

蛇紋岩土壤における作物生育障害について

予報 土壤ならびに生育障害実態調査

増田 敏 春† 佐藤 亮 八†

THE INJURY TO GROWTH OF PLANTS ON SERPENTINE SOIL

(Preliminary report) Actual Survey of Soil and Growth Injury

Toshiharu MASUDA Ryohachi SATO

I 緒 言

蛇紋岩の風化により生成した土壤に生育する作物に、生育障害の発生することは以前より知られている^{1) 2)}。北海道においても蝦夷山脈にそつて蛇紋岩が露出しており、その風化により生成した土壤の分布が見られる。この土壤の分布する地帯の1つである天塩郡幌延村字間寒別でも、開拓地として指定されてより栽培作物の生育障害が発生していたが、昭和34年に当地帯で開拓地地力保全対策調査が実施されることになったので、本調査と併行して特に生育障害に着目した実態調査を行なった。

蛇紋岩風化土壤の障害要因については、これまでに種々研究がなされたが、近年に至り土壤中に存在する重金類類、特に Ni, Cr によるものとする報告がある^{3) 4)}。一方蛇紋岩土壤中の Ca 含有率が少ないことより石膏を施用して障害を軽減したという報告もある^{5) 6)}。

この Ca に関する問題については更に究明がなされ⁷⁾、障害の直接要因は重金属によつて惹起され Ca は間接的影響をおよぼしているものと推定されている⁷⁾。

そこで今回の実態調査は、作物の生育障害を観察調査すると同時に障害発生地の土壤および作物を採取し第一段階として、Ni, Cr, Ca, Mg および3要素の含有率について調査し、障害要因の究明と障害対策の手掛りをえようとした。

† 化学部

なお開拓地地力保全調査は道立農試化学部の平島、平岡両技師が担当し、結果は昭和34年度開拓地土壤調査報告書に登載されている。実態調査の実施にあたり、土壤区設定、土壤採取はこの調査結果におうところが多い。また調査および土壤、作物についての分析は北海道大学石塚教授の御指導によるものであり、深く感謝の意を表する次第である。

II 調査地概要

調査の対象とした天塩郡幌延村字間寒別の地帯は天塩川支流、間寒別川流域にあり、南北に約20 km、東西に約5 kmの狭長な沢で東部に蛇紋岩よりなる山系がある。間寒別川の数本の小支流はこの蛇紋岩山系に源を発し小規模な沖積地帯を形成している。本開拓地は地質上は第3紀層、第4期古層および第4期新層に大別され、このうち第3紀層土壤では現在農耕は行なわれていないため本調査より除外した。第4期古層は蛇紋岩を母材とするものと、頁岩を母材とするものにわかれ、農耕は一部実施されているのみで農耕地の大部分は次にのべる沖積地がしめているため、本調査は主として沖積地を対象として実施した。第4期新層に属するものは蛇紋岩を母材とする河成沖積土、蛇紋岩と頁岩を母材とする河成沖積土および泥炭土にわかれ、蛇紋岩を母材とする土壤は間寒別川の数本の小支流（蛇紋岩山系に源を発す）の流域に小規模に分布し、蛇紋岩と頁岩の混合した土壤は主として間寒別川本流にそつて分布している。泥炭土は主に本流の中間より川下にかけて分布し

本流または小支流の氾濫により蛇紋岩土壤、頁岩土壤などがその上に運積された所がかなり存在する。

第1表 地質・母材別の土壤大別

No.	地	質	母	材
1.	第4期古層	洪積土	蛇	紋 岩
2.	第4期新層	沖積土	蛇	紋 岩
3.	〃	〃	頁	岩・蛇紋岩
4.	第4期古層	洪積土	頁	岩

III 調査・分析方法

A 調査方法ならびに試料の採取

1. 第1表に示した土壤分類による各土壤別に普通1カ所代表地点を選定し、深さ約1mの試坑を掘り、土層別に土壤を採取して分析に供し各土壤間の比較を行なつた。第1表のNO.2の土壤(蛇紋岩)では小支流別に3カ所、NO.4の土壤(頁岩)では台地別に2カ所代表地点を選定した。泥炭土では代表地点を選定しなかつた。

2. 生育障害は蛇紋岩を母材とする土壤、NO.1, 2, 3. (No.1では実際に農耕がなされていないため除外) および泥炭地で表面に蛇紋岩土壤の運積された所で発生しているの、当該土壤地帯を主として調査し、生育障害を呈している作物とその生育地土壤を採取した。作物は燕麦を指示作物として、その地上部を採取した。調査採取の時期は障害の最も顕著に発現すると予想される⁶⁾7月初旬に行ない、また比較のため燕麦以外の作物も採取した。

B 分析方法

1. 試料の処理

作物 地上部を乾燥粉砕し、2~5gをとり、
硫硝酸分解後100ccに定容。

土壤 風乾し2mm篩別を行なつた土壤を次のように処理する。

a 酸可溶 Ni, Cr²⁺ ⁴⁾ 2.5% 醋酸 (pH 2.8) で浸出。

b 置換性 Ni, Cr³⁺ N. 醋酸アンモン (pH7) で浸出。

いずれも土壤20gに浸出液200ccを加え時々振とうしつつ24時間放置後濾過。

c 全 Ni, Cr 常法により炭酸ソーダ溶融をして250ccに定容。

浸出液は50~100cc、全分析の場合は25ccとり硫酸を加え加熱することにより硫酸溶液となし100ccに定容。

作物・土壤とも100cc定容後10~20ccとり次の方法により定量。

2. 定量法

Ni¹⁰⁾ ¹²⁾ Dimethyl glyoxime による比色法。

NH₄-Citrate を加え NH₄OH で pH 8.5~9.0 とし分液漏斗で Ni-Dimethyl glyoxime を chloroform により抽出し 1:50 NH₄OH で処理後 1:25 HCl により chloroform 中の Ni-Dimethyl glyoxime を分解すると同時に Ni を HCl 溶液に移行させ強酸化剤の存在下で Dimethyl glyoxime により発色させ、生じた赤色を波長 450m μ で分光光度計により測定。

Cr¹⁰⁾ ¹²⁾ Diphenyl carbazide による比色法

粉末 Na₂O₂ を少量ずつ注意して加え弱アルカリ性としてから煮沸し、冷却後遠心分離して後上澄液をとり中和し、1:5 H₂SO₄ 3.3cc を加え Diphenyl carbazide により発色させ、生じた紫色を波長 540m μ で分光光度計により測定。

土壤の置換性石灰・苦土 EDTA 滴定法による。

IV 調査成績

A 代表地点による土壤の比較

第1表に示したように土壤を地質・母材により大別し、各土壤ごとに代表地点を選定し土壤断面を調査した結果は第2表に、土壤の各層別の分析結果は第3表に示した。No.1の土壤は蛇紋岩を母材とする洪積土で段丘をなしており、土性は埴土~埴壤土で下層には蛇紋岩の礫があり、かつ蛇紋岩特有の緑色を帯び白色の小斑紋が目立つ。なお上部の第1層、第2層は第3表に示した分析結

第2表 代表地点の土壤断面性状
開拓地土壤調査要綱(北海道案)による。

No. 1 第4期古層 洪積土 蛇紋岩

層序	土性	礫	土色	構造	密度	可溶性	
1	CL		黒赤褐	小粉塊	粗	弱	鉄斑富
2	C		淡橙灰	板状	極密	中	
3	C	含	灰黄緑	粉塊	密	強	
4	CL	富	灰黄褐	大粉塊	〃	極強	

No. 2 第4期新層 沖積土 蛇紋岩
(a)

層序	土性	礫	土色	構造	密度	可溶性	
1	L	富	黒褐	細胡桃	粗	中	
2	L	含	灰黄褐	粉塊	〃	〃	
3	SL		〃	〃	〃	〃	
4	SL		緑黄褐	〃	〃	〃	

(b)

層序	土性	礫	土色	構造	密度	可溶性	
1	CL		暗黄灰褐	粗豆	粗	中	
2	C		暗黄褐	小粉塊	〃	強	
3	CL		黒褐	大粉塊	〃	〃	鉄斑富
4	L		黒青緑	単	〃	弱	

(c)

層序	土性	礫	土色	構造	密度	可溶性	
1	C		黒灰	粉状	粗	弱	
2	C		暗灰黄褐	小粉塊	〃	強	鉄斑有
3	CL		灰黄褐	粉塊	〃	〃	〃
4	SL		緑黄灰褐	〃	〃	弱	〃

No. 3 第4期新層 沖積土 頁岩・蛇紋岩

層序	土性	礫	土色	構造	密度	可溶性	
1	C		黒褐	粉状	粗	中	
2	C		淡褐	柱状	〃	〃	
3	C		暗黄褐	〃	〃	極強	鉄斑含
4	C		〃	〃	〃	〃	〃

No. 4 第4期古層 洪積土 頁岩

(a)

層序	土性	礫	土色	構造	密度	可溶性	
1	C	富	暗灰褐	小粉塊	粗	中	
2	C	含	濁褐	粉塊	〃	強	
3	C		灰褐	〃	密	〃	
4	C		淡黄橙	〃	〃	〃	
5	C		灰黄褐	角柱	〃	〃	

(b)

層序	土性	礫	土色	構造	密度	可溶性	
1	C		暗黄褐	小粉塊	粗	中	
2	C		淡黄褐	粗豆	〃	強	鉄斑含
3	CL		〃	小粉塊	密	〃	〃

果よりみても頁岩を母材とする土壤のようである。No. 2の土壤は蛇紋岩を母材とする沖積土で、開寒別川の数本の小支流にそつて分布している。土壤の堆積は粗で構造も充分発達していない。下層は大部分砂壤土で蛇紋岩による緑色を帯び白色斑が多い。No. 3の土壤は蛇紋岩と頁岩を母材とする沖積土で、開寒別川本流にそつて分布し、当地帯の農耕地の大部分をしめている。土壤は膨吹に堆積しており、土性は埴土で排水状態はあまり良好ではない。母材として頁岩が混入しているため蛇紋岩特有の土色、斑紋は目立たない。No. 4の土壤は頁岩を母材とする洪積土で段丘を形成している。農耕は極く一部で実施されているが作物生育障害の発生はみられない。

土層別の化学分析結果(第3表)によると、No. 1およびNo. 2—a, b, c. はいずれも蛇紋岩を母材とする土壤でNo. 1の第1層・第2層をのぞきいずれもpH 6.0以上で土壤反応は中性に近く置換性石灰は1.1~8.8 me/100gであるのにくらべ置換性苦土は7.9~32.0 me/100gを示している。したがつて石灰・苦土比も0.1~0.6と小さい。全置換性塩基は多く、塩基、土壤飽和度はかなり高い。このことは蛇紋岩の組成(Mg-Silicate)からもうなずかれる。一方NiについてはNo. 1

第3表 代表地点土壌の化学性状

No.	粘土	Hum.	T-N	C/N	pH		Y ₁	置 換 性				CaO MgO	P ₂ O ₅ 吸	Ni			
					H ₂ O	KCl		CuO	MgO	T-B	B.E.C.			MgO	係	酸可溶	置換性
1	39.5	17.2	0.5	19.8	4.9	4.0	0.3	3.5	2.5	6.8	26.6	1.4	872	2.8	1.3		
	66.5	2.0	0.1	14.8	5.6	4.1	0.3	1.3	1.3	3.8	12.5	1.0	782	4.2	1.4		
	53.0	0.6	0.1	3.6	6.6	4.9	0.8	1.4	25.5	27.7	29.8	0.1	1,040	20.8	20.8		
	45.5	0.7			6.7	5.0	0.5	1.5	32.0			0.1		19.4	18.1		
2-a	35.5	11.4	0.5	14.7	6.6	6.2	1.0	5.2	18.1	24.7	27.4	0.3	1,116	45.8	11.1		
	37.0	4.8	0.2	7.4	6.5	6.0	0.3	1.9	10.4	13.2	17.2	0.2	851	59.7	11.1		
	16.2	1.5			7.2	6.4	0.3	1.1	7.9			0.1		62.5	16.7		
	13.5	1.0			7.0	6.1	0.5	1.1	8.8			0.1		43.1	11.1		
2-b	44.2	17.1	0.8	11.8	6.2	5.3	0.5	8.8	28.0	41.7	45.3	0.3	1,399	44.4	12.5		
	52.2	5.0	0.3	9.5	6.4	5.1	0.5	3.8	18.9	24.5	28.7	0.2	1,158	43.1	13.9		
	40.5				6.8	5.3	0.5	2.3	16.0			0.1		47.1	13.9		
	28.0				6.1	4.8	0.8	2.5	13.1			0.2		97.2	45.8		
2-c	50.0	6.1	0.4	9.3	6.4	5.6	0.5	7.6	12.4	22.1	27.5	0.6	1,249	36.1	5.6		
	53.5	2.5	0.3	5.5	6.2	5.3	0.5	2.3	22.3	25.8	30.6	0.1	1,360	50.0	16.7		
	36.9	1.8	0.2	6.4	6.9	6.1	0.8	2.4	19.5	23.7	25.8	0.1	862	1.4	—		
					6.9	5.7		1.1	11.3					54.2	11.1		
3	60.0	8.1	0.5	9.7	6.2	5.0	1.0	6.2	18.5	25.2	30.2	0.3	1,249	11.1	11.1		
	70.5	1.1	0.4	1.8	5.8	4.8	1.0	4.0	19.7	25.1	34.1	0.2	1,262	36.1	5.6		
	72.2	1.1			6.5	5.1	0.5	3.2	19.4			0.2		48.6	12.5		
	82.2	0.8			6.3	4.8	1.3	2.7	24.1			0.1		34.7	18.1		
4-a	53.0	13.4	0.5	15.7	4.9	3.8	17.5	6.1	1.8	9.7	32.2	3.3	872	0.7	—		
	66.0	2.4	0.2	7.3	5.0	3.8	21.0	7.0	1.8	8.9	27.5	3.9	1,102	1.4	—		
	74.5	0.4	0.1	3.2	5.0	3.7	38.0	1.7	1.3	3.9	24.1	1.3	1,000	—	—		
	73.5	0.2			5.1	3.8	37.5	1.7	2.2			0.8		1.5	—		
4-b	51.3	3.7	0.3	7.5	5.7	4.6	2.5	8.1	4.4	13.8	26.2	1.8	1,190	2.8	—		
	69.3	1.6	0.3	3.1	5.2	4.1	20.3	1.1	1.4	2.7	20.6	0.8	1,457	3.6	—		

T-N : Total nitrogen.

T-B : Exchangeable total base.

B.E.C. : Base exchange capacity.

の第1層、第2層をのぞき酸可溶で19.4~97.2 ppm. 置換性で5.6~45.8 ppm. を示した。No. 1の第1層、第2層は置換性石灰、苦土含量が少なく石灰、苦土比は1.0以上であり、かつpHも低いことより恐らく蛇紋岩以外の風化土壌が堆積しているものと考えられ、Niについても酸可溶、

置換性のいずれもが4.2 ppm. 以下と小さい値を示している。No. 3の土壌は往時の泥濘により頁岩と蛇紋岩の風化土壌が混合してできた沖積土で、土性は埴土で土色も観察上蛇紋岩特有の色調は明らかでないが、分析結果はpHが高く置換性石灰にくらべ苦土が多く石灰、苦土比は0.1~0.3

と低く、塩基飽和度も高く、Ni も酸可溶で 11.1~48.6 ppm、置換性で 11.1~18.1 ppm. と No. 1, 2 の土壌におとらない含有量を示している。No. 4 の土壌は頁岩を母材とする洪積土で段丘を形成しているため河川の氾濫などによる蛇紋岩風化土壌の混入は無かつたものと考えられ、分析結果も No. 1, 2, 3 の土壌と異なり pH 低く、置換性石灰も苦土とほとんど同量かまたはそれ以上の含有量を示している。したがって石灰・苦土比は大部分 1.0 以上で一部 0.8 のものもあるが、No. 1, 2, 3, に比しかなり大きい値である。さらに塩基飽和度は低く、酸可溶 Ni は 0.7~3.6 ppm. で含有量が少なく、置換性 Ni は全く定量できなかつた。

Cr については Ni と同一の浸出液により土壌を処理したが、いずれも痕跡程度の含有量よりなく、No. 2-c の土壌で酸可溶 Cr がわずかに定量できたので、この土壌について全分析を実施し結果を第 4 表に示した。

第 4 表 Na_2CO_3 -fuse による Ni, Cr

Na_2CO_3 -fuse		Cr	
Ni	Cr	酸可溶	置換性
417	511	—	—
604	682	1.52	—
792	568	1.82	—
746	1.421	0.76	—

土 壌 No. 2-c
単 位 ppm.

炭酸ソーダ溶融による total-Ni は醋酸浸出 Ni の 10 倍以上含まれている。また total-Cr の存在量も多いが、醋酸により浸出されたのは極く一部で 0.76~1.82 ppm. しかなく、置換性の Cr は全く定量できなかつた。

B 生育障害発生地の作物および土壌

作物の生育障害は前項でのべたように、蛇紋岩を母材としている土壌にのみ発生しているので、生育障害を呈している作物の観察調査と、その採取は前項 No. 2, 3 の土壌および泥炭土で実施した (No. 1 の土壌ではほとんど農耕がなされていないため除外)。

調査した範囲内で障害の顕著な作物は、燕麦、カブ、大豆、菜豆、玉蜀黍、甜菜、馬鈴薯で、燕麦、カブ、菜豆、玉蜀黍では葉面に縞状の白化がみられ、甜菜、馬鈴薯、大豆では葉肉部の黄化程度で白化現象は今回の調査では認められなかつた。裸麦、小麦、チモシー、オーチャード、豌豆、イワノガリヤス (当地帯に多くみられる) などでは観察上障害の発生はみられなかつた。

障害の症状は、燕麦では最初に葉脈にそつて数条の黄化部を生じ、ついで白化し、はなはだしいときは葉全体が葉脈の部分を残して白化する。カブ、甜菜なども同様で葉脈間に斑紋状に黄化部を生じ、さらに進行するとネクロシスとなり、この部分が脱落して葉に穴を生ずるようになる。しかし普通は甜菜、馬鈴薯、大豆の場合クロシス程度で、さらに症状が進むことは一部をのぞきあまり見られなかつた。一般に症状の発生は最初に生長点附近に出現し、順次葉面に拡がり、燕麦では分けつ開始期より出穂直前ころまでが顕著で栄養生長が止まると症状の進行も止まり、それ以上進展することは認められなかつた。また障害の症状で白化現象にまで進んだ部分 (葉) は枯死するがクロシス程度で軽度な症状の場合は、成熟するにしたがい次第に恢復する傾向が認められた。

第 5 表は前記代表地点土壌別に、作物とその生育地点土壌の分析結果を表示したもので、No. 2, No. 3 の土壌では前掲第 3 表の分析結果と同様に置換性石灰にくらべ置換性苦土が多い。また pH も高く Ni 含量特に酸可溶の含量が多い。作物のうち燕麦についてその Ni 含有率をみると症状が顕著なほど含有率は高い傾向を示している。一方症状があまり顕著でなかつた裸麦、チモシー、イワノガリヤスは Ni 含有率が低く、試料 c の燕麦では 64.6 ppm. の含有率を示したが、同一地点のイワノガリヤスでは 14.6 ppm.、同様に試料 d では燕麦 25.0 ppm. 裸麦 10.4 ppm. チモシー 2.9 ppm. を示し、試料 b でも燕麦 70.8 ppm.、裸麦 2.1 ppm. を示しており、いずれの場合も燕麦にくらべ Ni 含有率がかなり低い。障害症状が燕麦と同様に顕著に出現していたカブ、大豆、菜豆、

玉蜀黍、馬鈴薯の Ni 含有率は同一地点の燕麥に匹敵するか、あるいはそれ以上の Ni 含有率を示している。土壌の酸可溶 Ni および置換性 Ni と作物の Ni 含有率については、一部酸可溶 Ni が非常に多い場合をのぞき両者ともほぼ比例関係を持つものと考えられる。しかしいずれの場合も置換性 Ni にくらべ醋酸可溶の Ni はかなり多い値を示している。第1図は No. 2 と No. 3 の鈹質土壌について土壌の酸可溶 Ni および置換性 Ni と燕麥の Ni 含有率を図示したもので、試料 d, i の酸可溶 Ni は多いが、燕麥の Ni 含有率はそれに比例して増加していない。しかし置換性 Ni とはほぼ比例的である。

第5表は泥炭土で河川の氾濫により蛇紋岩風化

土壌の運積した個所では障害がかなり顕著に発生しており、かかる地点の土壌の置換性石灰、苦土含量及び Ni 含量は No. 2, No. 3 と同じ傾向を示しているが、pH は幾分低くなっている。作物の障害程度と Ni 含有率は No. 2, No. 3 の場合と同じで、症状の顕著なものほど Ni 含有率は高い。試料 n, p は過去に石灰投与のなされた地点で、置換性苦土も多いが石灰は更に多く、酸可溶の Ni は 63.9 ppm, 3.6 ppm. であるが、置換性 Ni は試料 p では定置しえず、試料 n では 3.3 ppm. で少なく、燕麥の症状も軽度またはほとんど健全であつたことが注目される。試料 r, s において、置換性石灰が苦土にくらべ多いのは恐らく蛇紋岩風化土壌の運積がなく、あつたとしても

第5表 作物およびその土壌についての分析結果
No. 2 (母材蛇紋岩の土壌)

試料	土		置換性		pH		Hum. %	Ni ppm.	症状	作物名			
	酸可溶 ppm.	置換性	Ca me/100g	Mg	H ₂ O	KCl				Ni	作物名	作物名	
a	16.7	1.4	5.7	14.9	6.7	5.8	7.0	25.0	M	燕	麥		
b	25.0	8.3	4.5	12.1	6.6	5.7	6.4	29.2	H	ク			
c	70.8	29.2	3.9	17.1	6.5	5.6	7.3	64.6	H	ク			
								79.2	H	カ	ブ		
d	104.2	22.2	7.5	11.5	6.3	5.6	9.6	14.6	L	イワノガリヤス			
								25.0	M	燕	麥		
								27.1	L	エ	ン	ド	ウ
								10.4	L	裸	チ	モ	シ
e	33.3	15.3	4.8	15.1	6.6	6.1	10.1	2.9	—				
								20.8	H	玉	蜀	黍	
f	73.6	22.2	11.0	18.5	6.8	6.7	10.5	62.5	H	葉	豆		
								70.8	H	燕	麥		
								58.3	H	馬	鈴	薯	
								2.1	—	裸	麥		

No. 3 (母材蛇紋岩および頁岩の土壌)

試料	Ni		置換性		pH		Hum. %	Ni ppm.	症状	作物名			
	酸可溶 ppm.	置換性	Ca me/100g	Mg me/100g	H ₂ O	KCl				Ni ppm.	症状	作物名	
g	16.7	2.8	8.2	21.8	6.2	4.8	2.2	31.3 28.3	H H	燕 大	安 豆		
h	104.2	11.1	13.2	14.6	7.6	7.4	3.6	150.8	VH	玉	蜀黍		
i	108.3	11.1	3.9	8.0	7.0	6.6	4.9	47.9 62.5	H H	燕 玉	安 黍		
j	38.9	8.3	9.0	19.2	6.8	6.7	8.9	31.3	M	燕	安		
k	25.0	11.1	4.3	15.1	6.0	4.6	4.8	25.0	H	ク			

泥炭土

試料	Ni		置換性		pH		Hum. %	Ni ppm.	症状	作物名			
	酸可溶 ppm.	置換性	Ca me/100g	Mg me/100g	H ₂ O	KCl				Ni ppm.	症状	作物名	
l	5.3	1.9	3.9	10.0	6.3	5.4	18.6	10.4	L	イワノガリヤス			
m	12.5	2.1	5.9	6.1	5.7	4.9	23.2	39.6	H	燕	安		
								37.5	H	大	豆		
								56.3	H	菜	豆		
n	63.9	3.3	10.6	7.1	6.1	5.0	8.4	16.7	L	燕	安		
o	23.6	9.7	7.1	14.5	6.2	5.0	7.6	60.5	H	ク			
p	3.6	—	17.9	9.6	6.6	6.0	17.6	2.1	—	ク			
q	37.5	1.4	5.4	8.0	5.6	4.9	10.4	18.8	M	ク			
r	4.2	1.4	12.9	4.1	5.6	4.7	17.3	2.1	—	ク			
s	2.8	2.7	5.2	2.6	5.0	4.2	17.7	2.0	—	ク			
t	30.6	1.7	4.8	7.8	5.3	4.3	14.5	33.3	H	ク			
								84.4	H	カ	ソ		

VH……甚重症, H……重症, M……中度, L……軽度, —……無

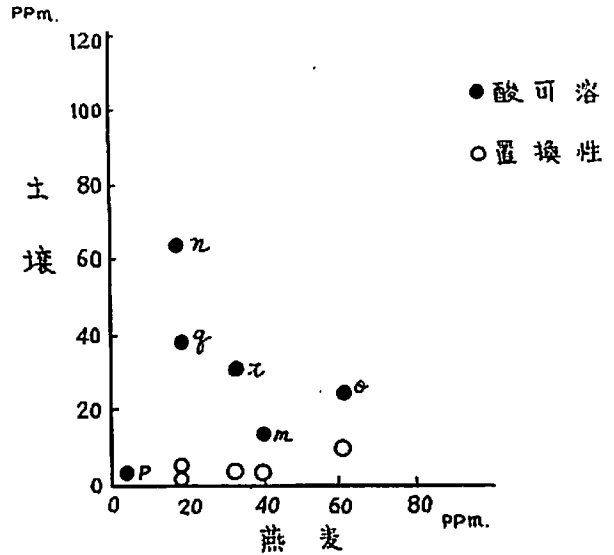
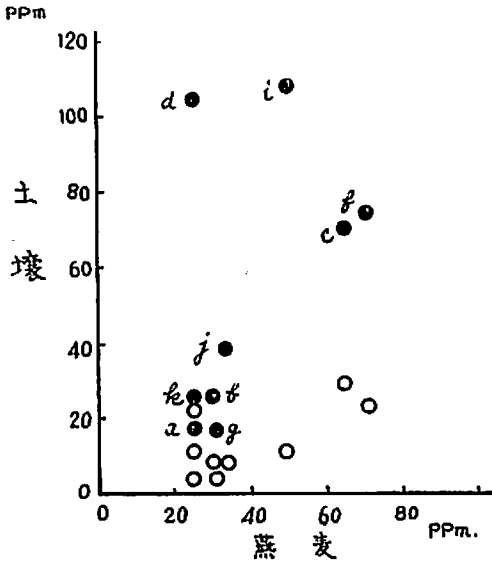
頗く少量で大部分頁岩風化土壌が運積されたものと考えられ、その結果土壌のNi含量少なく燕麥の生育障害も発生しなかつたものであろう。土壌中の酸可溶Niおよび置換性Niと燕麥のNi含有率の関係を第2図に示した。No. 2, No. 3の場合にくらべ

酸可溶のNiと燕麥のNi含有率の間に比例関係はみられない。また置換性Niと燕麥のNi含有率の関係も明らかではないがほぼ比例的である。一般にNo. 2, No. 3の場合にくらべ酸可溶Niさらには燕麥のNi含有率の割りには

土壤の可溶性 Ni と燕麦の Ni 含有率の関係

第1図 飲質土壤

第2図 泥炭土壤



置換性 Ni の量が少なく、このことは腐植含量の多い場合にその傾向が強いようである。

Cr については試料 c の燕麦で 1.4 ppm. の含有率を示したが、その他は痕跡程度で含有率はきわめて低かつた。

第6表は前掲第5表の試料の一部について、土

壌と作物の Ni, Ca, Mg 含有率を示したもので作物の Ca, Mg は 100g 当り Mili-Mole, Ni は 1,000g 当り Mili-Mole で表示してある。燕麦では症状の顕著なものほど Ni 含有率が高いという傾向は第5表でも示されていたが、第6表の燕麦の石灰と苦土含有率を見ると障害症状が重症もしく

第6表 土壤および作物の Ni, Ca, Mg 含有率

No. 2, No. 3

試料	土 壌				作 物				症 状	作 物 名
	置 換 性		Ni		Ni	Ca	Mg	Ca/Mg		
	Ca	Mg	酸可溶	置換性						
	me/100g		ppm.		M.M./1000g	M.M./100g				
c	3.9	17.1	70.8	29.2	1.10	4.3	26.5	0.16	H	燕 麦 カ ブ イワノガリヤス
					1.35	7.7	59.3	0.13	H	
					0.25	3.7	6.2	0.60	L	
d	7.5	11.5	104.2	22.2	0.18	3.7	17.4	0.22	L	裸 麦 エン ド ウ チ モ シ ー
					0.46	11.8	29.8	0.40	L	
					0.05	5.0	10.4	0.48	—	
f	11.0	18.5	73.6	22.2	1.21	7.9	19.4	0.41	H	燕 麦 裸 麦
					0.04	2.7	12.2	0.22	—	
t	3.9	8.0	108.3	11.1	0.82	4.3	9.9	0.43	H	燕 麦
j	9.0	19.2	38.9	8.3	0.53	3.2	14.0	0.24	M	燕 麦

泥 炭 土

試料	土 壌		Ni			作 物			症 状	作 物 名
	置 換 性		酸可溶		Ni	Ca	Mg	Ca/Mg		
	Ca	Mg	ppm.	置換性						
					me/100g	ppm.	M.M./1000g	M.M./100g		
l	3.9	10.0	5.3	1.9	0.18	3.6	9.9	0.36	L	イワノガリヤス
m	5.9	6.1	12.5	2.1	0.67	7.3	20.6	0.35	H	燕 麦
n	10.6	7.1	63.9	3.3	0.28	11.6	10.2	1.14	L	ク
p	17.9	9.6	3.6	—	0.04	9.5	7.4	1.27	—	ク
q	5.4	8.0	37.5	1.4	0.32	4.3	13.6	0.31	M	ク
s	5.2	2.6	2.8	2.7	0.03	7.0	8.2	0.85	—	ク
t	4.8	7.8	30.6	1.7	0.57	4.1	11.7	0.35	H	ク

M.M.……Mili-Mole

は中度（白化現象が発生）の燕麦にくらべ症状軽度（黄化現象のみで白化現象の発生まで至っていない）もしくは健全な燕麦の石灰と苦土含有率の差はかなり小さくなっている。燕麦の石灰と苦土含有率の比についても障害症状の顕著なものでは0.5以下を示し、石灰にくらべ苦土の含有率がかなり高いが、健全もしくは症状軽度の燕麦では1.0前後の値を示し、石灰と苦土の含有率はほとんど同じであつた。

試料 n, p は泥炭土であるが、pH は 6.1, 6.6 と高く、また土壌の置換性石灰が多いことより過去に石灰の投与がなされた地点と推定できる。また土壌の置換性苦土はそれぞれ 7.1, 9.6 me/100g で泥炭土におけるほかの試料と比較して蛇紋岩土壌の運積があつたものと考えられる（試料 s では置換性苦土 2.6 me/100g で頁岩土壌が運積したものと考えられる）。この地点の燕麦の石灰含有率は高く石灰・苦土比は 1.14, 1.27 と大きい値を示し、障害症状は軽度かもしくは健全である。ここで試料 p の土壌では石灰投与により pH 6.6 を示し、置換性石灰 17.9 me/100g と多くなり、一方酸可溶 Ni は 3.6 ppm. で置換性 Ni は定量できず、燕麦の Ni 含有率 0.04 MM/1000g で非常に低くなつてゐること、また試料 n でやはり石灰投与により pH 6.1, 置換性石灰 10.6 me/1000g となつてゐるが

土壌の酸可溶 Ni は 63.9 ppm. 置換性 Ni 3.3 ppm. を示し、燕麦の Ni 含有率は 0.28 MM/1000g で土壌の Ni 含量の割りに低く、また障害症状も軽度であつたことが注目される。

障害症状の軽度な裸麦、チモシーの作物でも石灰、苦土比は同一地点に生育した燕麦に類似しており、これより作物の石灰、苦土の吸収は土壌の置換性石灰・苦土含量により影響を受けるが、Ni の吸収は作物の種類によりことなつてゐることを示している。

W. M. CROOKE¹⁾ は燕麦による Ni の吸収と、体内移動に Fe が関係しており、Fe・Ni 比を障害発生上の 1 要因として考へてゐる。そこで第 5 表に示した燕麦の Fe を O-phenanthroline による比色法で定量した結果を第 7 表に示した。Fe・Ni 比は試料 j, q のように障害症状が中程度の燕

第 7 表 燕麦の Ni, Fe 含有率
No. 2, No. 3

試料	Ni	Fe	Fe/Ni	症状
	M.M./1000g	M.M./1000g		
c	1.10	4.75	4.3	H
f	1.21	3.25	2.7	H
i	0.82	3.88	4.7	H
j	0.53	3.88	7.3	M

泥 炭 土

試料	Ni	Fe	Fe/Ni	症状
	M.M./1000g	M.M./1000g		
m	0.67	6.13	9.2	H
n	0.28	26.02	92.9	L
p	0.04	4.13	103.3	—
q	0.32	4.00	12.5	M
s	0.03	3.13	104.3	—
t	0.57	3.13	5.5	H

M.M.…… Mili-Mole

麦は重症なものにくらべ大きい値を示し、さらに健全な燕麦(試料 p, s)ではなお大きい値を示している。しかしこれは Fe 含有率にはあまり差がなく、Ni 含有率の低いことによるもので、必ず

しも Ni と Fe の相関を示してはいない。ただ試料 n で Fe 含有率 26.02 MM/1000g と非常に高く Ni・Fe 比も 92.9 を示し Ni 含有率にくらべ障害が軽度であつたことは前記した石灰の関係とともに注目すべきことと考えられる。

燕麦の収穫時に地上部を茎葉と穂部にわけて 3 要素、石灰、苦土および Ni, Fe, Cr について分析し、その結果を第 8 表に示した。採取地点は蛇紋岩土壌と泥炭土で、それぞれ 1 か所選定し、分析結果を対比するために障害症状の重症な燕麦と比較的軽度な燕麦をなるべく近接した所で採取し分析に供した。

第 8 表に表示した 3 要素含有率は障害の軽度な燕麦で高い傾向を示しており、障害発生により 3 要素吸収量が減少している。収穫時の石灰と苦土

第 8 表 燕麦(収穫時)の茎葉、穂部別分析

採取 箇所	症 状		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Ca/Mg	Ni	Fe	Fe/Ni	Cr
				%		M.M./1000g			M.M./1000g	ppm.		
蛇 紋 岩 土	H	茎葉	0.22	0.39	3.25	2.67	10.42	0.26	0.21	1.78	8.48	0.91
		穂部	0.89	1.03	0.50	2.14	7.69	0.28	0.85	1.50	1.76	—
	M	茎葉	1.01	0.52	4.75	2.14	9.42	0.23	0.14	1.75	12.50	0.36
		穂部	0.89	0.93	1.10	2.14	7.69	0.28	0.67	1.38	2.06	—
泥 炭 土	H	茎葉	0.34	0.26	3.25	2.85	—	—	0.11	1.46	13.27	0.18
		穂部	0.46	0.86	0.69	4.28	8.18	0.52	0.85	1.38	1.62	—
	M	茎葉	0.89	0.44	4.02	3.21	11.90	0.27	0.09	1.30	14.44	—
		穂部	0.89	0.93	0.88	2.85	8.93	0.32	0.57	1.13	1.98	—

の含有率には、傾向がみられない。Ni 含有率は障害の重症な燕麦では軽度な燕麦にくらべ茎葉、穂部とも高く、いずれの場合も茎葉にくらべ穂部の含有率がかなり高く、Ni の大部分が穂部に含まれているものと推測される。Fe 含有率はいずれの場合も茎葉の方が幾分高い値を示しているが Ni 含有率ほどの差はない。その結果 Fe・Ni 比は茎葉で大きく穂部でははるかに小さい値を示している。また障害の重症な燕麦の方が Fe 含有率は幾分高いが Fe・Ni 比は小さい値を示していた。

Cr は障害の重症な燕麦の茎葉に 0.91 ppm. 0.18 ppm. 含まれており、軽度な燕麦では蛇紋岩土壌の燕麦にのみ 0.36 ppm. 含有されており、い

ずれも Ni にくらべ低く、かつ穂部には含有されていなかった。

V 考 察

蛇紋岩風化土壌の障害要因究明のために実施した今回の調査分析結果では、当初予想された障害発生要因のうち、燕麦の障害発生に関係しているのは Ni と石灰、苦土であることが判明した。

Ni により燕麦が障害を受けることは HUNTER らにより明らかにされているが、今回の調査結果でも作物の障害発生は Ni 含有率と密接な関係をもつていた。そして作物の種類により Ni 吸収量に差のあることは作物の特性に基因するものと考

えられる。

燕麦による Ni の吸収は土壌中の醋酸可溶 Ni と置換性 Ni に比例的であるということは J. G. HUNTER⁴⁾ が報告しているが、今回調査した蛇紋岩土壌では醋酸可溶と置換性のいずれもが燕麦の Ni 含有率と比例関係をもつていた。しかし置換性にくらべ醋酸可溶の Ni はかなり多量であり、これは土壌中の Ni の形態に起因するものと考えられる。W. M. CROOKE²⁾ は土壌中の Ni は pH 6~7 で沈澱するといっているが、蛇紋岩土壌の pH がいずれも高くなつており、沈澱した Ni が醋酸によつて溶解浸出されたものと推定できる。一方泥炭土では燕麦の Ni 含有率と醋酸可溶の Ni には比例関係がなく、また置換性 Ni は比例関係を示したが、その置換浸出される量は蛇紋岩土壌にくらべ少なかつた。土壌中の Ni は organo-metallo complex として存在することもあり、この形態の Ni は醋酸または醋酸アンモニウムによつて浸出されないが燕麦はある程度吸収できることを CROOKE は認めている。泥炭土の場合有機物含量が多いことより organo-metallo complex として Ni が土壌中に存在することは充分考えられ、この形態の Ni も燕麦に吸収されたので置換性 Ni にくらべ燕麦の Ni 含有率が大きい値を示したものと推測される。しかし蛇紋岩土壌、泥炭土いずれの場合も置換性 Ni は燕麦の Ni 含有率と比例関係にあり B. D. SOAN¹³⁾ の報告したように燕麦の Ni 吸収は土壌の置換性 Ni の含量によつて影響を受けることは間違いないようである。

Cr によつて燕麦に生育障害の発生することは J. G. HUNTER⁵⁾ によつて明らかにされている。すなわち燕麦の水耕培養液中 Cr が 10 ppm. 以上存在すると障害の発生が観察されたと報告している。しかし今回の調査ではわずか 1 点の土壌で醋酸可溶 Cr 0.76~1.82 ppm. その土壌に生育していた燕麦で 1.4 ppm. の含有率を示したにすぎなかつた。しかし炭酸ソーダ熔融による Cr は多くこのことより土壌中の Cr の大部分は非常に安定な chromite の形態で存在し、これは容易に浸出されず、したがつて直接作物に影響するということは考えられない。そして土壌中に存在する Cr

のごく一部が chromic または chromate として存在し、これが醋酸により浸出されたものであろう。

燕麦の障害症状は石灰・苦土比にも関連性が示されていたが、障害発生の軽度な裸麦、チモシーでも石灰・苦土比は同じ傾向を示したことから直接作物の障害発生に関連するとは断定できない。しかし石灰施用により燕麦の障害発生が軽減したことは VLAMIS J.¹⁴⁾、HUNTER⁴⁾ らが報告しており、また今回の調査分析からもこれを示唆する結果がえられた。したがつて石灰、苦土の unbalance をなおすことにより燕麦の metabolism が影響を受け Ni による障害の発生が軽減するとも仮定しうる。しかし石灰の施用により土壌の石灰状態や pH が変化し燕麦による Ni の吸収に影響をおよぼすことも当然考えられ、障害の発生に対して石灰が燕麦体の内外でどのような役割りをなしているかについてはなお究明すべき問題であると思われる。

CROOKE は Fe・Ni 比をもつて燕麦の障害発生の 1 要因であることを報告している。今回の調査では Fe と Ni の関係についてあまり判然としなかつたが、Fe 含有率の特に多い燕麦が 1 点あり、障害も Ni 含有率の割りに軽度であつたことは Ni と Fe の関連性を示すとも考えられ、さらに燕麦による Ni と Fe の吸収・移動の相違などがあり、燕麦の生育障害が軽度の場合成熟するにしたがい恢復するのは、莖葉中の Ni は穂部へ速かに移動するが Fe の移動はそれほど早くはなく、その結果莖葉の Fe・Ni 比が大きくなるためとも仮定できる。いずれにしろ Fe と Ni の関係は障害対策として石灰と同様究明すべき興味ある問題と考えられる。

VI 要 約

作物の生育障害は蛇紋岩土壌および泥炭土で蛇紋岩土壌の運搬された所に発生しており、頁岩土壌では発生していなかつた。蛇紋岩土壌では pH が高く、置換性塩基も多く塩基飽和度は高かつた。そして置換性石灰より苦土が多く、その比率は 1.0 以下であつた。

土壌中の Ni については、酸可溶、置換性のいずれの Ni も普通土壌にくらべ多量に含有されており、全 Ni は酸可溶 Ni の 10 倍量以上含有されていた。Cr については全 Cr は多いが、酸可溶、置換性の Cr は微量であつた。

作物の Ni 含有率は種類によつて差があり、Ni 含有率の高い作物で障害症状が顕著であつた。また蛇紋岩土壌に生育した作物の石灰含有率は苦土にくらべ低く、その比率は 1.0 以下であつた。燕麥ではその障害発生と石灰・苦土比に関連性が認められた。作物の Cr 含有率は低く、Ni にくらべ極く微量であつた。

文 献

- 1) CROOKE W. M. 1955; Further aspects of the relationship between nickel toxicity and iron supply. *Ann. Appl. Biol.* 43, 465
- 2) ————. 1956; Effect of soil reaction on uptake of nickel from serpentine soil. *Soil Sci.* 81, 269
- 3) GORDON A. and LIPMAN C. B. 1926; Why are serpentine and other magnesian soil infertile? *Soil Sci.* 22, 291
- 4) HUNTER J. G. and VERGNANO O. 1952; Nickel toxicity in plants. *Ann. Appl. Biol.* 39, 279
- 5) ———— and ————. 1953; Trace element toxicities in oat plants. *Ann. Appl. Biol.* 40, 761
- 6) KNIGHT A. H. and CROOKE W. M. 1955; The relationship between nickel toxicity symptoms and the absorption of iron and nickel. *Ann. Appl. Biol.* 43, 454
- 7) ———— and ————. 1956; Interaction between nickel and calcium in plants. *Nature* 178, 220
- 8) MARTINE, VLAMIS and SICE. 1953; Field correction of calcium deficiency on a serpentine soil. *J. Annun. Soc. Agron.* 45, 204
- 9) SANDEL E. B. 1936; Determination of chromium, vanadium and molybdenum in silicate rocks. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* 8, 336
- 10) ————. 1939; Determination of nickel and cobalt in silicate rocks. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* 11, 309
- 11) 塩谷惣治 1942; 蛇紋岩土壌の改良に関する研究 土肥誌 16, 203
- 12) SNELL and SNELL. 1953; Colorimetric methods of analysis.
- 13) SOAN B. D. and SAUNDER D. H.; 1959 Nickel and chromium toxicity of serpentine soil in Southern Rhodesia. *Soil Sci.* 88, 322
- 14) VLAMIS J. and JENNY. 1948; Calcium deficiency in serpentine soil as revealed by absorbent technique. *Science* 107, 549

Summary

In such serpentine soil, as lies in Toikanbetsu of Horonobe village in the North of Hokkaido, there is known to occur growth injury to plants. Consequently, it was undertaken by the authors to ascertain the cause of infertility in the soil, then to find a method for reforming it through actual survey and analysis of the soil and plants affected by toxic symptoms.

The facts brought out through the investigation are as follows: the toxic symptoms develop on plants growing in the serpentine soil and in the peat admixed with serpentine soil derived from a drift, while on plants in shale rock soil there are no such symptoms.

In the serpentine soil, pH is high, exchangeable bases are abundant, base saturation degree of soil is high, exchangeable Mg is greater than Ca, and Ca/Mg ratio is smaller than 1.0.

The Ni content form of acid soluble and exchangeable are high, while a form fused with carbonate is over ten fold that of acid soluble.

The Cr content of a form fused with sodium carbonate is high, but the form of acid soluble and exchangeable is very low. The Ni content in plants is changed by these kinds, and the plants which are affected with the toxic symptoms have a high Ni content. The Ca content of plants growing in the serpentine soil is less than the Mg content, and the ratio of Ca/Mg in plants is smaller than 1.0. Through this investigation it is revealed that the toxic symptoms in plants have a relationship with the Ni content and the Ca content and the Ca/Mg ratio in plants.

The Cr content in plants is very low compared with the Ni content similar in the case of a soluble Cr in the soil.