

道央地帯の水田土壌における塩基，重金属 の分布と水稻成分含有率の関係

鎌田 賢一* 水野 直治*

Relationship between the Distribution
of Bases and Heavy Metals in Paddy Soils and the Concentrations of
These Substances in Rice Plants in the Central Region of Hokkaido

Ken-ichi KAMADA and Naoharu MIZUNO

北海道上川地域は熔結凝灰岩等を母材とした塩基飽和度50%以下の土壌が多いが，空知地域は比較的塩基に富んだ土壌や蛇紋岩母材の土壌が多い。これら土壌の母材や堆積物の影響を受けて，上川地域はCa，空知地域はMgの水稻体含有率が高い傾向を示した。水稻体のCa，Mg含有率と土壌のそれぞれの相対飽和度(Ca，Mg飽和度 / 全塩基飽和度)との間に正の相関があった。Kは土壌含量よりも水稻体含有率の差が小さく，従って水稻体含有率は土壌間差を反映しなかった。Mnは透水性の良い土壌ほど，土壌及び水稻体の含量が低い。土壌のFe含量はMnとほぼ同様の傾向にあった。土壌のZn，Cu，Co，Niなど重金属元素の含量はNi以外は土壌間差がなく，水稻体含有率も大差ない。土壌の P_2O_5 含量は相対的に富化の傾向にあったが，水稻体含有率との間に一定の傾向はなかった。水稻体 SiO_2 含有率は土壌の可給態含量との間に正の相関があったが，府県よりもやや低い値を示した。

緒 言

土壌は岩石圏の一部が水，風，生物の作用を受けた風化産物であるので，母材である岩石の種類によって土壌に含有される元素の種類，含量が異なる。いわゆる土壌中の元素のバックグラウンド(天然賦存量)は土壌によって相異なる。

更に，農耕地土壌は森林土壌や原野などの未耕地土壌とちがい，長年月に亘って人為的作用が加えられたものであり，中でも水田土壌はその攪乱が極めて烈しいばかりでなく多量のかんがい水を使用し，又水田という立地条件のため集水の間となって他からの地表水の影響をも受ける特殊な条

件をもっている。このため水田土壌では物質の天然賦存量が集積する方向にある。しかし一方では，多量の浸透水によって養分の地下流亡があり，また作物が吸収して土壌系外に運び出される。この多量の水の動きによる集積と損失の均衡によって水田土壌中の天然賦存量が定まるものと考えられる。

この集積と損失の度合は，土壌の種類即ち土壌のもつ化学性，物理性，生物性などが主因となる土壌の特性によって異なる。又，水田土壌は地質母材の他に堆積様式(残積，崩積，河成，海成沖積など)，地下水の高低，気候などの諸条件や農作業形態などの影響によりその諸性質が異なる。この様に土壌は一様なものでないため，土壌中の物質含量やその挙動は明らかに土壌の種類によって相違する。

又，水稻はたん水された水田で栽培され，その

1979年12月11日受理

* 北海道立中央農業試験場(夕張郡長沼町)

生理生態や養分吸収特性は一般畑作物と明らかに異なっており、且、その吸収する養分濃度は畑作物に比してCa, Mgなどの含有率が低く、Si含量の多いのが特徴的である。更に、これらの養分濃度および吸収量は同じ水稻体でも生育時期、収量水準によってかなり変動する。

以上の様な観点から、水田土壌の種類、土壌母材の相違による塩基、重金属元素の分布と水稻体成分含有率の関係をみるため、1978年道央地帯の水田土壌（作土）及び同一地点の水稻体各33点を採取し、それぞれの成分含量を比較検討した結果を報告する。

試料採取方法

1. 土 壤

道央地域（上川14点、空知及び石狩19点）の水田土壌（作土）を収穫時に採取した。採取点数はグライ土8点（上川2点、空知、石狩6点）、灰色低地土11点（上川4点、空知、石狩7点）、褐色低地土4点（上川4点）、台地土5点（上川2点、空知、石狩3点）、泥炭土5点（上川1点、空知、石狩4点、すべて客土してある）で合計33点である。

2. 水稻体

収穫時に土壌を採取した圃場と同一な地点より水稻体を採取した。

分 析 方 法

1. 土 壤

全分析：過塩素酸、硝酸混液によって分解し、ろ液を一定容量にして各成分を分析した。Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Coは原子吸光法によって分析したが、そのうち、Caはアセチレン-亜酸化窒素による高温フラームを用いた。K, Naは炎光法によった。pH 7.0のIN酢酸アンモニウム抽出（以下、置換性という）：ショーレンベルガー法で常法どおり抽出し、各塩基を定量した。Bray II P_2O_5 ：土壌対抽出液を1対20で1分間振とう後、ろ液についてモリブデンブルー法で比色定量した。無機態 P_2O_5 の分別定量²⁾：各抽出液でCa型、Al型、Fe型の各 P_2O_5 を連続抽出し、モリブデンブルー法で比色定量した。遊離酸化鉄²⁾：浅見、熊田による $Na_2S_2O_4$ -EDTA法によった。易還元性Mn：常法によって分析した。可給態 SiO_2 ²⁾：pH 4.0 酢酸緩衝液で抽出し、比色定量した。C,

N：柳本製CNコーダーで分析した。粒径組成：常法によった。

2. 水稻体

水稻体を茎葉（以下、水稻体という）と玄米（1.8 mmの篩を通したもの）に分け、風乾粉碎後、これらを過塩素酸、硝酸混液で分解し、一定容量にしたろ液について P_2O_5 , K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Coの各成分を土壌の項で記した方法で分析した。水稻体の過塩素酸、硝酸混液分解液のろ過残渣は充分洗滌し、マッフル炉で灰化して重量を測定し SiO_2 とした。

結果および考察

1. 土壌の理化学成分

水田土壌は母材、堆積様式ならびに透水性の違いによってその理化学性を異にしており、とくに作土は長年にわたる耕起、代かきなどの農耕作業や肥料、有機物、土壌改良剤の施用等の人為的行為が加わっている。N, P_2O_5 , Kは肥料として毎年施用されており、一方、塩基類とくにCaや SiO_2 は土壌改良剤として適宜施用されているため、正確な比較は困難であるが、凡その傾向をみるために土壌別の値を示した。また、Fe, Mnや他の重金属元素は通常施用されないものであるから、それぞれ土壌別の比較が可能と思われる。

まず、供試水田土壌をグライ土、灰色低地土、褐色低地土、台地土、泥炭土の5種類に分け、それぞれの理化学性を表1に示した。

全土壌の粘土含量平均値は31.6%であるが、台地土、グライ土が多く、透水性の良い土壌ほど少ないという傾向にある。また、泥炭土の客土資材はやや粘質な土壌が多いことがうかがわれる。土壌pHは各土壌間で大差なく、 H_2O で5.5、KClで4.3程度である。CECは褐色低地土でやや小さい他は24~28meの範囲内にあった。CとN含量は泥炭土が多いが、台地上、褐色低地土は少ない傾向を示している。また、C/Nは11~16の範囲にあった。

つぎに、各土壌の塩基含量、塩基飽和度と SiO_2 含量を表2に示した。

土壌別に各塩基含量（全含量と置換性含量）を比較すると、台地土、褐色低地土はCa, Mg, Naが少なく、褐色低地土はさらにKも少ない傾向にあり、したがってこれら土壌の塩基飽和度は50%

表1. 各 土 壤 の 理 化 学 性

土 壤	n	$\bar{x}$ と C.V%	粘土 + シルト %	粘土 %	pH		C	N	C /N	CEC me
					H ₂ O	KC 1	%	%		
グライ土	8	$\bar{x}$ C.V	69.6 13.1	36.9 17.9	5.46 3.8	4.25 4.2	3.47 56.5	0.24 37.5	13.6 27.2	26.5 12.1
灰色低地土	11	$\bar{x}$ C.V	59.1 21.8	28.2 30.5	5.54 3.6	4.29 5.6	3.14 33.8	0.23 26.1	13.4 12.7	24.4 18.4
褐色低地土	4	$\bar{x}$ C.V	39.9 29.8	18.7 37.4	5.52 3.1	4.30 2.8	1.81 13.8	0.16 18.8	11.4 7.0	17.2 13.4
台 地 土	5	$\bar{x}$ C.V	75.5 10.2	39.4 17.8	5.36 2.2	4.06 5.4	2.56 29.7	0.17 23.5	14.8 10.8	24.0 10.4
泥 炭 土	5	$\bar{x}$ C.V	62.0 16.9	32.7 40.7	5.62 6.0	4.41 5.2	4.92 18.9	0.32 12.5	15.6 21.2	27.9 11.1
全 土 壤	33	$\bar{x}$ C.V	62.2 24.0	31.6 34.2	5.50 4.2	4.26 5.4	3.24 46.9	0.23 34.8	13.8 20.3	24.5 19.2
		最低値	20.9	8.2	5.14	3.74	1.41	0.12	10.3	13.7
		最高値	89.6	54.8	6.25	4.80	6.86	0.47	22.9	33.2

以下であった。全含量及び置換性含量の変動巾は Mg が他の塩基より大きい。SiO₂ 含量は泥炭土がやや高く、客土および土壌改良剤施用の影響によるものと推定されるが、他の土壌間では明瞭な差

はみられなかった。

つぎに、各土壌の P₂O₅、Fe、Mn 含量と形態別 P₂O₅ 含量割合を表 3 に、各土壌の重金属含量を表 4 に示した。

表2. 各土壌の塩基含量、塩基飽和度と SiO₂ 含量

土 壤	n	$\bar{x}$ と C.V%	全 含 量				置 換 性 含 量 ppm				塩基 飽和 度 %	可給 態 SiO ₂ ppm
			Ca %	Mg %	K %	Na ppm	Ca	Mg	K	Na		
グライ土	8	$\bar{x}$ C.V	0.51 29.4	0.74 50.0	0.69 40.6	272 52.2	2103 16.9	596 42.4	175 18.3	34 23.5	60.4 14.2	148 48.6
灰色低地土	11	$\bar{x}$ C.V	0.49 28.6	0.98 31.7	0.60 31.7	233 22.3	1845 37.5	482 55.0	182 47.3	25 16.0	55.4 23.1	130 35.4
褐色低地土	4	$\bar{x}$ C.V	0.41 48.8	0.58 36.2	0.49 30.6	226 47.8	1205 33.9	225 41.8	115 30.4	19 21.1	47.0 24.9	126 34.9
台 地 土	5	$\bar{x}$ C.V	0.34 26.5	0.36 30.6	0.53 32.1	197 29.4	1412 27.5	360 32.2	174 25.9	26 23.1	43.5 21.1	120 18.3
泥 炭 土	5	$\bar{x}$ C.V	0.59 32.2	0.64 48.4	0.54 50.0	357 47.1	2204 36.4	638 56.7	125 21.6	32 28.1	59.1 23.9	184 37.5
全 土 壤	33	$\bar{x}$ C.V	0.48 35.4	0.73 58.9	0.59 39.0	255 47.1	1822 35.7	484 58.1	162 38.9	28 28.6	54.4 23.9	140 42.1
		最低値	0.19	0.24	0.17	131	680	100	76	12	26.8	45
		最高値	0.93	1.47	1.07	665	3540	1280	380	48	77.4	289

表3. 各土壌の P_2O_5 , Fe, Mn 含量と形態別 P_2O_5 含量割合

土 壤	n	$\bar{x}$ と C.V%	P ₂ O ₅ ppm		無機態P ₂ O ₅ の形態 別割合 %			無機態 P ₂ O ₅ ppm 全 P ₂ O ₅ ppm	Fe %		Mn ppm	
			全 含量 BrayⅡ				全 遊離鉄 含量		全 易還元 含量 性			
				Ca型	Fe型	Al型						
グ ラ イ 土	8	$\bar{x}$ C.V	1987 623 27.3 36.0	4.0 44.9 55.1 25.0 27.6 22.5	0.81 16.0	3.8 0.91 21.1 29.7	721 336 44.4 52.1					
灰色低地土	11	$\bar{x}$ C.V	1936 662 30.2 22.7	4.4 30.9 64.7 22.7 19.7 9.1	0.94 21.3	3.4 0.63 20.6 31.7	564 201 32.1 39.3					
褐色低地土	4	$\bar{x}$ C.V	1622 701 23.5 31.2	5.8 28.8 65.4 20.7 17.0 7.5	0.99 21.2	3.0 0.47 10.0 42.6	513 203 22.2 30.0					
台 地 土	5	$\bar{x}$ C.V	1385 554 22.3 26.9	4.2 38.4 57.3 50.0 24.7 13.6	0.90 7.8	3.5 0.87 28.6 36.8	581 263 69.2 83.3					
泥 炭 土	5	$\bar{x}$ C.V	1846 556 37.3 23.4	4.1 32.8 63.1 26.8 28.0 13.0	0.99 23.2	3.3 0.66 24.2 28.8	473 178 43.3 42.1					
全 土 壤	33	$\bar{x}$ C.V	1813 625 31.9 29.6	4.4 35.5 60.1 31.8 30.1 17.0	0.92 20.7	3.4 0.72 23.5 38.9	586 240 46.9 61.3					
		最 低 値	961 308	1.1 21.5 24.0	0.58	2.1 0.14	240 59					
		最 高 値	3320 1077	7.2 71.6 74.6	1.00	5.4 1.39	1332 688					

表4. 各土壌の重金属含量

土 壌	n	$\bar{x}$ と C.V%	全 含 量 ppm			
			Zn	Cu	Ni	Co
グ ラ イ 土	8	$\bar{x}$ C.V	99 13.1	24 16.7	75 61.3	27 18.5
灰色低地土	11	$\bar{x}$ C.V	98 12.2	27 18.5	104 87.5	26 38.5
褐色低地土	4	$\bar{x}$ C.V	91 16.5	27 18.5	39 33.3	21 14.3
台 地 土	5	$\bar{x}$ C.V	93 12.9	20 15.0	46 28.3	27 29.6
泥 炭 土	5	$\bar{x}$ C.V	87 19.5	22 18.2	84 63.1	23 13.0
全 土 壌	33	$\bar{x}$ C.V	95 14.7	24 20.8	77 85.7	25 32.0
		最低値	68	13	28	16
		最高値	118	34	330	39

先づ、たん水による土壌還元の進行によって形態変化するFe, P_2O_5 とMnについてみると、Feは全鉄（以下、T-Feという）、遊離酸化鉄とも透水性の不良なグライ土、台地土が高い傾向にあった。土壌別の P_2O_5 含量では、全 P_2O_5 （以下、T- P_2O_5 ）、Bray II P_2O_5 とも台地土がやや低かった。

志賀¹³⁾は水田土壌のリン酸肥沃度について、寒冷地においては大体 Bray II の P_2O_5 は 220～400 ppm の肥沃度が比較的安全で効率の良い水準であるとしている。この値と比較すると、各土壌ともすべて上廻っており、肥沃度の高い土壌が多いといえる。

更に土壌別による無機態 P_2O_5 の形態についてみると、Al型 P_2O_5 が最も多く、次いでFe型 P_2O_5 、Ca型 P_2O_5 の順であり、しかも遊離酸化鉄とFe型 P_2O_5 、置換性CaとCa型 P_2O_5 の各含量の間にはそれぞれ正の相関があり ($r=0.609^{***}$, 0.476^{**})、土壌中のFe, Ca含量とそれぞれの P_2O_5 形態の間には密接な関係があることが認められた。すなわち、透水性の良好な土壌ほどFeが下層への移動、沈積が起って少なくなることも推定され、それに伴って無機態 P_2O_5 中に占めるFe型 P_2O_5 が減少し、相対的にAl型、Ca型の P_2O_5 が増加するものと考えられる。三宅⁸⁾はBray II 法を風乾土に適用すると、Ca型 P_2O_5 またはFe型 P_2O_5 の多い土壌の可給態 P_2O_5 を過大評価し、Fe易動度の大きい土壌を過少評価すると報告しているが、それでも土壌別の凡その比較は可能と思われる。遊離酸化鉄含量とBray II P_2O_5 /T- P_2O_5 の間には負の相関があり ($r=-0.703^{***}$)、グライ土、灰色低地土、褐色低地土の順に遊離酸化鉄が少なくなるにつれ

てその比は高くなる傾向にあった。Mnは全 Mn(以下, T-Mnという), 易還元性 Mnとも Fe とほぼ同様の傾向を示し, T-Mn と T-Fe, 易還元性 Mn と遊離酸化鉄の間にはそれぞれ正の相関が認められた ($r=0.763^{***}$, 0.586^{***})。

次に, 重金属元素についてみると, 全土壌の平均含量値では $Zn > Ni > Cu \approx Co$ の順であるが, その変動巾は Ni のみが極めて大きく, かつ土壌間差も大きく, グライ土, 灰色低地土, 泥炭土は他の土壌よりも多い。この原因は基本的に上流の地質, 母材の差異を反映しており, 著者の一人⁹⁾が報告しているように蛇紋岩質土壌は Ni や Mg 含量が多く, これらの混入している土壌が特異的に高くなっているという結果であろう。若月ら¹⁰⁾が全国の水田土壌(作土)の重金属含量を分析した結果と対比すると, Cu, Zn 含量がほぼ同程度であるが, Ni は上記の理由からほぼ3倍の高い値を示した。

水田土壌は畑土壌と違ってたん水状態のため, 土壌中の各成分も酸化還元の影響を受けやすい成分と受けにくい成分に分れよう。また, 土壌還元化の遅速や程度は基本的には易分解性有機物含有

量と酸化力 ($N \cdot Fe$ や Mn 等の含量) の相互関係でさる。土壌の Eh によって形態変化しやすい Fe や Mn は明瞭な一定の傾向を示し, 透水性の良い土壌ほどそれらの含量が減少している。また, 土壌中の Fe, Ca と Al の含量やその挙動によって影響を受ける P_2O_5 は, 透水性の良い土壌ほど Fe 型 P_2O_5 が減少し, Al 型, Ca 型の P_2O_5 割合が多くなる傾向を示した。しかし, 全般的に P_2O_5 含量は富化の傾向にあることが認められた。一方, 塩基や SiO_2 は比較的 Eh の変化によって影響を受けにくい成分であるが, 土壌別にみると塩基の種類によって若干の差異がみられ, 土壌母材や土壌改良剤の影響が推定された。可給態 SiO_2 は平均140ppm であり, 土壌別では泥炭土が客土の母材や土壌改良剤の影響でやや高い値を示した。土壌中の重金属元素は Ni 以外は各土壌間では特徴的な差が認められなかった。

2. 水稻体ならびに玄米の成分含有率

各土壌の水稻体ならびに玄米の成分含有率を表 5, 表 6 に示した。

表 5. 土壌別水稻体の成分含有率

土 壌	n	$\bar{x}$ と C.V %	%					ppm						
			SiO ₂	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Co
グ ラ イ 土	8	$\bar{x}$ C.V	9.2 20.7	0.28 25.0	2.39 5.4	0.27 14.8	0.17 17.6	267 39.7	447 34.2	1576 35.0	53 22.6	7.2 55.6	6.1 26.2	4.0 12.5
灰色低地土	11	$\bar{x}$ C.V	9.0 27.8	0.28 28.6	2.53 7.9	0.27 18.5	0.15 12.0	190 18.4	347 15.6	1057 41.0	50 34.0	6.2 46.8	6.0 26.7	3.9 20.5
褐色低地土	4	$\bar{x}$ C.V	6.3 22.2	0.29 10.3	2.49 10.0	0.34 14.7	0.14 14.3	250 8.8	373 30.8	1250 32.2	57 17.5	5.0 24.0	6.3 22.2	3.9 17.9
台 地 土	5	$\bar{x}$ C.V	7.1 19.7	0.21 19.0	2.25 8.0	0.32 3.1	0.15 26.7	204 18.6	380 15.3	1434 48.2	57 12.3	5.4 27.8	6.2 14.5	4.4 6.8
泥 炭 土	5	$\bar{x}$ C.V	7.3 17.8	0.29 34.5	2.40 7.5	0.29 13.8	0.16 18.8	290 32.4	394 19.5	948 51.3	50 30.0	5.5 38.2	5.6 16.1	3.8 10.5
全 土 壌	33	$\bar{x}$ C.V	8.2 26.8	0.27 29.6	2.43 8.6	0.29 17.2	0.15 20.0	233 33.9	386 27.2	1247 45.4	52 26.9	6.1 47.5	6.0 23.3	4.0 15.0
		最 低 値	4.2	0.14	1.99	0.21	0.09	130	235	430	29	2.0	4.0	3.2
		最 高 値	13.1	0.46	2.84	0.41	0.22	489	705	2620	79	15.6	10.0	5.5

水稻体の成分含有率は $SiO_2 > K > Ca \approx P_2O_5 > Mg > Na$ の順で SiO_2 含有率は最も高いが, その変動巾は K がとくに小さい。重金属元素含量は $Mn > Fe > Zn \gg Cu \approx Ni > Co$ の順であり, その変動巾では Mn, Cu が他の元素よりも大きい。一方玄米中

の成分についてみると, P_2O_5 を除いて水稻体よりも玄米の方が低く, しかも各成分とも水稻体より変動巾が小さい。その中で, Mn, Cu, Na は他の重金属元素よりも変動巾が大きい傾向を示した。

水稻体と玄米の各成分含有率を比較すると, P_2O_5

表6. 土壌別玄米の成分含有率

土 壤	n	$\bar{x}$ と C.V %	%		ppm						
			P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
グ ラ イ 土	8	$\bar{x}$ C.V	0.78 6.4	0.26 11.5	117 12.0	1153 5.6	14 32.9	13 5.4	31 25.8	19 10.0	3.0 23.3
灰色低地土	11	$\bar{x}$ C.V	0.79 6.3	0.24 4.2	107 6.5	1168 5.7	10 10.0	13 10.8	24 16.7	19 8.4	2.9 31.0
褐色低地土	4	$\bar{x}$ C.V	0.81 3.7	0.27 7.4	122 13.9	1196 5.0	10 13.0	12 15.0	27 18.5	19 5.8	2.2 36.4
台 地 土	5	$\bar{x}$ C.V	0.78 2.6	0.25 4.0	116 7.8	1132 3.4	11 19.1	14 7.9	30 36.7	19 15.3	3.3 21.2
泥 炭 土	5	$\bar{x}$ C.V	0.76 9.2	0.24 4.2	117 7.7	1181 11.9	11 12.7	12 14.2	22 22.7	20 8.5	2.5 24.0
全 土 壤	33	$\bar{x}$	0.78	0.25	114	1164	11	13	27	19	2.8
		C.V	6.4	8.0	10.5	7.0	25.5	11.5	29.6	10.0	28.6
		最 低 値	0.67	0.22	95	944	9	9	16	14	1.1
		最 高 値	0.89	0.31	147	1315	25	16	48	23	4.5

は玄米の方が高いのに対し、Mgは玄米の方がやや低く、他の塩基はさらに低い。

重金属元素は一般に作物の生育にとっての必要度合が小さいが、その含有率はMnが多く、ついでFe、Znの順であり、Cu、Ni、Coはごく微量であった。

以上のことから、水稻体の成分含有率の変動巾は玄米のそれよりも大きく、多量元素ではK以外の諸成分、また重金属元素では大部分の成分が大きい傾向にあった。また、水稻体と玄米の各成分含有率の間には、Mg、Mn、Cuがそれぞれ有意な関係にあった($r=0.351^*$, 0.902^{***} , 0.617^{***})。

3. 土壌の化学性と水稻体成分の関係

表7に水稻体成分と土壌の化学性の相関関係を示した。

Nは水稻の生育にとって必須な成分であるが、施肥量、施肥法によって変動するところがきわめて大きい成分なため、収穫跡地土壌のN含量と水稻体のN含有率の間には有意な関係がみられなかった。P₂O₅もN同様に土壌含量と水稻体含有率の間に有意な関係はみられなかったが、土壌、水稻体とも台地上の含量がやや低かった。

水稻体のMn含有率は土壌のT-Mnおよび易還元性Mn含量との間にそれぞれ正の相関があり、透水性の不良な土壌ほど水稻体のMn含有率は高いという傾向にある。水稻体のFe含有率と土壌の

表7. 水稻体の化学成分と土壌の化学性の関係

成分含量 (水稻体)	変 数 (土 壤)	相 関 係 数
Mn	易還元性Mn	0.732***
Mn	全 Mn	0.659***
Mn/Fe	全Mn/全Fe	0.637***
Mg	全 Mg	0.436*
Mg	置 換 性Mg	0.603***
Mg	Mg飽 和 度	0.637***
Na	全 Na	0.456**
Na	置 換 性Na	0.428*
Na	Na飽 和 度	0.513**
Ca	塩基飽和度	-0.461**
SiO ₂	可給態 SiO ₂	0.493**

T-Feおよび遊離酸化鉄含量の間には有意な関係がみられなかった。しかし、水稻体のFe含有率と水稻体含有率のMn/Feの間に負の相関($r=-0.455^{**}$)、水稻体のMn/Feと土壌(全含量)のMn/Feの間に正の相関があり、水稻体のFe、Mn吸収は拮抗関係にあることが認められた。したがって、泥炭土のように土壌のMn含量が少ないために水稻体のFe含有率が高くなるという傾向もみられた。一方、土壌中のFe、Mn含量を比較するとFeの方がMnより多いにもかかわらず水稻体の含有率は逆にMnの方が高い。水稻のFe吸収特性として、

生理的な面からの研究が報告されている¹¹⁾。土壌の面からみると、一般に水田土壌はたん水によって Eh が低下し、pH は上昇する。重金属元素は pH 上昇によって難溶化するが、その順序は $\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{Mn}$ である¹²⁾。このことから、土壌(土壌溶液)中の Fe は Mn よりも硫化物、炭酸塩や水酸化物等の難溶性物質を生成しやすい。したがって、水稻体の Fe 含有率が Mn のそれよりも低い一因として、たん水土壌中における Fe と Mn の難溶性物質生成の難易度が関与しているものと推定される。

塩基についてみると、水稻体の Mg, Na 含有率はそれぞれ土壌の全含量、置換性含量と正の相関がある。さらに水稻体の Mg と Na 含有率はそれぞれの塩基飽和度との間に正の相関がみられるのに対し、Ca, K は有意な相関がみられない。一方、水稻体 Ca 含有率と塩基飽和度との間には負の相関が認められたが、他の塩基は塩基飽和度との間に有意な相関がなかった。これらのことから、K は土壌中の含量差よりも水稻体含有率の差がきわめて小さく、土壌間差が水稻体に反映しにくいことが推定される。他の塩基は土壌間差が水稻体含有率に反映しており、塩基飽和度の小さい褐色低地土、台地土の水稻体 Ca 含有率が高く、Mg 含有率はやや低い傾向を示した。

Zn, Cu, Ni, Co などの重金属元素は水稻の生育にとって必要度が小さい元素であり、また土壌別にも大差ないことから、各土壌とそれぞれの水稻体含有率の間には有意な傾向は殆んどみられなかった。

つぎに SiO_2 についてみると、土壌中の可給態 SiO_2 含量と水稻体含有率の間には正の相関があった。一般に土壌の可給態 SiO_2 は 130 ppm、茎葉では約 13% 必要とされている³⁾。今回の土壌の可給態 SiO_2 は平均 140 ppm であるのに対し、水稻体の平均含有率は 8.2% であることから、道央地帯の水稻体の SiO_2 含有率は他府県のよりも低いことが推定される。土壌別にみると、土壌、水稻体とも褐色低地土、台地土が低く、また泥炭土は土壌中の含量がやや多いにもかかわらず、水稻体の含有率が低い傾向にあったが、点数が少ないことから、この点に関しては更に検討が必要と思われる。

以上のことから、まず水稻体の塩基含有率についてみると、Mg, Na は土壌の全含量、置換性含量、更にそれぞれの塩基飽和度と正の相関関係が

認められた。一方、Ca 含有率は塩基飽和度と負の相関関係があり、これらを反映して塩基飽和度の小さい褐色低地土、台地土の水稻体 Ca 含有率は高く、Mg 含有率はやや低い傾向を示した。水稻体の K 含有率は土壌間差を反映しなかった。Mn は透水性の良好な土壌ほど水稻体の含有率も低く、たん水、落水等による土壌中の挙動が水稻体の含有率に反映していた。土壌の Fe 含量は Mn とほぼ同様な傾向を示したが、Mn との拮抗作用等から、水稻体含有率との間に有意な相関がみられなかった。水稻体の重金属元素の含有率は土壌間差がほとんどみられなかった。ただ土壌の Ni 含量は土壌間差が大きかった。 P_2O_5 は台地土が低かった以外は相対的に水稻体と土壌含量の間に一定の相関はみられなかった。水稻体 SiO_2 含有率は他府県よりも低いことが推定された。

総 合 考 察

1978 年の水稻の作況は各地帯とも初期生育が幾分不良な以外はほぼ全般的に良好な生育経過を示し⁴⁾、玄米収量も平年よりやや高く、道内の平均収量は 536 kg/10a であった¹⁰⁾。

道央地域における水田地帯は大雪山系に源を発する石狩川が上川盆地、神居古潭を貫流し、これに雨竜川、空知川、夕張川、千歳川等が合流し、石狩平野から日本海にぬけている地帯に分布している。これら水田地帯の土壌母材は第 3 紀層のものから洪積紀、沖積紀の堆積物まで種々のものからなっている⁷⁾。また、道央の水田地帯は地理的に神居古潭から北の上川盆地と南の石狩平野に分けることができよう。上川の水田土壌は沖積、洪積堆積物のほかに種々の熔結凝灰岩、安山岩や第 3 紀系の母材からなっており⁷⁾、また一部に泥炭土もみられる。一方、空知、石狩の水田土壌は沖積堆積物が多く、洪積紀の低位段丘堆積物層や泥炭土も存在する⁷⁾。更に、神居古潭変成岩地質に由来する蛇紋岩母材の影響も空知の水田にみられる。粘土鉱物についての報告³⁾をみると、上川地域の褐色低地土の水田土壌では Amorphous matter を主体としてカオリン鉱物、パーミュキュライト、モンモリロナイト、イライトを含み、粘土鉱物の結晶化度が低く、カチオン保持能の小さい鉱物が主体を占めるのに対し、空知地域のグライ土、灰色低地土の水田土壌はモンモリロナイトを主体としてイライト、カオリン鉱物、パーミュキュライ

ト等を含み、カチオン吸着保持能の大きい粘土鉱物が主体を占める。

Fe, Mn含量は土壌の透水性良否の影響が大きいこと、また、重金属元素は蛇紋岩由来のNi以外は土壌間差はほとんどなく水稻体含有率も大差ない。次に、水田土壌の母材が特に水稻体の塩基含有率におよぼす影響をみるために、5種類の土壌

をさらに上川、空知（非蛇紋岩質土壌）、蛇紋岩質土壌（全Ni含量70ppm以上の土壌。以下、蛇紋岩という）に分けて比較した。

まず、空知（蛇紋岩）、空知（非蛇紋岩）、上川の3地域を土壌別に分け、それらの置換性塩基含量、塩基飽和度、CECと水稻体含有率を表8に示した。CECは上川地域の褐色低地土、灰色低地土、さら

表8. 各土壌の地域別塩基含量、CECと水稻体の塩基含有率

土 壌	地 域	n	土 壌						水 稻 体			
			置 換 性 ppm				塩基飽和度 %	CEC me	Ca %	Mg %	K %	Na ppm
			Ca	Mg	K	Na						
グ ラ イ 土	空知（蛇紋岩）	3	1920	823	163	39	65.8	25.6	0.24	0.20	2.39	272
	〃（非蛇紋岩）	3	2147	530	172	33	58.1	27.4	0.27	0.16	2.37	295
	上川	2	2310	355	198	26	55.8	26.6	0.31	0.14	2.42	217
灰色低地土	空知（蛇紋岩）	5	1912	662	139	26	57.4	27.1	0.23	0.16	2.55	184
	〃（非蛇紋岩）	2	2820	520	308	31	70.3	27.5	0.29	0.14	2.45	190
	上川	4	1275	238	173	22	45.5	19.6	0.32	0.13	2.54	197
褐色低地土	上川	4	1205	225	115	19	47.0	17.2	0.34	0.14	2.49	250
台 地 土	空知	3	1693	407	203	30	48.7	25.7	0.33	0.18	2.13	195
	上川	2	990	290	131	21	35.7	21.6	0.32	0.12	2.42	218
泥 炭 土	空知・上川（蛇紋岩）	3	2293	807	130	36	65.2	28.1	0.27	0.18	2.53	308
	〃 〃（非蛇紋岩）	2	2120	385	118	26	50.0	27.7	0.32	0.12	2.21	264

に台地土でやや低く、塩基飽和度もほぼ同様の傾向にある。これらを反映して上川地域の置換性Ca含量はグライ土、泥炭土以外は低く、また置換性Mg含量は全体に低いことが認められた。上川地域の水田土壌は既述したように安山岩質の熔結凝灰岩を母材とするものが多く堆積しており、とくに十勝熔結凝灰岩はMgがきわめて少ないことを特徴としていること⁸⁾、また安足間川熔結凝灰岩も十勝熔結凝灰岩と似ていること⁹⁾から、これらの影響で上川地域の水田土壌のMg含量が少ないということが推定される。一方、空知地域の水田土壌の塩基飽和度は台地土以外は50%以上であり、上川のそれよりも塩基に富んでいることが認められた。また、蛇紋岩は母材的にとくにMg含量が多く、しかも、今回の供試土でも蛇紋岩11点のうち、地理的に上川が1点であるのに対し空知は10点を占めた。これらのことが、表2で述べた土壌のMg含量の変動の巾を大きくさせた原因であろう。このような種々の土壌の母材ないし混入、堆積物の影響を受けて、概して上川地域の水稻体はCa、

空知地域はMgが高いという傾向を示した。Kは施肥の影響が大きく、またNaは土壌中の含量も少なく、それぞれ土壌と水稻体の地域別の差は判然としなかった。

さて、土壌の置換性Ca含量は塩基飽和度の小さい台地土、褐色低地土で少ないにもかかわらず、水稻体のCa含有率は逆に高い傾向にあることは既述した。この要因についてさらに検討するために、塩基飽和度別の土壌の塩基含量と水稻体の塩基含有率の関係を表9に示した。

それぞれの塩基飽和度と相対飽和度を比較すると、塩基飽和度が高くなるにつれてCa及びMg飽和度はともに高くなるが、相対飽和度でみるとMgがやや高くなるのに対し、Caは逆にわずかではあるが低下している。ただ、蛇紋岩はMg飽和度がきわめて高く、またCa飽和度も塩基飽和度50%未満の土壌より高い。しかし、それぞれの相対飽和度はMgが高くなるのに対して、Caはきわめて低下している。これら土壌のCa、Mg、Naの相対飽和度と水稻体含有率の間にはそれぞれ正の相関

表9. 塩基飽和度別の土壌の塩基含量と水稻体の塩基含有率

塩基飽和度	n	飽和度 %					相対飽和度* %				水稻体含有率				置換性		
		全塩基	Ca	Mg	K	Na	Ca	Mg	K	Na	Ca %	Mg %	K %	Na ppm	Ca/Mg	Mg/K	K ₂ O mg/100g
50 % 未 満	空知 3, 上川 11	42.9	30.8	9.9	1.8	0.5	71.7	22.9	4.3	1.1	0.33	0.14	2.37	223	3.1	5.5	18.9
50 % 以 上	空知 6, 上川 2	64.1	45.5	16.1	2.0	0.5	70.8	25.3	3.1	0.8	0.29	0.14	2.42	239	2.8	8.1	24.3
蛇紋岩 (塩基飽和度)** ($\bar{x}=61.8\%$)	空知 10, 上川 1	61.8	37.3	22.7	1.4	0.5	60.2	36.7	2.2	0.9	0.25	0.18	2.50	242	1.6	16.2	17.3

* 相対飽和度=(各塩基の飽和度/全塩基飽和度)×100

** 塩基飽和度50%未満 2点

〃 50%以上 9点

があった($r=0.437^*$, 0.651^{***} , 0.360^*)。すなわち、特に水稻体のCaとMg含有率はそれぞれの飽和度よりも相対飽和度とより密接な関係にあることが認められた。

水田土壌の塩基含量ならびに塩基バランスの改良目標値¹⁾として、CEC15me以上、塩基飽和度51~72%, Ca飽和度40~50%, Mg飽和度10~20%, K飽和度1~2%, Ca/Mg4~2.5, Mg/K10, 置換性K₂Oは15mg/100gを保証, という値が示されている。これらの値と比較して、道央の水田土壌はCECが平均24.5meであり、養分保持能の大きい土壌が多いといえる。塩基飽和度の平均は54.4%であるが、50%以下は上川地域に多い。各塩基の飽和度は塩基飽和度50%未満の土壌ではCaが小さく、またMgもやや小さいのに対し、蛇紋岩ではMgがきわめて高い。塩基飽和度50%以上の土壌ではほぼ改良目標値に近いかにそれに適合した値を示している。これらを反映してMg/Kは塩基飽和度50%未満の土壌が低い。逆に蛇紋岩ではきわめて高いが、Ca/Mgは低いという傾向にある。

以上のことから、道央地域の水田土壌は主に上川地域にみられる塩基の乏しい熔結凝灰岩母材の土壌や結晶化度の低い粘土鉱物の多い土壌と、また空知地域にみられるMg含量の高い蛇紋岩質土壌や養分保持能の大きい粘土鉱物の多い土壌などに大別される。そして、これら母材の違いが水稻体の塩基含有率に反映し、上川地域の水稲体はCa含有率が高く、Mg含有率が低い。一方空知地域は逆の傾向を示した。

以上、総合考察ではとくに塩基に関する水稻体含有率の道央地帯における地域間差を、土壌の地質、母材、粘土鉱物との関連から論じた。

謝辞 本稿を草するに当り、構成、内容について終始御指導、御教示をいただいた中央農業試験

場環境保全部長南松雄博士、同化学部長奥村純一博士に深甚なる謝意を表します。また同環境保全部第一科の兼田裕光、土岐和夫、目黒孝司の各研究職員諸氏には種々の面でお世話になりました。

上川農業試験場土壌肥料科研究職員山口正業氏には上川管内のサンプリング等で御協力をいただきました。

以上の各位ならびに関係各位に心から感謝致します。

引用文献

- 1) 土壌保全調査事業全国協議会編。“日本の耕地土壌の実態と対策”1979. p.260—263.
- 2) 土壌養分測定法委員会編。“土壌養分分析法”. 養賢堂. 1970. p.278—330.
- 3) 北海道立中央農業試験場。“昭和42年度土壌肥料に関する試験成績書(土肥-1)”. 1967. p.6—20.
- 4) 北海道立中央農業試験場。“昭和53年度定期作況報告”. (1978).
- 5) 北海道立地下資源調査所編。“愛別(5万分の1地質図幅説明書)”. 1964.
- 6) 北農会編。“北海道農業と土壌肥料”. 1969. p.35
- 7) 経済企画庁総合開発局編。“土地分類図(表層地質図I)北海道地方”. 1968.
- 8) 三宅正紀, “インドネシア水田におけるリン酸の肥効(4)新可給体リン酸測定法の提案”. 土肥要旨集, 25, PART II, 257 (1979).
- 9) 水野直治, “蛇紋岩質土壌の化学的特性と農作物の生理障害に関する研究”. 1979. p.8 (北海道立農業試験場報告, 第29号)
- 10) 農林水産省北海道統計情報事務所編。“北海道農林水産統計年報(農業統計市町村別編)”1979. p.8
- 11) 志賀一一, “水稻生産よりみた水田土壌のリン酸肥沃度について”. 土肥要旨集, 23, 199—200(1977).
- 12) シャルロー・G. “定性分析化学II”. 共立全書. 1974. p.287—381.
- 13) 田中 明, 但野利秋, “水稻の鉄栄養に関する研究

- (第2報)水稻根の鉄排除機能について”. 土肥誌, **40**, 469—472 (1969).
- 14) 若月利之, 松尾嘉郎, 久馬一剛. “土壌中諸元素の

天然賦存量 (第1報) 本邦水田作土中の Pb, Zn, Cu, Ni, Cr および V の天然賦存量, 土肥誌. **49**, 507—512 (1978)

Relationship between the Distribution of Bases and Heavy Metals in Paddy Soils and the Concentrations of These Substances in Rice Plants in the Central Region of Hokkaido

Ken-ichi KAMADA* and Naoharu MIZUNO*

Summary

Samples of 33 surface paddy soils and rice plants collected in the same plots, were analyzed from the central region of Hokkaido in 1978.

It was estimated that though there were many areas with soils of poor base content which originated from Andesite and Welded Tuff, with the paddy soils with less than 50% base saturation in the Kamikawa region, rich soils and the soils, which originated from serpentine rock, were widespread in the Sorachi region. Reflecting differences in basic materials and accumulated matters in these soils, the Ca concentration in rice plants was higher in the Kamikawa region than in the Sorachi region, and Mg concentrations were high in the Sorachi region but low in the Kamikawa region. It was respectively found that a significant correlation between Ca or Mg concentration in the rice plant and these relative saturation percentage (Ca or Mg saturation percentage/base saturation percentage). K concentration in the rice plant was not reflected the difference in types of soils since CV of K content was smaller in the rice plant than in the soil. Mn content in the soils was influenced by the water permeability of the soil. Mn content in the soils and the rice plants decreased as water permeability increased. Fe content in the soil is affected by water permeability similar to that of Mn in the soil. There was little difference between types of soils in their Zn, Cu and Co content except Ni content. Concentrations of these elements in the rice plants were proportional to that in the soil. P_2O_5 content in all soil samples was high. Though a significant correlation between SiO_2 concentration of the rice plant and that of the soil was found, SiO_2 concentration in the rice plant was generally lower in the central region of Hokkaido than in the other prefectures.

*Hokkaido Central Agricultural Experiment Station, Naganuma, Hokkaido, 069-13, Japan.