437	26	11.8
24	1	客土	15	5.90	0.48	2.79	7.53	1.33	0.40	1.14	486	37	13.5
	2	泥流	9	5.95	0.43	2.76	7.78	1.41	0.38	0.99	558	32	13.4
	3	旧作土		5.20	0.77	5.01	7.98	0.99	0.46	0.75	335	26	15.2
25	1	客土	15	5.77	0.76	3.39	8.16	1.23	0.42	0.98	412	40	13.8
	2	泥流	21	5.91	0.45	3.32	7.68	1.39	0.39	0.90	422	36	13.9
	3	旧作土		5.04	0.55	2.93	7.60	1.02	0.49	1.16	338	30	20.9
26	1	客土	14	5.59	0.52	4.39	7.28	0.95	0.63	1.31	460	39	20.7
	2	泥流	12	6.08	0.50	4.74	7.74	1.00	0.67	1.37	989	38	17.7
	3	旧作土		5.79	0.68	2.57	6.71	1.03	0.50	0.80	296	26	17.0
27	1	客土	16	5.82	0.55	3.52	7.09	0.94	0.63	1.42	513	36	19.2
	2	泥流	7	5.80	0.65	3.47	7.13	0.85	0.62	1.29	548	39	15.3
	3	旧作土		5.79	0.64	2.28	7.28	0.87	0.51	0.91	306	24	14.9

の全鉄含有率は4~5%であった。これに比較してあまりにも低い鉄の含有率である。これには泥流被害直後では硫化水素対策に鉄が必要であることが不明であったことと、差し迫った対策が必要であったことによるためであろう。水田のイオウ対策に鉄が必要であることが分かったのは昭和十年代であった（大杉・川口 1938）。

その他の元素では北海道農用地の土壌成分（水野ほか 1977）に比較してアルミニウム、鉄の含有率は同じ水準であるが、北海道の農地の平均値はおおむね Ca : 2%, Mg : 1.2%, K : 1.5% である。これに比較するといずれの元素も 1/2 近い低い数値である。また、微量元素であるマンガン (Mn)、亜鉛 (Zn)、銅 (Cu) についてもいずれも 1/2 程度である。以上

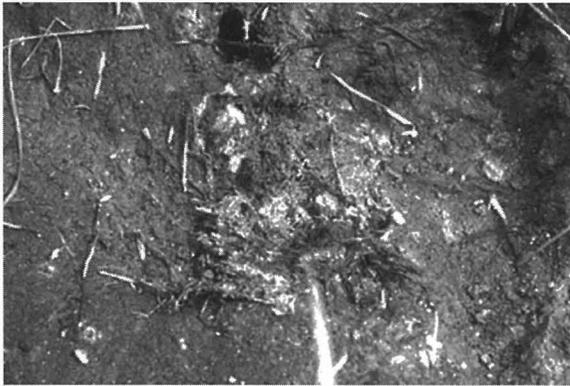


写真1 土壌表面の1cm下は硫化鉄の真っ黒い土が出る



写真2 イネは元気がなく、枯れかかっている

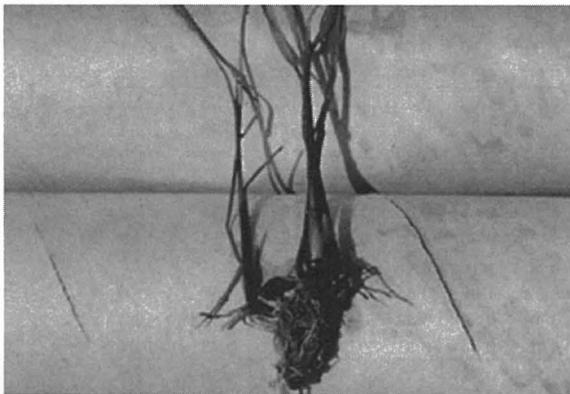


写真3 根は硫化水素で腐っていて働かない

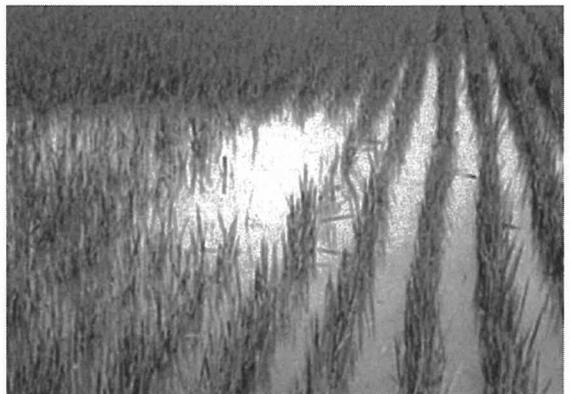


写真4 障害の激しいところはイネが消えている

の結果、土壌成分の多くはイオウによる酸性化あるいは硫酸イオンによって流亡していると思われる。

4. イネの障害とイオウの動き

1) 障害の症状

最初に上富良野の水田を見て歩いたとき、農民の方が次のように云われたのが強く印象に残っている。「うちの水田に何かわからない虫がいて、イネが喰いちぎられている」と。それは写真1~5に示したように、硫化水素で根が腐り、あたかも虫に喰いちぎられたように切れて枯れていくからであった。土壌は表面の酸化層約1cmを取り除けば、真っ黒い硫化鉄の色であり、鼻先に持ってくれば卵の腐ったような硫化水素特有の臭いがあった。

地元では災害時の世代から孫の代に替り、災害時を知る者は殆どおらず、指導機関も特別な対策はとってこなかった。そのため、なぜこの地帯のイネがこのような状態にあるのか理解していなかった



写真5 落水後イネは急速に枯れ上がる

のである。さらに悪いことに、窒素肥料として硫酸を使っている有様であった。しかも秋落ち水田のイネは生育が劣るため、他の地帯より2倍近い施用量であった。これは秋落ち水田を忘れた指導上の欠陥

であるだろう。

イネは生育中期に入ると、障害の激しいところの水田に穴が開いたように消えていく（写真4）。そして出穂後は急速に枯れ上がり、写真5のようなみじめな姿となる。

2) 遊離酸化鉄と硫化水素障害

硫化水素の発生は還元状態で生成される。イオウの酸化還元電位の変化でどのように変わるか図4に示す。還元状態になると、イオウは電子を受け取り、イオウイオン (S²⁻) となる。これに水素イオンの結合したのが硫化水素 (H₂S) である。

H₂S はその形からも分かるとおり、水素イオンがついていることから pH の変化（水素イオン濃度）で形態が変わる。それを図5に示す。pH が上がる（水素イオンが減少する）ことによって、S²⁻から水素イオンが奪われていくことがわかる。一方、電荷の無いイオウ S は還元状態で電子を受け取り S²⁻となる。これらの反応は次のとおり（シャルロー 1974）。

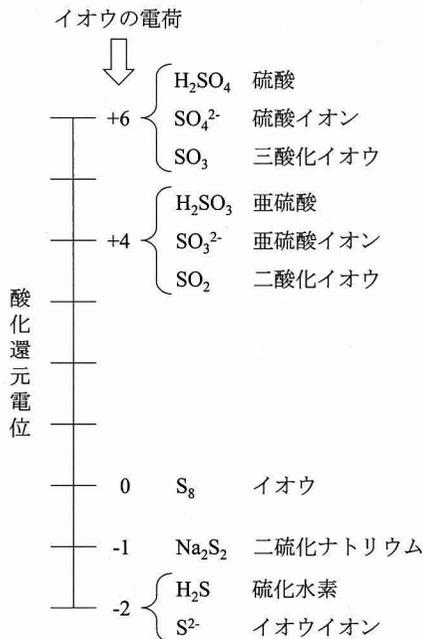
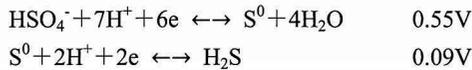


図4 酸化還元電位の変化によるイオウの形態変化 L.ポーリング (1958)。



図6からわかるとおり、イオウが硫化水素に変わる酸化還元電位 (Eh) は pH の上昇で低い値となる。したがって、pH を中性付近に持つてくることは硫化水素の生成を抑えることになる。すなわち、pH 4.0 では Eh : -0.1V で H₂S に変わるが、pH 7.0 では Eh : -0.25V と大幅に低い電位でないと H₂S にならない。一般の水田で Eh はせいぜい -0.2V 付近までの低下であるから、土壌 pH の上昇は H₂S の発生を大幅に抑制することがわかる。対策ではこのことを十分考

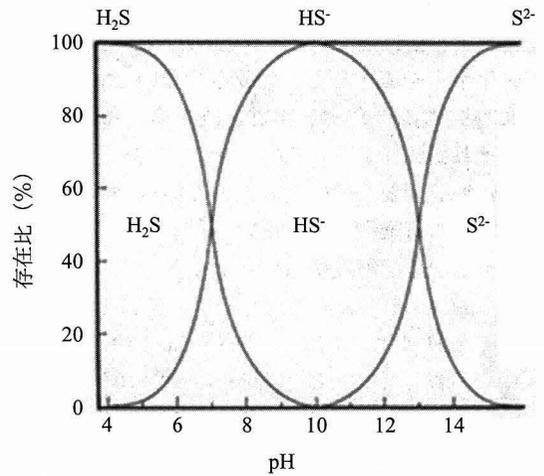


図5 酸化還元によるイオウの形態変化 シャルロー (1974)。

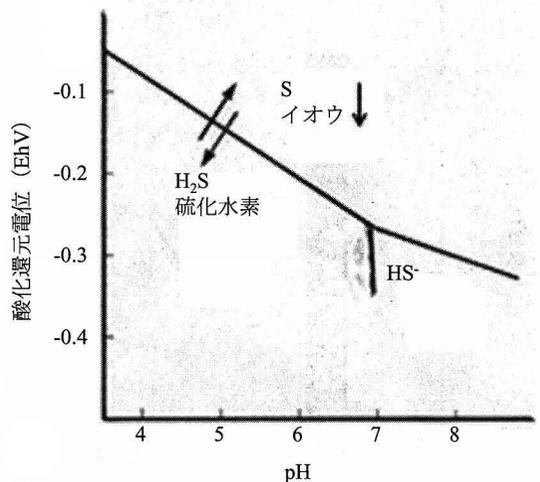
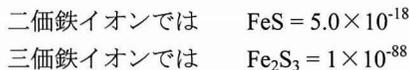


図6 pHによる硫化水素の形態変化 山県・水野 (1958)。

慮すると効率がよい。

酸化還元電位が下がるにつれて、硫酸イオンからイオウ(固体)へ、イオウからイオウイオンへ形態変化する。このイオウイオン(S^{2-})が酸性条件で水素イオンと結合し、硫化水素となる。もう一つ重要なことは土壌の酸化還元容量である。土壌中の鉄の存在は硫化水素を無毒の硫化鉄に換えるばかりでなく、土壌の酸化還元容量を増大させ、還元土壌になりにくい土壌にする。これらの反応は対策を考るとき重要である。

一方、硫化水素のできる土壌中でこの害作用を抑えるのはどうするか。この問題は他の有害元素の対策でも同じであるが溶けないようにすればよい。硫化水素を溶けないようにするにはまずpHを上げて硫化水素をできるだけ生成させないと共に S^{2-} を H^+ より強力に結合する物質と置き換えることである。それが鉄イオン(Fe^{2+} , Fe^{3+})である。イオウ対策に鉄が必要なのはこのためである。特にイオウと反応する遊離酸化鉄が重要となる。物質の溶解度の基準となる溶解度積(K_{sp})は



以上のとおりとなり、特に三価の鉄が強力であるこ

とがわかる。溶解度積(K_{sp})は小さい方が溶けないことを示している。したがって、これまで硫化水素障害で発生する秋落ち水田には鉄材の補給が行われてきた**。そして硫化水素の害を抑制するためには遊離酸化鉄がモル比でSの3~4倍必要とされている(志賀1962)。これは重量比でSのほぼ7倍のFeとなる。

*溶解度積の例: 過塩素酸カリウム($KClO_4$)の溶解度積(K_{sp})は 10^{-2} である。 $KClO_4$ を水に溶かすと、

$$K^+ = \sqrt{10^{-2}} = 10^{-1}M$$

となる。

図7には泥流地帯の遊離酸化鉄を客土層、泥流層、旧作土層に分けて示した。

図7から、泥流地帯の遊離酸化鉄は1~2%の間に集中し、イオウの含有率もほぼ同じである。遊離酸化鉄で硫化水素の害を防止するにはこの実在する遊離酸化鉄の10倍近い含有率が必要となる。このことは実際上不可能であるが、少なくともこの2倍の遊離酸化鉄がほしい。

**赤色土壌地帯で被害が少ない: 化学肥料が普及し、秋落ち水田が問題になったとき、研究者は同じ肥料

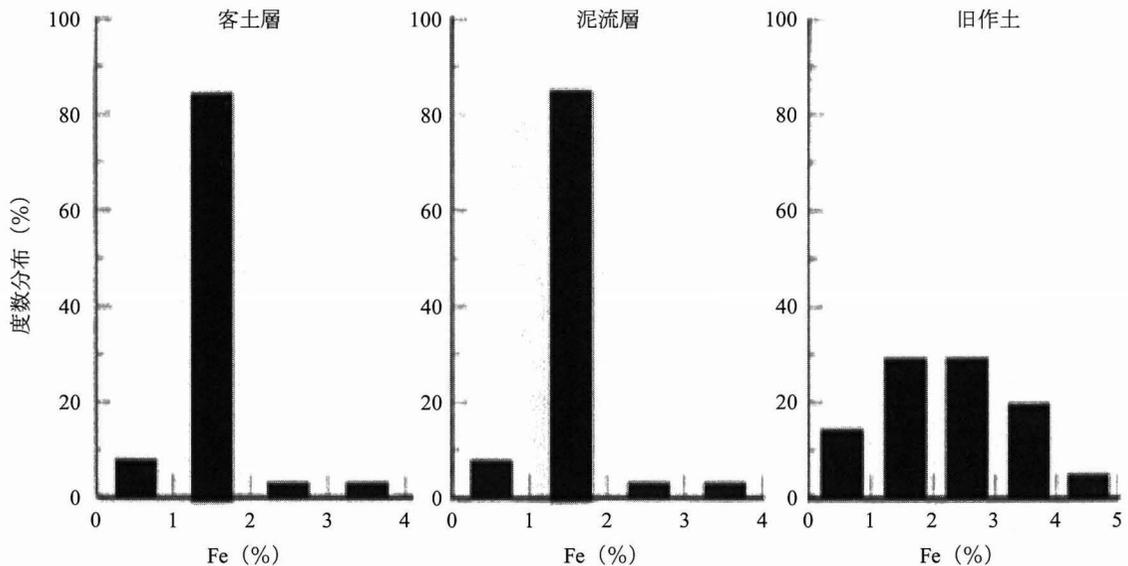


図7 泥流地帯土壌の遊離酸化鉄含有率

を使っているが、土壌によって被害の発生しないところのあることに気が付く。それは山肌が赤褐色の地帯だった。それは鉄が重要であることに気が付く切っ掛けとなった。

5. 河川水のイオウ

1) 富良野盆地を流下する河川水の pH, イオウおよび水量

上富良野を流下し、空知川に流れる河川の水質検査を夏季に1か月ごとに調査した。その平均値を示す(表5)。富良野盆地の集水面積は384km²であり、これにこの地帯の年間降水量を乗じて総雨量を求める。河川から流出する水量は年間降水量の65%であると見積もった(北海道開発局担当者からの助言による)。これによると総水量4億2千万t、流出量は2億7千万tとなる。これから河川水のイオウ量を求めると、出口のイオウの合計量は6,000tとなる。膨大なイオウ量となるが、十勝岳でも年間3,000t近いイオウを採取した火山である。妥当な値と思われる。

灌漑水としていかにイオウが農地に入らないようにするか重要な課題となる。なお、富良野盆地の下流には野花南ダムが建設されている。ダムには沈殿する汚泥を取り除くための排除口が設置されていると聞く。多量にイオウが流れこむダムでは、流れが止まることによってイオウの還元化が進み沈殿することとなる。もし多量の硫化物を流すと、下流の石狩川の魚を含む生物は大きな打撃を受けるだろう。そのようにならないことを願うのみである。

注：日本の河川水の平均S含有率は3.5mg/Lである(SO₄から換算、小林1971)。

表6には陽イオンと陰イオンの含有率とバランスが河川によってどのようにになっているか示した。溶液中のイオンは陽イオン(水素イオンは加えていない)と陰イオンがほぼ当量に存在する。陰イオンの主なイオンは炭酸水素イオン(HCO₃⁻)、硫酸イオン(SO₄²⁻)、塩素イオン(Cl⁻)であるが、ここでは塩素イオンを省略した。炭酸水素イオンはpH4以下では二酸化炭素として揮散するので存在しない。そのことを富良野川上流とヌッカクシフラノ川上流が示している。酸性土壌では生物に有害なアルミニウムイオンの溶出のあることも表6は示している。酸性水の流入は農耕土壌に必要な苦土(Mg)、石灰(Ca)、加里(K)の多量の流失も伴っている。土壌の養分バランスの崩れるのはこのためである。

6. 上富良野町における泥流地帯以外の高イオウ酸性土壌

これまで泥流地帯のみ論じてきたが、上富良野地区はその他でも十勝連峰からの酸性水の流入などでイオウの高い地域が多い。この調査では上富良野町の泥流地帯以外の地域の調査も行い上富良野町に報告してきた(水野ほか1995)。それによると、水田、畑を含めて平地の3分の2が0.1%以上のイオウ(S)含有率である。中には1%を超える土壌も存在する。pHも低く、中には作物も消失しているところもある。北海道の畑土壌のイオウ含有率の平均値が0.03%であるから、早急な対策が必要である。この地域は上富良野町市街地域の十勝岳の山側から日の出と西中地帯である。この地帯の土壌のイオウ含有率は0.3~0.7%に及ぶ高い値であるが、泥流地帯と異なり、下層土は作土層より低い。この地帯は河川水のイオウ含有率が40~75mg/Lの高含有率

表5 富良野盆地を流下する河川の水量, pH, イオウの含有率

河川名	pH (7月)	SO ₄ -S mg/L (平均値)	水量 (×1,000t/日)
エホロカンベツ川	7.38	9.75	130
富良野川上流	3.84	57.97	173
富良野川中流	5.15	21.81	389
ヌッカクシフラノ川上流	3.58	59.78	130
ホロベツナイ川	6.57	13.12	39
デボツナイ川	6.38	8.35	69
ヌッカクシフラノ川中流	6.03	31.75	173
ベベルイ川	6.88	5.27	268
合流点 (富良野川下流, 空知川へ)	6.00	23.03	752

表6 富良野盆地河川水の化学組成 (7月)

河川名	陽イオン (me/L)							陰イオン (me/L)		
	Al ³⁺	Fe ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Na ⁺	合計	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	合計
エホロカンベツ川	0.00	0.00	0.31	0.54	0.13	0.23	1.21	0.73	0.53	1.26
富良野川上流	1.62	0.01	1.37	2.98	0.13	0.63	6.74	0.00	6.19	6.19
富良野川中流	0.04	0.00	0.75	1.28	0.11	0.33	2.51	0.14	1.87	2.01
ヌッカクシフラノ川上流	1.28	0.01	0.72	2.24	0.12	0.47	4.84	0.00	4.46	4.46
ホロベツナイ川	0.00	0.00	0.29	0.72	0.07	0.18	1.26	0.41	0.86	1.27
デボツナイ川	0.00	0.00	0.27	0.57	0.08	0.18	1.10	0.72	0.54	1.26
ヌッカクシフラノ川中流	0.00	0.00	0.33	0.82	0.07	0.19	1.41	0.24	1.11	1.35
ベベルイ川	0.00	0.00	0.20	0.49	0.04	0.12	0.85	0.58	0.52	1.10
合流点 (富良野川下流, 空知川へ)	0.01	0.00	0.52	1.00	0.08	0.26	1.87	0.24	1.64	1.88

のヌッカクシフラノ川が流れている地帯にある。水の pH は 3.5~4 の範囲にある。この地帯で一番イオウ含有率の低い河川はベベルイ川でこの 1/10 の値である。ベベルイ川の流域の土壌のイオウ含有率は低い。このようなことから、灌漑水に用いる河川水は常時監視する必要がある。

7. 火山泥流地帯水田のイオウ対策

次にイオウ過剰地帯での対策法をのべる。

灌漑水: 泥流地帯では桁外れのイオウ含有率のため、その対策はこれまでと別な方法をとらなくてはならない。富良野盆地は灌漑水の絶対量が足りず、一部ではやむを得ず pH が低く、イオウ含有率の高い灌漑水を使用している。また、灌漑水節約のため真夏でも排水溝の水閘を閉じたままで、イオウの排除を妨げている。まずこの問題から改善しなくてはならない。

暗渠排水の完備: イオウ含有率の高い地下水をできるだけ排水すること。特に水稲栽培期間でない時期は水閘を開け、排水を促進し、硫化水素が作土に上がらないように下層の酸化に努める必要がある。ただし暗渠排水工事のあと、掘削した土壌は十分炭酸カルシウムで中和する必要がある。高イオウの土壌が出てくるからである。この対策をしない土壌で暗渠排水の実施したほ場では、その上のイネの消失が観察される。また、暗渠排水から流れ出る水は無色であるが、いったん空気に触れると多量に溶けている二価鉄 (Fe²⁺) が酸化され三価の鉄 (Fe³⁺) となる。Fe³⁺ は水酸イオン (OH⁻) と結合して水酸化第二鉄 (Fe₂(OH)₃) として沈殿し、排水口を塞ぐ事があるので注意する必要がある。



写真 6 十勝岳泥流地帯の排水溝は流出する鉄で茶褐色に濁る

プラウによる秋耕起: これまでいくつかの酸性硫酸塩土壌での経験から、水田を秋に耕起しておいて、春、融雪水で一挙に作土中のイオウを硫酸イオンとして流し去ること。これには耕起法をロータリー耕では効果がなく、プラウ耕にし、土は 90° に立てて出来るだけ土壌の酸化を図る。これによって硫化物を硫酸イオンとすることができる。

中干し: 硫化水素は還元状態の土壌で発生する。土壌をできるだけ酸化状態にするには中干しが有効である。これには 6 月の分けつ期がもっともよいと思われる。また、中干しをするだけでなく、畦間に水田除草機を入れることで土壌を空気に晒すと効果が促進される。この効果は試験圃でも確認されている。7 月の幼穂形成期に入ると、北海道ではときどきオホーツク海高気圧によって寒冷な気候に入る場合があり、障害型の冷害の原因にもなるので、この時期の中干しは奨められない。

加里肥料の補給: 土壌の交換性カリ (K₂O) はほと

んどが 20mg/100g で、そのうち 20%のほ場は 10mg 以下であった。イオン化傾向の高いカリウムは硫酸イオンとペアで流亡するものと考えられる。ここでは一般ほ場の施肥基準は通用しない。

稲わらの鋤き込みをしないこと：有機質肥料のブームやほ場でのわら焼却禁止などで、鋤き込みに走りやすいが、有機質肥料の施用は土壌の還元化を招き、硫化水素の発生を促進する。収穫後の稲ワラはほ場から持ち出すことが特に必要である。

酸化鉄剤の付加：泥流地帯は作土のイオウばかりでなく、下層からの硫化水素の上昇が問題である。現在作土でイオウ含有率の高いのは客土にイオウがあったためではなく、下層からの上昇による。できれば作土層の下に鉄含有率の高い資材を入れ、硫化水素ガスの遮断が望ましい。すでに示したように泥流地帯では硫酸イオンと一緒に鉄の流失が大きいので尚更である。この調査試験のとき、秋落ち水田対策資材として認められているボーキサイト滓の効果試験を行っている。残念ながら 1993 年はフィリピン・ピナツボ山の噴火によると云われた近年最大の全国的な大冷害年に当たり、改良材の効果はチッソの肥効を高め、イネの成育は旺盛になったが、それは冷害による登熟不良を助長し、その効果を十分確認するに至らなかった。このとき使用したボーキサイト滓は苫小牧市の日本軽金属株式会社のもので、その分析結果は表 7 の通りである。

ボーキサイト滓のアルミニウム含有率は一般の土壌と同じであるが、鉄の含有率は 10 倍にもなる。また、アルミニウムを取り出すためにアルカリにしているので、pH 矯正も同時にできる利点がある。

写真 7 はボーキサイト滓を作土および心土にそれぞれ 10a 当たり 5t ずつ計 10t 施用した翌春の土壌である。他の場所のように硫化鉄の黒色ではなく、酸化鉄の赤褐色の色を示し、硫化水素の臭いはまったくしなかった。このような有用な資材の有効利用を奨めたい。土壌も人間と同じく、健康な状態は赤色であるが、不健康な土壌は青いのである。

pH を中性に保つ：すでに述べたように、酸性土壌

では硫化水素が出来やすい。できるだけ中性に保つように炭酸カルシウムの施用を行うこと。水田土壌では還元状態で pH は上がるが、イオウの多い土壌では酸化すると硫酸に変わり強酸性になるので絶えず監視する必要がある。

写真 8 には十勝岳を示した。

おわりに、

近年の土壌学の参考書から、「秋落ち水田」の項目あるいはその成因が欠落していることは残念である。この問題は古くて新しい問題で、もしこの問題を知らないと、さきにも指摘したが公害対策の副産物として生産される硫安が多量に出回ると当然水田に使用されるのは眼に見えている。そればかりでなく、巨大重機の発達は深層部の土壌掘削を容易にしている、これにより酸性硫酸塩土壌の海成粘土も地表に放出される事態が多く観察される。それに火山災害である。多くの火山は多量のイオウを放出

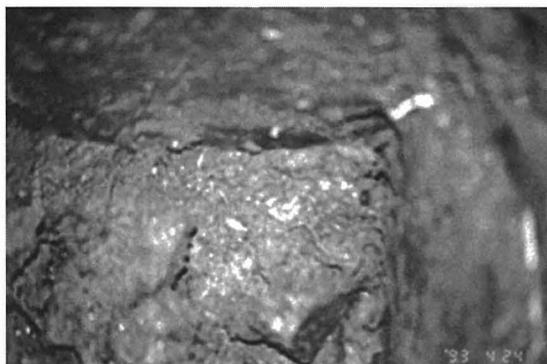


写真 7 ボーキサイト滓を入れた水田の春先の土壌



写真 8 火の山、十勝岳の火口
後ろには別の火口からの噴煙が見える。

表 7 ボーキサイト滓の成分 (%)

Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Na ₂ O	CaO
18.79	12.04	42.39	7.82	7.35	1.71

比重：1.85。

する。火山国日本ではそのことを忘れてはならない。

「秋落ち水田」は古い問題ではない。20年ほど前から「秋落ち水田様症状」が出ていると噂されたことがある。しかしこれは噂だけでも想像だけでもない。指導者が水田に硫安を使う危険性を知らず、農家はそれを使うため、紛れもなくすでに発生している。このことを土壌肥料研究者は十分心がけていく必要がある。なお、現場における硫化水素の検出は10%の酢酸鉛溶液をろ紙に染み込ませ、乾燥して検出紙として使用する。酢酸鉛は硫化水素と反応して黒くなるので硫化水素の存在を知ることが出来る。危険物を早急に感知することもこの種の仕事には必要となる。

小説「泥流地帯」に登場する農事試験場の「技師さん」とは猪狩源三である。私事で恐縮するが、猪狩源三との出会いは土壌学を習った学生時代に遡る。すでに70歳近い老人であった。酸性硫酸塩土壌対策に取り組んだとき、十勝岳泥流地帯の膨大なデータがあることを知った。十勝岳泥流調査の時、猪狩源三の下で分析に従事していた人を訪ね、どのようにしてあの仕事を成し遂げたか聞いた。猪狩源三はずいぶん仕事の早い人で、分析の傍ら原稿を書いていたという。その猪狩源三ですら「泥流対策は一人で研究するにはあまりにも過酷な仕事である」と嘆かせた。後で知ったことだが、あまりにも大きな問題であったため、農業研究機関もこの地帯には触れないでいたようである。残念なことである。

謝辞

本調査試験には上富良野町役場職員、上富良野農業協同組合の職員には多大な援助をいただいた。また、当時、著者が所属していた東京農業大学網走寒冷地農場では、吉田穂積博士のほか、ゼミ生であった清水和也、渡辺一洋、久保与子（現：船戸）、斉藤陽一の諸君には網走からの遠距離と厳しい土木作業

を不満も云わずに全力で協力してくれたことに重ねて感謝の意を表する。なお、水野以外の所属は調査時のものである。

文献

- 猪狩源三 1940. 十勝岳爆発流泥に関する調査成績. 北海道農事試験場報告 39 : 1-136.
 土壌養分測定法委員会編 1970. 土壌養分分析法. p.324-330. 養賢堂 (東京).
 勝井義雄・岡田 弘・中川光弘 2007 : 北海道の活火山. pp.71-85. 北海道新聞社 (札幌).
 環境庁 1983. 酸性雨成分分析調査実施細則.
 小林 純 1971. 水の健康診断. p.33. 岩波新書 (東京).
 水野直治・兼田裕光・鎌田賢一・目黒孝司・土岐和夫・後藤計二 1977. 北海道農用地の土壌成分. 道農試資料 8 : 1-57.
 水野直治 1989b. 道内水田土壌の硫黄および鉄の含有率. 北農 56 (10) : 28-34.
 水野直治・丸岡孔一・稲津 脩 1992. 1926年十勝岳泥流水田土壌のイオウと鉄の含有率. 土肥誌 63 : 677-683.
 水野直治・稲津 脩・丸岡孔一・長谷川 進・後藤英次・吉田穂積・清水和哉・渡辺一洋・久保与子・斉藤陽一 1995. 十勝岳泥流地帯の化学的特性. pp.1-88 (上富良野).
 水野直治・水野隆文 2007. フィールドの基礎化学. pp. 135-152. 産業図書 (東京).
 大杉 繁・川口桂三郎 1938. 硫酸アンモニア施肥の障害を起す原因に関する研究 (第一報). 土肥誌 12 : 298-300.
 ポーリング L. 著, 関 集三・千原秀昭・桐山良一訳 1958. 一般化学. p.313, 岩波書店 (東京).
 シャルロー G. 著, 曾根興三・田中元治訳 1974. 定性分析化学. p.499. 共立全書 (東京).
 塩入松三郎・原田登五郎 1943. 湛水状態の土壌中に於ける窒素の形態変化. 土肥誌 17 : 375-376.
 志賀一一 1962. 湛水土壌中における硫化水素の行動に関する研究. 博士論文, pp.1-247.
 清水敏一 2004. 大雪山の父・小泉秀雄. p.235. 北海道出版企画センター (札幌).
 高井康夫・三好 洋 1977. 土壌通論. p.138, 朝倉書店 (東京).
 山県 登・水野直治 1980. フィールドの化学. p.62. 産業図書 (東京).
 山根一郎 1981. 耕地の土壌学. p.139-140. 農山漁村文化協会 (東京).