

微量元素の分布に関する研究

第1報 胆振地方における畑作物と土壌のマンガン、鉄、銅、亜鉛およびモリブデン含量の差異

水野 直治† 平井 義孝†

STUDIES ON THE DISTRIBUTION OF MICROELEMENTS

1. The Difference of Contents of Manganese, Iron, Copper, Zinc and Molybdenum in Crops and Soils on Iburi Area.

Naoharu MIZUNO & Yoshitaka HIRAI

近年農作物に対する微量元素肥料の問題が盛んにとりあげられるようになった。しかし、多くの場合は現在の農耕地がどの程度の含量があるのか、またはどの程度から欠乏や過剰の状態に入るのか不明である。

本報告では、胆振地方の作物と土壌50点につき、微量元素の主体をなす、マンガン、鉄、銅、亜鉛およびモリブデンの分析定量により得られた結果を述べ、若干の考察を加えた。

I 緒 言

重金属を中心とする微量元素は生物が正常な生理作用を営んでいく過程において、その微量な存在にもかかわらず、きわめて重要な役割をはたしている。すなわち、チトクローム系のような呼吸の電子伝達など生体の最も重要な物質代謝に関与している鉄を除外しても、マンガンはアンモニアをヒドロキシルアミンに変える Ammonia : (acceptor) oxidoreductase に、銅は *o*-diphenol : O_2 oxidoreductase やアスコルビン酸の酸化酵素である L-ascorbate : O_2 oxidoreductase に、亜鉛は Carbonate hydro-lyase や Alcohol : NAD oxidoreductase に、モリブデンは硝酸イオンを還元する $NADPH_2$: nitrate oxidoreductase など¹⁾のように、主に植物に存在する重要な酵素の構成体であったり、ほかの酵素も含めこれらの活性化剤²⁾である場合が多く、物質代謝促進や緩和などに関与しているものが多い。

したがって、これらの必須微量元素が欠乏する場合は、生物としての正常な生活機能を失うこ

とが容易に想像され、事実これらの事例が多数報告³⁾されている。

この反面、これらの要素は酵素を構成するためには発揮される高い錯体形成能力の特異的な性質などから、生物環境に、または生体内に必要な以上に存在する場合は生物体内で重要な機能を持つ金属酵素やこれに類似の錯塩内の金属などと置換⁴⁾したりして容易に害作用を発現する性質をあわせて持っている。この障害を与える程度については対象の生物体によって、あるいはほかの要素との平衡関係や生理条件によって異なるため一律ではない⁵⁾。それ故、これらの生物環境における意義は一般の多量要素より複雑な性質を持つといえよう。

近年、化学肥料の普及にともなって、原因不明の奇病発生や、特定要素の欠乏および地力の低下がみられてきた。このような現象にともなって種々雑多な微量元素肥料の農家への売り込みが激しくなっている。このような現状に対して、北海道におけるこの種の既往の研究論文は数少なく、微量元素施用の要否について判断するための資料にとぼしい。

† 中央農業試験場

以上の現況に鑑み、微量要素に関する基礎資料をうるため、植物体ならびに土壌の微量要素: Mn, Fe, Zn および Mo の分布に関する研究を1967年より着手した。

本報では北海道胆振支庁管内の畑土壌を対象としておこなった研究結果をとりまとめたものである。

この研究に当たり、試料の採取に便宜をいただいた胆振支庁、同管内各地区農業改良普及所に厚く感謝するとともに、研究推進上有益な助言指導をいただいた化学部長谷部部長、同部土壌改良科後藤科長に謝意を表する。

II 試験方法

1. 試料採取法および処理

分析に用いた土壌および植物体試料の採取は既往の土性調査報告書などを参考にして、対象の土壌分布地域を確認し、またこの土壌に分析対象の微量要素資材や肥料などがかつて施用されたことのないことも農家聴取によって確認したのち試料を採取した。

試料採取に当たって、土壌は作物の根圏内(作土)より採取するとともに、作物体も土壌試料とあわせて採取した。このことにより両者間の分析値の比較を容易にできるようにした。またこれらの試料採取時期は7月上旬～中旬に集中し、馬鈴薯は開花期であった。採取した植物体は洗剤で洗浄後、純水でよく洗い流し、熱風乾燥器で乾燥したのち分析に供した。

2. 分析前の処理

植物体は硝酸、過塩素酸による湿式分解したのち2, 3の分析法により定量した。また土壌は炭酸ナトリウム熔融で処理したものを全含量とした。

土壌の可溶性含量はつぎの方法によって処理した。

Mn; 易還元性 Mn (0.2% Hydroquinone 含有の1N 酢酸アンモニウム液) によった。

Cu, Zn; 風乾細土 10 g に 0.1 N HCl 100 ml を加え、室温(約20°C)にて時々振とうしながら24時間放置後濾過し、濾液を分析に供した。

Mo; pH 3.3 の硝酸、硝酸アンモニウム溶液で抽出する GRIGG 法(文献は PURVIS¹¹⁾による)で測

定した。

3. 定量法

Mn; 過沃素酸カリウム法⁸⁾によった。

Cu; ジエチルジチオカルバミン酸ナトリウムによる溶媒抽出法⁹⁾によった。

Zn; ジチゾン—四塩化炭素による溶媒抽出法のうち、単色法¹²⁾をもちいた。

Mo; チオシアンアンモニウムによる溶媒抽出法¹³⁾をもちいた。

III 試験の結果

1. 沖積土における微量要素含量

当管内で対象とした主な沖積土の河川名と土壌概要はつぎのとおりである。

穂別町キウスの穂別川は Ni の含有量が高いことから、蛇紋岩の混入が考えられる。土性は細粒質で、作土が深い。栽培されている馬鈴薯や燕麦は徒長気味で、毎年収量はあまり高くない。穂別町富内の鶴川沖積土は上流流域であるため砂礫質の土壌である。この土壌も穂別川同様 Ni の含量から蛇紋岩の混入が考えられる。

室蘭市千舞賢川、豊浦町美和の貫気別川はいずれも小河川であって、土性の変化がいちじるしく山間部を開折した狭小な沖積土であり、生産力はあまり高くない。

壮瞥町から伊達町に流れる長流川の沖積土は大半が水田となっていて、一部はそ業地である。流域面積はさきの河川に比べて広く、生産力の高い沖積土である。

これらの地帯から採集した土壌および植物体の分析結果を Table 1 に示す。

この結果、穂別川沖積土地帯は土壌および植物体とも、ほかの沖積土地帯に比べて Cu 含量が低いことが明らかとなった。これに対し長流川沖積土地帯は土壌の Cu, Zn の全含量、可溶性 Mo 含量および植物体 Mo 含量が平均して高かった。

2. 有珠系火山灰土壌における微量要素含量

有珠系火山灰地帯は一般に農作物の生産力が高いことが知られている。とくに有珠系火山灰b層の地帯は優良なそ業および高級菜豆が栽培されている。この地帯で採取した土壌および植物体の分

Table 1 Comparison of contents of elements in plant and alluvial soil with available elements of soils

Town & city	Sampling location	River name	pH		Determination of elements in soil: ppm												Plant elements: ppm					
					Mn			Cu			Zn			Mo								
			H ₂ O	KCl	T	A	%	T	A	%	T	A	%	T	A	%	Plant	Mn	Fe	Cu	Zn	Mo
Hobetsu	Kiusu	Hobetsukawa	6.30	5.00	1,000	80	8.0	48	4.8	10.0	100	21	21.0	3.50	0.90	25.7	Potato	30	632	5	73	1.04
																	Oat	33	122	4	50	0.50
	Kiusu	Hobetsukawa	6.05	4.90	750	13	1.7	44	6.0	13.6	116	30	25.9	4.00	0.68	17.0	Red clover	5	383	13	65	0.50
	Tominai	Mukawa	6.90	6.20	900	99	11.0	68	8.0	11.8	129	23	17.8	3.87	0.67	17.3	Potato	7	632	10	36	1.96
	Tominai	Mukawa	6.80	6.15	800	30	3.8	73	10.0	13.7	117	16	13.7	4.00	0.46	11.5	Red clover	10	275	7	50	1.50
Muroan	Chimaibetsu	Chimaibetsukawa	6.00	5.10	950	116	12.2	38	3.8	10.0	183	14	7.7	4.75	0.50	10.5	Sugar beet	13	355	6	56	0.80
	Chimaibetsu	Chimaibetsukawa	6.25	5.10	1,640	120	7.3	65	4.8	7.4	160	18	11.3	4.75	0.46	9.7	Potato	13	780	61	51	1.04
	Chimaibetsu	Chimaibetsukawa	6.12	5.30	1,465	100	6.8	56	3.3	5.9	150	16	10.7	4.50	0.40	8.9	Oat	13	238	5	21	1.16
Date	Nagawa	Osarukawa	6.40	5.25	1,250	110	8.8	83	7.5	9.0	228	23	10.1	5.10	0.90	17.6	Potato	40	320	18	80	1.66
																	Red clover	37	244	15	44	1.96
	Nagawa	Osarukawa	6.45	5.45	1,040	228	21.9	73	5.4	7.4	214	22	10.3	4.40	1.00	22.7	Orchard grass	57	150	9	30	1.73
	Nagawanakajima	Osarukawa	6.20	5.20	889	122	13.7	76	6.8	8.9	132	25	18.9	2.50	0.70	28.0	Potato	20	430	16	49	1.15
	Kaminagawa	Osarukawa	5.65	4.75	725	26	3.6	72	8.3	11.5	141	27	19.1	4.70	0.64	13.6	Sugar beet	23	540	12	110	1.11
	Kaminagawa	Osarukawa	6.60	6.15	975	110	11.3	94	4.8	5.1	184	22	12.0	3.33	0.95	28.5	Pole bean	125	400	8	42	2.23
	Murasakai	Osarukawa	6.85	6.25	825	95	11.5	78	10.0	12.8	215	24	11.2	4.00	1.02	25.5	Potato	27	450	18	40	2.74
Toyoura	Miwa	Nukibetsukawa	5.20	4.40	1,200	228	19.0	72	11.5	16.9	150	38	25.3	3.85	0.56	14.5	Potato	27	463	430	63	0.36
Average					1,029	106	10.0	67	6.8	10.2	158	23	15	4.4	1.0	0.70	Potato average	23	530	80	56	1.43

Remarks 1. T=Total element concentration. The elements were extracted by fusing the soil with anhydrous sodium carbonate and dissolving the fused mass in hydrochloric acid.

2. A=Soluble element concentration. Soluble elements were extracted by 0.1 N HCl (Cu & Zn), method of GRIGG (Mo), and 1 N ammonium acetate (contained 0.2% hydroquinone) solution (Mn).

3. %=Per centage of solubility (A/T× 100).

Table 2 Comparison of contents of elements in plant and Usu-volcanic ash soil with available elements of soils

Town	Sampling location	Horizon	Series	pH		Determination of elements in soil: ppm												Plant elements: ppm					
						Mn			Cu			Zn			Mo			Plant	Mn	Fe	Cu	Zn	Mo
				H ₂ O	KCl	T	A	%	T	A	%	T	A	%	T	A	%						
Date	Nakamareppu	1	b	6.30	5.40	1,050	90	8.6	66	8.3	12.6	205	17	8.3	6.74	0.30	4.5	Potato	20	510	120	54	1.74
		2	b	6.60	5.25	1,075	46	4.3	70	5.5	7.9	134	17	12.7	4.50	0.54	12.0	Sugar beet	97	490	11	41	2.10
		3	b	6.70	5.15	1,325	128	9.7	68	3.2	4.7	173	12	6.9	4.00	0.70	17.5	Orchard grass	70	287	12	37	1.45
	Kitamareppu	1	b	6.25	5.30	1,040	62	6.0	77	12.5	16.2	134	22	16.4	5.37	0.30	5.6	Potato	20	540	380	61	1.37
																		Sugar beet	30	445	16	47	1.57
	Ohira	1	a	5.05	4.45	1,110	61	5.5	66	6.5	9.8	166	44	26.5	3.00	0.40	13.3	Sugar beet	70	150	7	48	0.79
	Nishisekinai	1	a	6.60	5.85	1,275	16	1.3	72	6.0	8.3	154	18	11.7	5.10	0.77	15.1	Potato	23	660	17	44	0.94
	Nishisekinai	1	a	5.80	4.80	1,350	26	1.9	66	5.6	8.5	163	13	8.0	4.00	0.60	15.0	Potato	223	550	14	55	0.64
	Nishisekinai	1	a	5.00	4.45	1,225	29	2.4	76	7.0	9.2	161	13	8.1	2.80	0.77	27.5	Sugar beet	67	620	72	49	1.00
		2	a	5.95	5.20	825	51	6.2	85	10.0	11.8	280	34	12.1	3.00	0.81	27.0						
		3	c	6.45	5.20	1,200	44	3.7	79	6.8	8.6	220	26	11.8	2.62	0.71	27.1						
Abuta	Hanawa	1	b	6.20	5.05	890	35	3.9	110	11.7	10.6	152	25	16.4	3.25	0.43	13.2	Potato	10	530	250	57	0.80
		2	b	6.50	5.15	1,125	46	4.1	91	5.7	6.3	202	23	11.4	3.50	0.66	18.9	Sugar beet	27	560	33	64	0.65
Toya	Naruka	1	b	5.50	4.65	1,150	71	6.2	82	7.5	9.1	184	41	22.3	2.62	0.56	21.4	Potato	23	460	350	58	3.03
	Naruka	1	b	6.75	6.45	750	24	3.2	80	5.0	6.3	170	29	17.1	4.72	0.51	10.8	Oat	10	170	12	41	1.04
	Naruka	1	b	6.20	4.75	1,025	34	3.3	106	8.3	7.8	178	33	18.5	4.40	0.76	17.3	Oat	125	310	21	44	0.46
	Naruka	1	b	6.00	4.90	1,000	59	5.9	108	12.8	11.9	191	32	16.8	4.40	0.59	13.4	Sugar beet	37	420	18	71	0.72
	Kagawa	1	b	6.20	5.05	1,060	47	4.4	94	8.2	8.7	204	37	18.1	5.00	0.49	9.8	Potato	50	370	60	67	0.94
																		Oat	43	120	15	48	0.62
	Kagawa	1	b	5.75	4.60	775	40	5.2	90	25.0	27.8	169	25	14.8	3.25	0.74	22.8	Pole bean	57	270	16	76	0.65
	Kagawa	1	b	6.05	5.00	1,350	41	3.0	104	26.0	25.0	184	11	6.0	4.75	0.86	18.1	Sugar beet	37	880	17	59	1.45
	Kagawa	1	b	5.70	4.75	1,200	19	1.6	90	13.5	15.0	175	21	12.0	4.75	0.60	12.6	Potato	40	370	530	90	1.16
																		Oat	15	85	7	27	1.60
Sobetsu	Kamikubonai	1	a;b	5.55	4.80	1,250	25	2.0	97	7.5	7.7	134	24	17.9	5.00	1.05	21.0	Potato	17	600	30	72	0.92
	Bankei	1	a;b	6.30	5.25	750	49	6.5	70	8.3	11.9	163	22	13.5	4.00	0.49	12.3	Pole bean	15	490	9	74	0.94
		2	a;b	6.50	5.30	975	46	4.7	70	3.9	5.6	228	30	13.2	3.60	0.70	19.4						
	Bankei	1	a;b	6.30	5.10	975	42	4.3	66	7.0	10.6	170	15	8.8	4.00	0.48	12.0	Potato	27	470	20	78	1.40
	Kubonai	1	a;b	5.70	4.95	1,100	30	2.7	61	7.0	11.5	175	35	20.0	2.00	0.50	25.0	Potato	190	460	115	62	0.95
	Kubonai	1	a;b	6.10	4.80	1,100	32	2.9	47	7.0	14.9	120	23	19.2	3.25	0.62	19.1	Sugar beet	130	340	11	51	0.83
Average						1,071	42	4.0	81	10.0	12.2	168	25	15.0	4.12	0.59	15.5	Potato average	59	502	172	64	1.26

微量元素の分布に関する研究

析定量結果を Table 2 に示す。

これによると洞爺湖を介して有珠岳と反対方面にある虻田町花和、洞爺村成香、香川の有珠系火山灰 b 層の地帯では、全 Cu 含量は平均 96 ppm にも達することがわかった。また全 Zn 含量は 178 ppm に達し、有珠系火山灰土壌平均の 168 ppm より高かった。

この有珠系火山灰全地帯の馬鈴薯の Fe 含量は沖積土とはほぼ同様で平均 502 ppm あり、Cu 含量は平均 172 ppm であった。しかしながらこの Cu 含量は有珠系火山灰 b のみでみると、ほとんどが 100~530 ppm の範囲に入り、平均は 280 ppm の高含量になることがわかった。このような馬鈴薯の Cu 含量は同一気象条件、および肥培管理で栽培された長流川沖積土や有珠系火山灰 a の馬鈴薯にはまったくなく、その Cu 含量は 10~20 ppm の範囲であった。

また馬鈴薯以外の作物で、このようにいちじるしい差はみられず、有珠系火山灰 b の土壌と馬鈴薯の間にある最も顕著な特徴であった。

なお、全含量に対する可溶性含量は Mo と Zn がほぼ 15%、Cu は 12%、Mn は 4% であり、Mn を除いた各要素の可溶率は比較的均一であった。

3. 樽前系火山灰土壌における微量要素含量

樽前系火山灰土壌は胆振東部地域の大部分の地帯に分布しているが、その生産力は一般に低い。この原因としては化学的なものばかりでなく、その物理的特性に基因することも少なくない。

この土壌の調査点数は、ほかの土壌に比べて少なかったが、それらより得られた結果を Table 3 に示す。

この結果、土壌の全 Cu 含量の平均は洞爺村および虻田町の有珠系火山灰 b 層のほぼ 2 分の 1 の 50 ppm 程度であった。

Mn の全含量はさきに述べた 2 つの土壌系統と大差ないが、易還元性 Mn 含量は低く平均 25 ppm であった。この値は沖積土の 4 分の 1、有珠系火山灰土壌の約 2 分の 1 程度であり、その差が大きい。また馬鈴薯の Mn、Fe、Cu 含量は沖積土や有珠系火山灰土壌からみていちじるしく低い傾向にあった。

4. その他の土壌（沖積土および火山灰土以外の土壌）における微量要素含量

沖積土および火山灰土壌以外の土壌で調査対象となったものは、伊達町北黄金の洪積土、豊浦町の洞爺ロームおよび大滝村の羊蹄ロームと崩積土である。これらの土壌地帯は気象条件も悪く、土壌自体の生産力も低い。

得られた分析結果を Table 4 に示す。

これによると Mn 含量は特に目立つものはないが、全 Cu 含量は洞爺ローム以外はほとんど 50 ppm 以下であり、大滝村で採取した土壌を除いては Cu および Mo の可溶率がいずれも 10% 以下であった。したがって Cu の可溶性含量は、ほかの土壌に比較して最も低い値を示した。

5. 各土壌の全含量と可溶性含量の関係、およびその特徴

Table 1~4 に示した各土壌の全含量と可溶性含量についてその平均値、標準偏差および変異係数を求めた。結果を Table 5 に示す。

これによると Mn の全含量は各土壌間差が小さく、いずれも 1,000 ppm 内外であった。

しかし可溶性 Mn は土壌別の差が大きく、その含量水準は沖積土が最も高く、火山灰土壌は低かった。とくに樽前系火山灰土壌の可溶性 Mn は最低であった。すなわち沖積土は平均 105.5 ppm、洪積土は平均 67.7 ppm あるのに対し、有珠系火山灰土壌は 41.6 ppm、樽前系火山灰土壌は 25.4 ppm であった。また全 Mn 含量の変異係数は 20% 以下であったが、可溶性 Mn 含量の変異係数はいずれも 45% 以上あって、いちじるしいものは 71% に達した。このような可溶性含量は土壌により、あるいは土壌の来歴や管理等の条件によってきわめて異なることがうかがえた。

Cu の全含量は Mn と異なった傾向を示した。

すなわち有珠系火山灰土壌は最も高く平均 81 ppm であり、ついで沖積土は平均 67 ppm であったのに対し、樽前系火山灰土壌およびその他の土壌（洪積、崩積、ローム）は 50 ppm 程度であった。全含量の変異係数は各土壌とも差がなく、20% 前後であった。可溶性 Cu 含量は有珠系火山灰土壌が最も高く平均 10 ppm あり、沖積土および樽前

Table 3 Comparison of contents of elements in plant and Tarumae-volcanic ash soil with available elements of soils

Town	Sampling location	Horizon	Series	pH		Determination of elements in soil: ppm												Plant elements: ppm					
				H ₂ O	KCl	Mn			Cu			Zn			Mo			Plant	Mn	Fe	Cu	Zn	Mo
						T	A	%	T	A	%	T	A	%	T	A	%						
Oiwake	Nakaabira	1	a	7.00	5.65	1,200	11	0.9	50	9.0	18.0	118	27	22.9	5.00	0.40	8.0	Oat	63	214	5	38	trace
	Nakaabira	1	a	6.10	5.35	1,475	7	0.5	43	4.5	10.5	108	31	28.7	10.30	0.70	6.8	Red clover	20	244	13	62	0.21
	Akeshunbe	1	a	6.50	5.75	1,150	30	2.6	65	7.8	12.0	138	43	31.2	4.00	0.48	12.0	Sugar beet	93	270	12	54	0.10
	Akeshunbe	1	a	5.95	5.45	975	13	1.3	69	13.8	20.0	129	18	14.0	4.40	0.32	7.3	Potato Oat	17 5	317 146	17 10	68 51	0.90 1.54
	Akeshunbe	1	a	5.95	5.25	975	17	1.7	60	15.5	25.8	130	28	21.5	4.40	0.76	17.3	Red clover	5	152	12	64	1.40
Mukawa	Shiomi	1	b	6.60	5.90	975	30	3.1	36	2.0	5.6	148	17	11.5	5.00	0.48	9.6	Sugar beet	125	250	5	41	0.75
		2	c	6.25	5.60	600	25	4.2	39	1.9	4.9	140	20	14.3	4.40	0.40	9.1						
	Shiomi	1	b	7.05	6.75	700	50	7.1	38	2.8	7.4	174	20	11.5	4.00	0.40	10.0	Oat	53	104	3	59	0.57
Tomakomai	Kashiwabara	1	a	5.90	5.20	1,015	58	5.7	43	1.8	4.2	167	27	16.2	4.40	0.34	7.7	Orchard grass Timothy	37 20	135 110	5 4	50 34	0.80 0.43
		2	b	6.55	5.60	1,425	10	0.7	46	2.4	5.2	181	17	9.4	4.00	0.54	13.5						
		3	b	6.45	5.25	1,065	7	0.7	48	8.1	16.9	168	24	14.3	12.50	0.46	3.7						
		4	b	6.55	5.70	1,525	20	1.3	50	7.8	15.6	148	24	16.2	7.75	0.22	2.8						
	Kashiwabara	1	a	6.35	5.45	1,325	13	1.0	44	6.0	13.6	134	23	17.2	2.87	0.30	10.5	Potato	7	305	12	60	2.17
Average						1,088	25	2.7	50	7.0	13.0	138	26	21.0	4.93	0.46	9.9	Potato average	12	311	15	64	1.54

微量元素の分布に関する研究

Table 4 Comparison of contents of elements in plant and soil (not alluvial and volcanic ash) with available elements of soils

Town	Sampling location	Soil type	Horizon	pH		Determination of elements in soil: ppm												Plant elements: ppm					
						Mn			Cu			Zn			Mo			Plant	Mn	Fe	Cu	Zn	Mo
				H ₂ O	KCl	T	A	%	T	A	%	T	A	%	T	A	%						
Date	Kitakogane	Diluvial	1 2	6.65 6.40	5.70 5.64	1,012 1,260	48 115	4.7 9.1	50 38	1.6 1.3	3.2 3.4	167 183	19 50	11.4 27.3	4.75 4.00	0.38 0.16	8.0 4.0	Oat Sugar beet Red clover Potato	33 15 17 38	190 256 330 550	5 10 14 12	24 54 40 45	0.87 1.00 2.25 1.04
Ōtaki	Ueno	Yotei loam	1 2	6.25 6.05	5.40 5.60	1,125 1,125	31 81	2.8 7.2	43 31	5.5 1.5	12.8 4.8	160 162	18 30	11.3 18.5	6.75 5.00	0.60 0.20	8.9 4.0	Potato	47	190	420	37	1.75
	Kiyohara	Yotei loam	1 2	6.80 5.45	6.25 4.85	1,150 1,000	47 9	4.1 0.9	51 42	1.6 0.8	3.1 1.9	158 154	25 20	15.8 13.0	4.00 1.37	0.64 0.27	16.0 19.7	Orchard grass Oat	100 25	320 120	7 9	22 36	0.87 3.55
	Hongo	Fan-Detritus	1 2	5.00 5.90	4.60 5.05	975 970	33 10	3.4 1.0	44 54	6.5 3.7	14.8 6.9	220 130	20 11	9.1 8.5	4.00 2.12	0.54 0.53	13.5 25.0	Potato Red clover Orchard grass	30 40 470	690 650 230	9 15 15	66 48 28	0.58 1.45 1.10
	Takaoka	Toya loam	1	5.50	4.70	825	62	7.5	60	3.5	5.8	183	33	18.0	3.50	0.35	10.0	Sugar beet	67	660	7	45	1.45
	Kamiizumi	Toya loam	1	6.65	4.70	825	130	15.8	72	3.9	5.4	203	34	16.7	5.37	0.40	7.4	Potato Oat	27 47	290 105	68 4	46 15	0.80 1.22
	Miwa	Toya loam	1	5.00	4.40	1,050	123	11.7	49	4.8	9.8	174	23	13.2	4.75	0.76	16.0	Potato	10	490	72	73	0.36
Average						995	68	7.1	53	3.9	7.8	181	25	13.6	4.73	0.52	11.4	Potato average	30	442	116	53	0.91

Table 5 Comparison on the contents of microelements (total and soluble) in surface soil on various soils

Kinds of soils	Elements	Number of samples	Total content					Soluble content				
			Average (ppm)	Range (ppm)		Standard deviation (ppm)	Coefficient of variation %	Average (ppm)	Range (ppm)		Standard deviation (ppm)	Coefficient of variation %
				Maximum	Minimum				Maximum	Minimum		
Alluvial soils	Mn	14	1,029.2	1,640	725	207.5	20.1	105.5	228	26	63.2	59.9
	Cu	14	67.1	94	38	15.5	23.0	6.8	11.5	3.3	2.5	36.7
	Zn	14	158.5	228	100	40.5	25.5	22.8	38	14	6.2	25.5
	Mo	14	4.09	5.10	2.50	0.67	16.3	0.70	1.02	0.40	0.22	31.3
Volcanic ash soil (Usu)	Mn	20	1,071.3	1,350	750	181.1	16.9	41.6	90	16	19.0	45.1
	Cu	20	81.4	110	47	17.7	21.7	10.0	26.0	5.0	5.8	58.0
	Zn	20	167.6	205	120	21.8	13.0	25.0	44	11	9.5	38.0
	Mo	20	4.12	6.74	2.00	1.13	27.4	0.59	1.05	0.30	0.18	30.5
Volcanic ash soil (Tarumae)	Mn	9	1,078.8	1,475	700	228.1	20.9	25.4	58	7	18.1	71.2
	Cu	9	49.8	69	36	12.0	24.0	7.0	15.5	1.8	5.0	71.2
	Zn	9	138.4	174	108	21.4	15.4	26.0	43	17	11.2	43.0
	Mo	9	4.93	10.30	2.87	2.11	42.7	0.46	0.76	0.30	0.16	34.7
Other soils (not alluvial and volcanic ash soils)	Mn	7	994.6	1,150	825	130.0	13.0	67.7	130	31	41.5	61.2
	Cu	7	52.7	72	43	10.1	19.2	3.9	6.5	1.6	1.9	47.6
	Zn	7	180.7	220	160	23.1	12.7	24.6	34	18	6.9	28.0
	Mo	7	4.73	6.75	3.50	1.09	26.7	0.52	0.76	0.35	0.15	28.8

系火山灰土壌は7 ppmあったのに対し、洪積土やローム質土壌はその約2分の1の3.9 ppmであった。可溶性 Cu 含量の変異係数は各土壌とも Mn 同様に高く、とくに樽前系火山灰土壌は最も高かった。

Zn は全含量、可溶性含量とも土壌間差が小さく、またほかの要素に比べて変異の幅が小さかった。

Mo は Zn と同様に変異係数の小さい要素であった。この全含量は沖積土、有珠系火山灰土壌とも4.1 ppm程度で、これは洪積土やローム質土壌の平均値の4.7 ppmに比較してやや低い値である。しかし可溶性 Mo 含量は沖積土、有珠系火山

灰土壌の平均値0.6~0.7 ppmであって、樽前系火山灰土壌や洪積土などの0.5 ppm程度より逆に高く、可溶性の高い土壌であることがわかった。

6. 各要素の土壌中の全含量と可溶性含量、および可溶性含量と作物体含量の相関関係
さきに示した資料に基づき、それぞれの相関係数を求めて得られた結果を Table 6 に示した。

この結果、土壌の全含量と可溶性含量の間には樽前系火山灰土壌の Mn (-0.648*), Cu (0.845**) のそれぞれに高い相関があり、統計的に有意な差が認められたが、そのほかの土壌においては明らかな関係はみられなかった。また各要素別にも特定の相関関係の有意な傾向は得られなかった。

Table 6 Relation of between total and soluble, between soluble and plant contents of microelements

Kinds of soils		Correlation coefficient									
		Between total and soluble content					Between soluble and plant content				
		Number of samples	Mn	Cu	Zn	Mo	Number of samples	Mn	Cu	Zn	Mo
Alluvial soils		14	0.437	0.433	-0.101	-0.180	7	0.063	0.064	0.167	0.657
Volcanic ash soils	Usu	20	-0.195	0.054	0.225	-0.070	11	-0.315	0.838**	0.001	-0.220
	Tarumae	9	-0.648*	0.845**	-0.276	0.594	—	—	—	—	—
Other soils (not alluvial & volcanic soils)		7	-0.436	-0.289	0.289	0.193	5	-0.765	0.317	0.006	-0.228

* Significant at 5 per cent level. ** Significant at 1 per cent level.

作物体（馬鈴薯）含量と土壌の可溶性含量の関係は有珠系火山灰土壌の Cu においてのみ高い相関（0.838**）が認められた。沖積土の Mo はかなり高い正の相関を示したが、統計的に有意な差はなかった。ほかのものについては明らかな関係は認められなかった。

IV 論議および考察

1. マンガン

各土壌別に最も変異の少ないのが全 Mn 含量である。それにもかかわらず、可溶性 Mn は土壌によって、また環境によって変化するため、上下間の差が最も大きく、とくに樽前系火山灰土壌は顕著であって作物含量へもその影響が現われている。

作物の Mn 欠乏発生は各作物によって、またはほかの要素との平衡状態によって一定ではないが、その欠乏発生の限界が易還元性 Mn で 40~50 ppm 以下⁷⁾とするならば、樽前系火山灰土壌は大半が欠乏発生可能な状態にある。さらに激甚な欠乏症は 20 ppm 以下になると発現するとされているが、樽前系火山灰土壌の場合、半数はこの領域に入る。易還元性 Mn 含量は、有珠系火山灰土壌の多くは 50 ppm 付近であり、20 ppm 以下の状態にあるのはきわめてまれで、その変異の幅はほかの土壌に比べて最も低い。易還元性 Mn から判断するかぎりでは樽前系火山灰土壌が最も欠乏しやすい状態にあると考える。

作物体（馬鈴薯）の平均の Mn 含量は有珠系火山灰土壌地帯のものが最も高く 59 ppm あり、洪積土およびその他の土壌は 30 ppm、沖積土は 23 ppm であり、樽前系火山灰土壌は 12 ppm であった。これは易還元性 Mn と同様に樽前系火山灰土壌地帯が最低の含有量を示した。

作物体の Mn 含量はさきに指摘したような理由から、どの程度が適量となるか不明であるが、蛇紋岩質土壌や安山岩質沖積土で生育した馬鈴薯の平均値は 130~160 ppm¹⁰⁾ あったが、これに比較すればいずれもかなり低い含量であった。

2. 植物体の鉄の含量

土壌における Fe の含量は定量しなかったが、

馬鈴薯の Fe 含量の平均値は沖積土で 530 ppm、有珠系火山灰土壌の場合は 502 ppm、樽前系火山灰土壌は 311 ppm、沖積土および火山灰以外の土壌では 442 ppm であった。馬鈴薯における Fe 含量の範囲は 190~780 ppm の間にあって、同一土壌での偏差はきわめて少ない。

それ故沖積土、有珠系火山灰土壌、樽前系火山灰土壌 3 者のうち前 2 者が類似した含量水準であるのに対し、樽前系火山灰土壌ではそれより一段と低い含量の範囲にあった。

馬鈴薯以外の植物の Fe 含量も含めて、蛇紋岩質土壌で観察された¹⁰⁾ 1,000 ppm 以上の高含量のものはなかった。

3. 銅 含 量

Cu の全含量は有珠系火山灰土壌が最も高く、樽前系火山灰土壌が最も低いことが明らかとなった。これらの土壌で最も高いのは 110 ppm あり、最低は 36 ppm である。一般の土壌の全 Cu 含量は調査研究の報告がきわめて少なく、この調査の結果と比較することはできないが、普通の壤土で平均 25~60 ppm、砂土では平均 3~15 ppm 程度とされている¹⁵⁾。これに比べ、当地方における沖積土および有珠系火山灰土壌はかなり高含量に属することになる。とくに有珠系火山灰土壌は 0.1 N HCl 可溶含量も高く、平均 10 ppm の含量になる。胆振地方の可溶性 Cu 含量の分布範囲は 1.6~26.0 ppm にあり、全 Cu 含量に比較して土壌による変異が大きい。

一般の作物体の Cu 含量はいずれも 100 ppm 以下であるのに対し、有珠系火山灰 b 地帯の馬鈴薯のみ高含量を示した。その含量は 60~530 ppm の広い範囲におよび、平均 280 ppm の高含量であった。このような高 Cu 含量は蛇紋岩質洪積土と硫酸ニッケルを添加した沖積土の馬鈴薯で 300 ppm に近い値が観察されたが¹⁰⁾、ほかの作物や一般の土壌ではほとんど観察されない。また高 Cu 含量の馬鈴薯はいずれも外観上障害がなく、生育はいずれも良好であった。それ故 Cu 過剰による障害は考えられず、またこの高含量の原因についても明らかでない。0.1 N HCl 可溶の Cu 含量と植物体（馬鈴薯）Cu 含量との相関は有珠系火山灰土壌

において特異的に高い相関係数 (0.838**) を示した。このような関係はほかの土壤にない (樽前系火山灰土壤は点数が少ないため不明)。

土壤の全 Cu 含量と可溶性含量の間にみられる相関関係は樽前系火山灰土壤のみ特異的に高い相関関係 (0.845**) が認められる。しかしほかの土壤にはほとんど認められず、なかには負の相関を示すものもあった。それ故全含量から可溶性含量を判断したり、または植物体の含量まで推定することは以上のような方法では不可能であると考えられる。

4. 亜鉛含量

Zn は全含量、可溶性含量とも土壤別に特異な差がない。各種土壤の全 Zn 含量は 100~228 ppm の範囲にあって、一般に Cu より分散度が低い。各種の土壤の可溶性含量は 11~44 ppm の範囲にあって、10 ppm 以下のものはなかった。

なお全含量と可溶性含量、可溶性含量と植物体含量の間の相関関係はいずれの土壤でもみられなかった。

5. モリブデン含量

全 Mo 含量は 2.00~10.30 ppm の範囲であるが、平均値の土壤別差はほとんどなく、4.1~4.9 ppm の範囲である。この含量水準は比較すべき報文が数少ないので明白でないが、山崎ら¹⁰⁾や外国における分析例¹¹⁾などと比較すると、その含量は中位かやや高い値であると考えられる。

可溶性 Mo は全含量の平均値が最も低かった沖積土が最も高く、0.40~1.02 ppm の範囲で平均 0.7 ppm を示した。有珠系火山灰土壤はややこの値に近い。ほかの土壤は 0.30~0.76 ppm の範囲内であって、平均は約 0.5 ppm である。この含量を既往の報文に比較すると、全国の桑園土壤を広範にわたり分析して得た可溶性 Mo (抽出法同じ) の平均値は 0.31 ppm¹²⁾であって、胆振地方で認められた作土の最低の含量と同様であった。したがって、この比較による限り、当地方の可溶性 Mo 含量はかなり高い値であると考えられる。

沖積土の全含量に対する可溶性含量の割合は平均 18% であって最も高い。また生産力が高い土壤として知られている有珠系火山灰土壤はこの沖積

土に比較的近い可溶率を示している。

なお、全含量と可溶性 Mo、可溶性 Mo と植物体 Mo の間における相関関係はいずれも低く、有意な関係は認められなかった。それ故土壤のみ、または植物体のみの分析によって、その各々の含量を推定することは困難であると考えられる。

6. 総括論議

本研究をとおし、当面の問題としてつぎの2つの点をあげることができる。

第一は要素の植物体に有効な形態のものを確実に抽出する方法が確立されていないことである。このことはさきにあげた結果から明らかなように、植物の種類によって、または土壤によって大きな差があるから、事例ごとにその内容について検討しなければならないことを意味しているであろう。しかし、本調査のごとく広範囲にわたって多数おこなう場合は、分析過程において煩雑な操作を導入することは避けなければならない。また操作が複雑になることは非能率的になるばかりでなく、誤差の入る確率が高く、個人差を増大する可能性が大きい。これらの研究が数少ない現在、研究成果を比較検討するためにもこのような障害はできるだけ除去する必要がある、共通な操作と再現性の高い方法が望まれる。

第二は、一般に全含量に比較し、可溶性含量の変異が大きく、特に Cu と Mn の変異係数は 71% にまで達することから、土壤の環境によって、あるいは土壤管理などの差によって可溶性含量差が生ずると考えられるから、分析試料の採取地点のわずかのずれによってその内容が異なったものになる可能性が大きい。したがって試料採取にあたっては採取地点の任意な選択と、多数の試料を取り扱うことによって、このような欠点を補うように努めなければならない。

今回の結果について、各要素と pH の関係に対しふれなかったが、一般に植物の Mn 含量は pH の低下にともなって増大¹³⁾し、また Mo は逆に低下する¹⁴⁾ことが知られている。本調査でも一部においてこの傾向がみられるが、この問題は今後の研究課題にしたい。

V 摘 要

1. 全 Mn の含量は725から1,640 ppm の範囲にあった。可溶性 Mn (0.2% Hydroquinone を含んだ 1N ammonium acetate 溶液) は7から228 ppm まであり、その可溶性 Mn の平均値は沖積土が最も高く、樽前系火山灰土壌の可溶性 Mn は最低であった。全含量に対する可溶性 Mn の割合は0.5から21.9%の範囲であった。また作物体(馬鈴薯)の Mn 含量は7から223 ppm の範囲におよんだ。

2. Cu の全含量は31から110 ppm の範囲であった。また平均値では有珠系火山灰土壌が最も高く、樽前系火山灰土壌は最も低かった。

可溶性 (0.1N HCl 溶液) Cu は0.8から26.0 ppm の範囲であった。作土における可溶性 Cu は有珠系火山灰土壌が最も高く、沖積はこれについて高い含量であった。馬鈴薯の Cu 含量の範囲は5から530 ppm にわたり、有珠系火山灰 b の土壌の値は例外的に高いことが見いだされた (60 ppm <)。

3. 全 Zn 含量は100から280 ppm の範囲であって、可溶性 Zn (0.1N HCl 溶液) は11から50 ppm の範囲であった。馬鈴薯の Zn 含量は36から90 ppm の範囲であった。Zn 含量の変異はほかの要素に比べ、各土壌とも低かった。

4. 全 Mo 含量は1.37から12.50 ppm の範囲にあって、可溶性 Mo (GRIGG 法) は0.16から1.02 ppm の範囲であった。馬鈴薯の Mo は0.36から2.74 ppm の範囲であった。沖積土と有珠系火山灰土壌は Mo 含量の変異が少なく、また可溶率は樽前系火山灰土壌に比べて高かった。

5. 各要素の全含量の変異係数は比較的低いにもかかわらず、可溶性 Cu と Mn は Mo に比べて高く、とくに樽前系火山灰土壌はいちじるしく高かった (71.2%)。

6. 全含量と可溶性含量の相関は樽前系火山灰土壌における Cu (0.845**) と Mn (-0.648*) の間に統計的に有意な関係がみられた。ほかの要素では明白な関係は認められなかった。

7. 馬鈴薯の含量と可溶性含量の相関係数は有珠系火山灰土壌の Cu のみ統計的に有意であっ

た。ほかの土壌では明らかな関係がみられなかった。

引用文献

- 1) 青木茂一, 山本有彦, 1960-a; 土壌ならびに植物中のモリブデンに関する研究 (第2報), 桑園土壌中の可吸態 Mo 含量 (その1), 土肥誌, 31: 7~11.
- 2) ———, ———, 1960-b; 土壌ならびに植物中のモリブデンに関する研究 (第3報), 桑園土壌中の可吸態 Mo 含量 (その2), 土肥誌, 31: 339~342.
- 3) CHENG, K. L. & R. H. BRAY, 1953; Two specific methods of determining copper in soil and in plant material. Anal. Chem., 25: 655~659.
- 4) DAVIES, E. B., 1956; Factors affecting molybdenum availability in soils, Soil Sci., 81: 209~221.
- 5) DIXON, M. & E. C. WEBB, 1962; Enzymes, p. 672~785.
- 6) FURST, A., 訳, 大木幸介, 森川幸雄, 1965; 癌のキレート化学, 化学の領域, 19: 830~839.
- 7) 小林茂久平, 1956; 麦のマンガンをおよび鉄欠乏症と対策, 農及園, 31: 183~186.
- 8) 久保彰治, 1958; 実験化学講座, 15, 下, 分析化学, 植物体中のマンガンの(比色法), 日本化学会編, 丸善, 306~307.
- 9) 水野直治, 平井義孝, 小林莊司, 佐藤亮八, 増田敏春, 1967; 蛇紋岩質土壌に関する研究—作物の生育障害とその対策, 地力保全研究報告, 1.
- 10) ———, 1967; 北海道蛇紋岩質土壌の化学的特性に関する研究, 第2報, 土壌と植物中の亜鉛, 銅, マンガンおよび鉄含有量の差異, 道農試集, 16: 1~9.
- 11) PURVIS, E. R. & N. K. PETERSON, 1956; Methods of soil and plant analyses for molybdenum, Soil Sci., 81: 223~228.
- 12) SANDELL, E. B., 1959; Colorimetric Determination of Traces of Metals, p. 950~954.
- 13) WOLD, F. & C. E. BALLOU, 1957; Studies on the enzyme enolase, II Kinetic studies, J. Biol. Chem., 227: 313~328.
- 14) 山崎 伝, 山崎 寿, 連水和彦, 1960; 作物に対する微量要素としてのモリブデン (Mo) に関する研究 (第2報)—萎縮病桑樹に対する Mo 施用効果, 土肥誌, 31: 503~505.
- 15) ———, 1966; 微量要素と多量要素—土壌, 作物の診断・対策, 博友社.

Summary

In this report, each type of soil and plants were analyzed for their contents of microelements in the Iburi area of Hokkaido: alluvial soil, Usu-volcanic ash soil, Tarumae-volcanic ash soil, other soils (except that of alluvial and volcanic ash). The results were as follows.

1. Total manganese ranged between 725 to 1,640 ppm. Soluble manganese in 1 N ammonium acetate with 0.2% hydroquinone ranged from 7 to 228 ppm, while alluvial soil was the highest, and the lowest was Tarumae-volcanic ash soil. The soluble manganese to the total concentration fluctuated between 0.5 to 21.9 per cent. The potato plant's manganese content ranged from 7 to 223 ppm.

2. The range of total content of copper was 31 to 110 ppm. The Usu-volcanic ash soil was found to contain the highest value, and the Tarumae-volcanic ash soil was the lowest. Soluble (0.1 N HCl) copper ranged from 0.8 to 26.0 ppm. The highest soluble copper content in surface soil was found in the Usu-volcanic ash soil, and alluvial soil had the second highest content. The range of the potato plant's copper content was 5 to 530 ppm, and the value was exceptionally high (60 ppm<) on the Usu-volcanic ash soil-series b.

3. Total zinc ranged between 100 to 280 ppm, and soluble zinc (0.1 N HCl) ranged from 11 to 50 ppm. The zinc content in the potato plant ranged between 36 to 90 ppm. While the kind of zinc content different soil types was compara-

tively low.

4. Total molybdenum content ranged from 1.37 to 12.50 ppm, and soluble molybdenum (GRIGG's method) ranged from 0.16 to 1.02 ppm. The potato plant's molybdenum content ranged between 0.36 to 2.74 ppm. The difference of molybdenum content in alluvial and Usu-volcanic ash soil was small, while solubility was higher than Tarumae-volcanic ash soil.

5. The coefficients of variation of all elements were comparatively low, but copper and manganese which are soluble than molybdenum and especially Tarumae-volcanic ash soil showed the highest value.

6. As for the relation between total concentration of elements and soluble one, the correlation coefficient was high in copper (0.845**) and manganese (-0.648*) in the Tarumae-volcanic ash soil. As to other elements, showed no distinct relationship.

7. Concerning the relationship between the soluble concentration of elements in potato plants, the correlation coefficient was observed statistically significant only copper of Usu-volcanic ash soil.