

土壌のリン酸およびアンモニウム吸収懸濁系の水希釈による
養分吸収係数の変化について*

川村三郎**・中島照夫**

The Alteration of Plant Nutrient Absorptive Coefficient
of Soil after the Soil Suspension Treated with
the Usual Absorptive Method.

Saburo KAWAMURA and Teruo NAKAJIMA

Synopsis

The study had carried on the dissolubilities of phosphate and ammonium ions which absorbed with usual plant nutrient absorptive coefficient method (neutral 2.5% ammonium phosphate solution added to the soil with soil: solution ratio are 1;2. and soil suspensions kept a day. The components of phosphate and ammonium were determined in the filtrates. The coefficients were expressed in P_2O_5 mg or N mg per 100g soil from decrease of the components.)

The purpose of the experiment are to define the coefficients concerned to the ions solubilities in filtrate. The results are summarized as follows.

1. The absorptive coefficients had the larger effect on original solubilities of suspension than after diluted with same volume distilled water. but, the treatments of water dilution had the considerable effect on each chemical potential.
2. Since the ionic species of phosphate had been controled of the pH of filtrate, thire each concentrations did not corresponded to phosphorus absorptive coefficient, but corresponded to nitrogen.
3. The ionic strengths of the filtrate were opposed to absorbe the ions by soil particles, but thire alternation with diluted treatment influenced not only on the diluted effect, but on the dissolution of absorbed ions.
4. A resemblance of phosphate and ammonium ions dissolubility with water dilution asumed that the absorption of phosphate by soil is correlated to dissolution of ammonium.
5. The phosphate potentials toward the ammonium ($pH_2PO_4 + pNH_4$) were equivalented to the both coefficient, and suggested the power of component absorption by soil.

I 緒 言

土壌の無機植物養分保持能力は作物の生育に対する重要な一因子である。これは施肥料の流亡を防ぐこと、固定化を促進することなどの効果に関与する

だけでなく、植物根圏で適宜な養分濃度を維持するメリットを見逃すわけにはいかない。近時、砂礫耕あるいは水耕栽培の苦辛の現状を見聞するにつけ、ますます、作物栽培における土壌の意義が強く感ぜ

* 本報告の概要は土壌肥科学会大阪大会(47年3月)で発表した。

** 農芸化学科・土壌学研究室(Lab. of Soil Science, Dept. of Agriculture, Kinki Univ., Higashi osaka, Osaka, 577. Japan)

られる。このようなわけで、従来の土壌のリン酸および窒素吸収係数が作物生育上の土壌条件の一指標とみなされるとき、施肥された成分の土壌による無効化を予測した施肥基準の参照値のほかに、施肥に対する土壌の広義な緩衝性の資料としても重要であると思われる。この考えを発展させて実際の施肥に養分吸収係数を活用するには係数そのものが相互に比較しうるものであることが必要であるが、さらに、吸収係数測定時の外液における成分溶存関係を十分に明らかにすることが肝要である。すなわち、それらの成分の溶存性に支配された吸収成分がどのような種類と性質をもつものであるかを知らねばならない。

土壌のリン酸およびアンモニウム吸収能力を示す指標として常法による両養分吸収係数を考えるには既報¹⁾のごとくあまりにも断片的な方法による数値であるが、この係数が土壌の調査、分類などを対象項目として利用され、今日までに膨大な分析数にのぼっている。我が国の農作物の生産が施肥特に化学肥料を中心とした栽培管理の流れであり、このような土壌評価の方法は当然であろう。しかし、今後はこれらの養分吸収係数が土壌分類のためであるばかりでなく、施肥に対する土壌の緩衝性を知る合理的な資料として積極的な利用が望まれる。そのために、土壌のもつ養分吸収係数と成分溶存関係を明らかにすることが重要であると考え、中性2.5%リン酸アンモニウム溶液による常法の土壌の養分吸収係数測定法で吸収したリン酸とアンモニウムの水希釈での溶存性について反応時間の影響も組み合わせ、それらの成分溶存状態を比較検討した。

II 実験方法

供試土壌は既報¹⁾のものである。四種類の火山灰土壌、それらのうち鹿沼土壌は無機質では腐植質である。四種類の鉍質酸性土壌、それらのうち愛知赤池土壌と奈良生駒土壌は花崗岩風化堆積土であり、ほかは大坂群層海成堆積層上の春日丘上層および下層土壌である。いずれも未耕地下層土で、それらの風乾細土の70メッシュ以下に篩別できたものを使用した。

各土壌による成分吸収操作は2.5%リン酸二アンモニウム溶液をリン酸で中性にした溶液と土壌比を2:1で24時間放置する通常のリン酸および窒素の吸収係数測定法を対照区として、ほかに四区の処理区を設け行なった。すなわち、対照区の処理後液量が倍となるように蒸留水を加え、ときどきかき混ぜ、5

分後に濾別したもの(B処理区)、その水希釈操作後の5分間を24時間後に変えたもの(C処理区)、対照区の液量を蒸留水で始めから倍増して、一定土壌に作用する成分全量は同一として2日間懸濁せしめた区(D処理区)、および対照区の操作中24時間の吸収反応時間を3日間に延長した後に蒸留水で液量を倍量に希釈後24時間ときどきかき混ぜて濾別した区(E処理区)の四種である。なお、対照区をA処理区とする。各処理で濾別された反応残液を成分吸収反応の外液として、それぞれのpH、全リン酸、全アンモニヤ態窒素を測定した。各測定方法は既報¹⁾の通りである。

III 実験結果

各処理の濾別液の化学的性質を各土壌ごとに示すとTable 1のようになった。

pHについては、各処理を通じて原液より高めに現われるものに鹿沼、大分土壌がある。大山、夜久野、愛知、生駒土壌は原液との差が微小であり、春日丘上下両土壌は原液よりも低く、特に、下層土壌においてはリン酸アンモニウム溶液の緩衝作用が小さい。成分吸収操作後の蒸留水による希釈によって、平衡液のpH値の変動はいずれの土壌に対しても少なく、原溶液のpH調整の際の各成分の不均一性がpHの変動により大きな影響を及ぼしている。また、当初から水で液量を倍に希釈したD処理区で、いずれの土壌に対しても高くpH値が現われていることから、成分吸収の当初の成分濃度も外液pHに影響を及ぼすと思われる。

濾別された外液中のリン酸およびアンモニヤ態窒素は本条件下では二種のリン酸水素イオンとアンモニウムイオンとしてイオン強度を構成する主要イオンの各成分であり、これらの測定成分は各総量として測定される。さらに、Table 1に示された各総成分量はそれぞれの土壌の各処理における土壌粒子への未吸収の残存成分とみなされ、原溶液中の各成分差を100g土壌当りに換算して、各成分の養分吸収係数としている。これらの値は、成分吸収平衡における反応外液の濾別が完全に行なわれていない状態であるために、土壌による各成分の吸収量そのものではない。すなわち、土壌が火山灰質であるほど未分離の液量が多くなり、ときには、濾別液量が常法の養分吸収係数測定の場合の土壌溶液比の自然濾過において、添加液量の三割近くになることもある。したがって、未分離の処理土壌中に含まれる反応外液の成分の溶存性あるいは含量が明らかにされない、

Table 1. Contents of analyzed component, pH in the filtrates which equilibrated with phosphate solution and soil.

Soil used	Treatment*	A	B	C	D	E		
KANUMA	pH	7.44	7.34	7.37	7.58	7.44		
	P } N }	(m moles- l^{-1})		58.1	38.5	36.6	43.2	32.7
				115.9	70.0	74.6	75.3	68.3
				2412.5	2188.7	2253.8	2366.2	2253.8
	P ₂ O ₅ adsorptive coefficient (mg/100g soil)	718.2	654.4	639.1	624.3	683.9		
DAISEN	pH	6.80	6.77	6.86	7.12	7.25		
	P } N }	(m moles- l^{-1})		26.9	15.5	13.4	20.8	11.7
				65.0	36.0	38.0	44.3	37.2
				2855.0	2841.2	2913.7	3001.2	2850.0
	P ₂ O ₅ adsorptive coefficient (mg/100g soil)	860.7	844.9	843.7	797.8	857.9		
OITA Black	pH	7.10	7.03	7.27	7.46	7.57		
	P } N }	(m moles- l^{-1})		75.1	43.1	43.6	65.7	31.0
				139.1	74.6	77.9	86.0	65.1
				2170.8	2058.7	2056.3	1728.7	2301.2
	P ₂ O ₅ adsorptive coefficient (mg/100g soil)	653.3	628.4	620.8	570.0	701.7		
YAKUNO	pH	6.67	6.69	6.83	7.11	7.08		
	P } N }	(m moles- l^{-1})		72.9	33.3	30.4	37.1	25.5
				109.1	56.0	56.9	62.4	57.5
				2202.5	2336.4	2428.7	2541.2	2456.3
	P ₂ O ₅ adsorptive coefficient (mg/100g soil)	737.2	732.6	737.9	696.3	744.2		
AICHI	pH	7.01	6.96	7.00	7.26	7.01		
	P } N }	(m moles- l^{-1})		203.8	106.5	100.3	107.1	102.6
				331.1	175.5	173.8	171.3	175.5
				343.8	256.3	443.7	550.0	268.8
	P ₂ O ₅ adsorptive coefficient (mg/100g soil)	115.7	63.7	83.3	86.7	83.6		
IKOMA	pH	6.93	6.88	6.93	7.18	6.93		
	P } N }	(m moles- l^{-1})		116.1	94.5	79.8	88.8	80.1
				263.8	138.0	134.3	138.9	141.4
				879.2	597.9	1027.2	1072.9	906.3
	P ₂ O ₅ adsorptive coefficient (mg/100g soil)	304.1	273.4	304.7	268.1	274.1		
KASUGAOKA Upper	pH	6.45	6.44	6.54	6.77	6.50		
	P } N }	(m moles- l^{-1})		156.1	80.1	76.9	85.4	76.4
				203.1	114.5	108.3	112.1	110.3
				1020.9	1006.2	1110.5	1189.6	1010.4
	P ₂ O ₅ adsorptive coefficient (mg/100g soil)	474.1	405.0	450.1	418.3	448.1		
KASUGAOKA Lower	pH	5.78	5.88	6.03	6.17	5.86		
	P } N }	(m moles- l^{-1})		129.7	71.4	76.9	75.3	68.1
				233.3	125.3	121.2	124.2	123.4
				1395.8	1252.1	1110.5	1456.2	1247.9
	P ₂ O ₅ adsorptive coefficient (mg/100g soil)	389.4	344.7	378.1	350.6	375.5		
Original solution	pH	7.00	7.01	7.00	6.99	7.00		
	P } N }	(m moles/l)		228.0	115.5	116.0	126.5	112.0
				372.4	186.9	188.7	186.8	190.4

*A: Usual method (neutral 2.5% ammonium phosphate solution : soil = 2:1, after 24 hrs the suspensions were filtrated).

B: After keep on the usual method, the same volume distilled water as phosphate solution were added to the suspension, and after 5 minutes the suspensions were filtrated.

C: After keep on the usual method, the same volume distilled water as phosphate solution added to the suspension, and after 3 days the suspension were filtrated.

D: Neutral 1.25% ammonium phosphate solution : soil = 4:1, and after 2 days the suspension were filtrated.

E: After the 2.5% phosphate solution were suspended for 3 days, the same volume water as phosphate solution were added to the suspension, and after 1 day the suspensions were filtrated.

厳密には土壤による実際の吸収量は明らかでない。

自然濾過によって濾別し得た外液中の成分溶存量から各土壤処理による成分吸収係数を問題とすると、まず、リン酸については、吸収平衡後の水希釈操作で吸収係数に影響を受けにくい土壤に大山および春日丘上層土壤がある。希釈操作の中でも5分後に濾別したB区は夜久野土壤を除いてほかは共通して常法による係数より低い値がでている。これに対して水希釈後24時間経過後に濾別したC区は春日丘下層土壤を除きB処理区よりも高く現われ常法の基準区に対しては同等あるいはそれ以上の値が得られた。成分吸収の当初から水で液量を倍にしたD区は大分、鹿沼土壤を除いていずれも、ほかの全ての処理区よりも高い値を示した。なお、本処理区の大分土壤については異常な低い値を示したが原因は明らかでない。水希釈操作前の処理を通常の処理の1日間に代えて3日間施したE区は鹿沼、夜久野土壤を除き、基準区に対してはほぼ同等の値を示した。これらの結果は養分の吸収に対して反応時間の効果に抗して、反応濃度および吸収成分の可逆性などに対する効果を示していると思われる。

アンモニヤ態窒素の溶存性とそれらから求めた窒素吸収係数については各処理ともリン酸の値に比べ変動が小さい。これはリン酸二アンモニウム溶液のpH7調整に原因していると思われる。すなわち、各A, B, C, D, E処理区の100g土壤当りの作用総量はリン酸でそれぞれ3238, 3281, 3294, 3593および3181 mgP₂O₅と不均一である。また、窒素に対してそれぞれ1043, 1046, 1059, 1046および1066mgNと比較的に一致した含量を示した。各処理による窒素吸収係数は大分土壤のE処理区を除いてほかはいずれの土壤の処理区についてもそれぞれの基準区より低い値である。中でも非火山灰土壤のB, D処理区はより低めに、CとE処理区は多少低めに互に各土壤ごとによく対応した値を示した。このようなアンモニヤ態窒素の溶存性より、希釈による吸収成分の溶出効果が吸収反応の時間の延長による成分吸収増の効果をしのご傾向と思われる。

土壤に作用する各成分量が一致しないと、平衡液のリン酸の溶存性あるいはそれらから求めた吸収係数のように、厳密には作用量の違いによる効果が考慮されねばならない。そこで、水希釈による成分溶存性の変化、希釈後の時間の影響などの効果のみを表現するには、各処理ごとの原液中の総成分量に対する各吸収係数の比率で示すことがそれらのねらいによりかなった表現である。リン酸についてはFig.1の

上図に、窒素についてはFig.1の下図にそれらの関

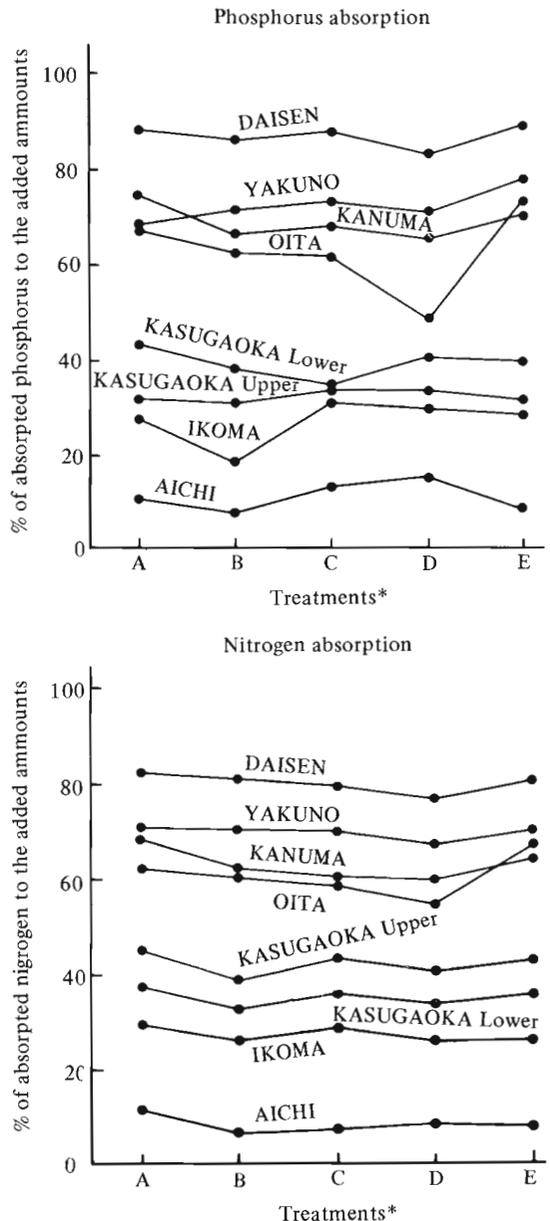


Fig. 1. Effect of the absorbed plant nutrient by soil on the several H₂O diluted treatments.

(*: Abbreviations comply with table I.)

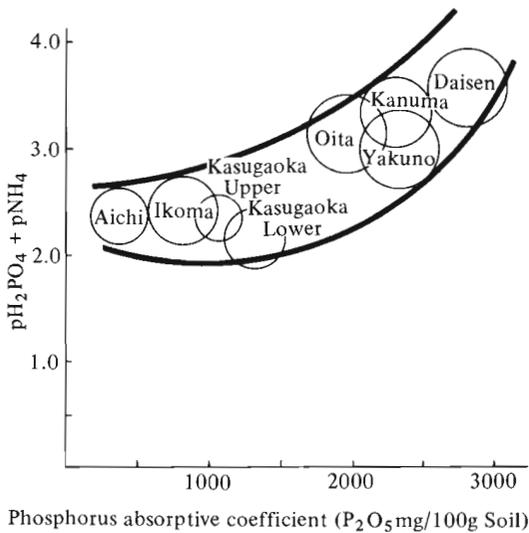


Fig. 2. A comparison of phosphate potential ($\text{pH}_2\text{PO}_4 + \text{pNH}_4$) as Phosphorus absorptive coefficient by several H_2O diluted treatments.

係を示す。リン酸については、前述の理由で、当初から水で液量を倍としたD処理区においても常法A区によって得られた値よりも一般に低い値が示され、この傾向が火山灰土壌でより明らかである。これは反応時間が常法の倍にもかかわらず、作用成分総量が一定でしかも、それらの濃度が異なれば成分の吸収が抑制されることを意味する。B、C処理区が共にA処理区よりも小さい結果は常法によって吸収された成分は水希釈によって溶出する部分を持つことを示す。このことは夜久野土壌を除き、ほかの火山灰土壌で顕著である。さらに、E処理区がA処理区よりも同等かもしくは多少低く現われているが、これは吸収作用時間が延長されたにもかかわらず希釈操作で少なくとも常法による基準時間以後に吸収した量に相当する成分は再溶出することを示唆する。

以上は総量の成分溶存性から成分の吸収予想量を考えたのであるが、これらの養分吸収を通じて同一液容量中に溶存する各成分のイオン種が吸収係数と関連付けられるためにそれらの結果をTable 2に示した。まず、リン酸濃度については、 H_2PO_4^- 、 HPO_4^{2-} イオンともに吸収係数とは必ずしも対応しない結果である。たとえば、春日丘下、上層土壌の H_2PO_4^- イオンにおいては愛知、生駒土壌よりも多量の溶存量を示し、 HPO_4^{2-} イオンにおいては火山灰土壌よりも

少量の溶存性を示す。すなわち、これらの溶存性は土壌粒子による吸収の影響のほかには外液pHにも大きく左右される。²⁾当初から液量を倍としたD処理区は各土壌とも高いpH値を示したが、 H_2PO_4^- イオンの溶存濃度においても以上の理由で各土壌についてはほぼ最低値を示した。さらに、 HPO_4^{2-} イオンについてはほかの水希釈処理の中で最高値を示している。

これらに対して、外液中でのアンモニウム溶存濃度はそれらの土壌の窒素吸収係数とよく対応しており、最小値の吸収係数をもつ愛知土壌処理区がいずれも最高溶存濃度を示し、最大の窒素吸収係数を示す大山土壌がいずれの処理においても最小の溶存濃度を示した。また、希釈処理によってほぼ様な溶存性を各土壌ごとに示していることはリン酸の場合と異なる。

このような三種のイオンの各濃度によって、平衡後の濾別された外液のイオン強度は構成されていると思われ、Table 2に列記した各結果について以下述べる。常法によった基準区はほかの処理区に比べて倍の値がそれぞれの原液について考えられる。これらの傾向は鉍質酸性土壌についてほぼ成立する。これに対して、火山灰土壌の処理区は各土壌の基準区の50%を越える場合が多く、基準区の半分と各水希釈処理区のイオン強度との差が希釈によって再溶出した成分のイオン強度と関連すると思われる。ただ、この場合に HPO_4^{2-} イオンの溶存量はイオンの荷電の影響で H_2PO_4^- および NH_4^+ イオンより強くイオン強度に関与し、基準区に対して有意に高いpH値を示す処理区例えばD処理区は HPO_4^{2-} イオンのイオン強度への関与の小さい処理区と同様に再溶出性を考えることはできない。このような傾向は特に鹿沼、大分両土壌に対して考慮する必要がある。しかし、水希釈操作に伴う両成分の吸収割合はFig. 1、上下図でみられるごとく、これらの土壌の場合でも大分土壌のE処理区を例外として、いずれも基準区よりも低く現われている。したがって、吸収成分の水希釈による再溶出性と直接には関連しないにしても、基準区のイオン強度の半分との差がそれらの溶存性に対して有効な指標となると思われる。夜久野土壌の処理区を除き火山灰土壌の各処理区は吸収成分の溶出によって水希釈を上回るイオン強度の増加が認められる。これに対して鉍質酸性土壌については春日丘下層土壌を除きイオン強度からみた顕著な吸収成分の溶出は認められない。

個々のイオン活量の水希釈による変化は一律に基準区より減少するとは限らない。例えば、 HPO_4^{2-} イ

Table 2. Concentrations and activities of ions, ionic strength in the filtrates which equilibrated with phosphate solution and soil.

Soil used	Ions strength, and species	Concentrations					activities				
		A*	B*	C*	D*	E*	A*	B*	C*	D*	E*
KANUMA	μ	0.157	0.097	0.097	0.113	0.089	—	—	—	—	—
	H ₂ PO ₄ (m moles/l)	10.5	9.5	8.6	6.6	6.8	7.9	7.4	6.7	5.1	5.3
	HPO ₄	47.5	29.0	28.0	36.7	25.9	14.0	10.3	10.0	12.3	9.5
	NH ₄	114.1	69.2	73.6	73.8	67.3	80.5	51.7	55.1	54.2	50.8
DAISEN	μ	0.064	0.035	0.035	0.051	0.036	—	—	—	—	—
	H ₂ PO ₄ (m moles/l)	15.0	9.4	7.5	8.2	3.9	12.1	8.0	6.3	6.7	3.3
	HPO ₄	12.0	6.1	5.9	12.8	7.7	4.9	3.0	2.9	5.6	3.8
	NH ₄	64.8	35.9	37.9	44.0	36.8	50.7	29.7	31.4	35.2	30.4
OITA Black	μ	0.183	0.098	0.108	0.152	0.086	—	—	—	—	—
	H ₂ PO ₄ (m moles/m)	24.0	17.1	11.7	14.2	5.2	17.7	13.3	9.1	8.2	4.1
	HPO ₄	51.1	25.9	31.8	51.5	25.9	14.2	9.2	10.9	15.3	9.6
	NH ₄	138.1	74.2	77.1	83.7	63.8	95.4	55.5	56.9	59.1	48.4
YAKUNO	μ	0.137	0.064	0.065	0.085	0.064	—	—	—	—	—
	H ₂ PO ₄ (m moles/l)	42.4	20.7	16.5	13.5	10.1	32.1	16.7	13.3	10.6	8.2
	HPO ₄	30.6	12.6	14.0	23.6	15.4	9.6	5.2	5.7	8.8	6.4
	NH ₄	108.8	56.0	56.7	62.0	57.1	78.2	43.8	44.4	47.1	44.7
AICHI	μ	0.483	0.241	0.234	0.263	0.239	—	—	—	—	—
	H ₂ PO ₄ (m moles/l)	59.7	39.7	35.2	24.1	35.3	40.0	28.5	25.3	17.1	25.4
	HPO ₄	144.2	66.8	65.1	83.1	67.3	26.4	16.6	16.4	19.8	16.8
	NH ₄	329.2	174.6	172.9	169.6	174.5	196.5	116.1	115.4	111.2	116.1
IKOMA	μ	0.375	0.197	0.180	0.211	0.182	—	—	—	—	—
	H ₂ PO ₄ (m moles/l)	59.1	40.6	32.7	24.0	32.7	40.7	29.7	24.2	17.4	24.1
	HPO ₄	107.0	53.9	47.1	64.8	47.4	22.1	14.5	13.3	17.0	13.2
	NH ₄	262.6	137.4	133.7	137.8	140.8	163.6	94.1	92.8	93.4	97.4
KASUGA- OKA Upper	μ	0.261	0.133	0.132	0.161	0.131	—	—	—	—	—
	H ₂ PO ₄ (m moles/l)	101.8	56.3	65.2	43.7	51.4	72.5	42.7	38.2	32.6	39.0
	HPO ₄	54.3	23.8	26.6	41.7	25.0	13.1	7.5	8.4	12.3	8.0
	NH ₄	202.8	114.4	108.1	111.6	110.2	133.3	82.4	78.0	78.5	79.6
KASUGA- OKA Lower	μ	0.200	0.109	0.115	0.120	0.105	—	—	—	—	—
	H ₂ PO ₄ (m moles/l)	117.3	64.4	66.3	61.6	61.6	85.6	49.7	50.9	47.2	47.7
	HPO ₄	12.5	7.1	10.5	13.6	6.4	3.3	2.9	3.5	4.5	2.2
	NH ₄	233.2	125.3	121.1	124.1	123.3	159.1	92.5	88.9	90.6	91.4
Original Solution	μ	0.542	0.265	0.266	0.282	0.261	—	—	—	—	—
	H ₂ PO ₄ (m moles/l)	66.0	39.5	39.6	42.6	38.4	43.7	28.1	28.1	31.7	27.3
	HPO ₄	162.1	76.0	76.4	83.9	73.6	28.2	18.1	18.2	19.5	17.7
	NH ₄	370.3	185.8	187.7	185.8	189.4	216.6	121.9	122.9	120.7	124.4

(*: Abbreviations comply with table 1.)

オンのD処理区の大分, 大山, 春日丘下層土壌の各処理区などの場合は基準区の HPO_4^{2-} イオン活量よりも大きく現われている。この原因には二つあるようであり、外液pHの過小による春日丘下層土壌の場合、吸収係数が大きくて該当イオンの溶存濃度が少ない大分, 大山土壌の場合とが考えられる。そのほかの処理区の H_2PO_4^- , NH_4^+ イオンの場合は水希釈によって各基準区よりも減少しており、しかも、それらの活量変化は同一土壌の処理内および各土壌間で共に各イオン濃度より少ないことが認められる。希釈処理の条件によって大きく異なるのが H_2PO_4^- および HPO_4^{2-} イオンについてであり、 NH_4^+ イオンについてはそれらの処理条件の違いが殆んど現われていない。また、 H_2PO_4^- および NH_4^+ イオン活量については共に鉍質酸性土壌の処理区が火山灰土壌処理区に比べ濃度と同様に希釈による減少が著しい。

これらの個々のイオン活量は吸収成分との平衡の上で溶存しているが、同一土壌の各希釈処理とその基準区との比較よりみると、個々のイオン活量の水希釈による低下ほど吸収成分の量的変化が直接に関与していないようである。ただ、活量はそれぞれの濃度に比例するものであるから、 NH_4^+ イオンの場合は各土壌の窒素吸収係数とそれぞれの活量の間にはよい対応がみられる。これに対しリン酸イオンについてはこれらの溶存外液のpHによる H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} イオンの配分が著しく影響を受け、さらに、両イオンの活量係数の差が大きいため、それらの個々のイオンあるいはそれらの含量さえもリン酸吸収係数との関連が同一土壌の処理間および各土壌間の比較においても少ない。いずれにしても、水希釈前後の外液中に主要成分として溶存する個々のイオン活量はそれらの成分の土壌に吸収している量と直接に比較し、関係づけることは困難である。

土壌粒子を取り巻くイオンの溶存性を濾別外液の活量から予想して、主要イオン H_2PO_4^- および NH_4^+ と水素イオンの活量関係をそれぞれの積および比で $\text{pH} + \text{pH}_2\text{PO}_4^-$, $\text{pH} - \text{pNH}_4^+$ と示すならばTable 3の通りである。前者はphosphoric acid potentialと呼ばれ、外液のpHが7と仮定した場合の外液中の H_2PO_4^- イオン活量は $\text{pH} + \text{pH}_2\text{PO}_4^-$ 値7, 8, 9, 10に対して1, 0.1, 0.01, 0.001モル/ℓと減少することを示す。後者をammonium potentialを呼び、外液のpHが7と仮定して、外液中の NH_4^+ イオン活量は $\text{pH} - \text{pNH}_4^+$ 値5, 6, 7に対して0.01, 0.1, 1モル/ℓと増加することを示す。これらの値と養分吸収係数を関連づけてみると、リン酸および窒素の土壌間の係数増加に

対して各ポテンシャルの減少を示す。また、水希釈によるポテンシャルの変化は個々のイオンの活量ほどもなく、したがって活量よりも容易に吸収係数と関連づけることができるとと思われる。水希釈によるポテンシャル変化はリン酸については吸収係数の増加、減少にかかわらず、いずれの土壌についても増加傾向があり、窒素についてはそれらの傾向が一致しない。リン酸吸収係数に対しては2,000mg P_2O_5 、窒素吸収係数に対しては500mgNの値が堺となり、各ポテンシャルと関連づけて火山灰土壌と鉍質酸性土壌に分別できる。

土壌コロイドを取り巻く主要イオンの溶存性とそれらイオン成分の土壌吸収に関連を持たせるならば、水素イオンとの対応によるよりもそれらよりも多量に存在する NH_4^+ イオンと H_2PO_4^- との対応を考える方が、成分の吸収量あるいは吸収力により密接な状態を予想しうると思われる。そこで、phosphoric acid potentialとammonium potentialの差と考えられるnegative mono ammonium phosphate potential ($\text{pH}_2\text{PO}_4^- + \text{pNH}_4^+$ 又は単にphosphate potential)を算出しTable 3に付け、リン酸吸収係数と関連づけるとFig. 2の通りとなった。いずれの土壌についてもphosphate potentialの増加に対してほとんど一樣にリン酸吸収係数の増加を示す傾向が得られた。種々な条件の水希釈によるpotentialと吸収係数の変化がそれぞれの土壌に対して円の大きさで表現された。このような実験条件においては火山灰土壌と鉍質酸性土壌の違いはpotential値3とリン酸吸収係数2,000に境界があることを示す。

IV 考 察

常法によった土壌の養分吸収係数を理解する場合には、それらの値は係数であって実際に土壌に吸収された成分量そのものではない。さらに、これらの係数は濾別し得た外溶液の溶存性と相互に関連し合っ て現われた値である。したがって、溶存する主要成分を各イオンにまで分析して考察することが特にリン酸の場合重要と思われる。また、限られた条件での予測の吸収量と考えられるものであるならば、吸収成分の溶出性が水希釈およびその他の条件の違いによってどのように現われるか、あるいは成分の溶存性がどの程度それらの成分の吸収量に影響するものであろうかを知ることは吸収係数をより理解する上に必要と考えられる。

土壌粒子表面上へのこれらの成分の濃縮はリン酸、

Table 3. On the chemical potentials of the filtrates

Soil	Chemical Potential	A*	B*	C*	D*	E*
KANUMA	pH + p H_2PO_4	9.54	9.47	9.51	9.87	9.72
	pH - p NH_4	6.34	6.05	6.08	6.31	6.15
	p H_2PO_4 + p NH_4	3.20	3.42	3.43	3.56	3.57
DAISEN	pH + p H_2PO_4	8.72	8.87	9.06	9.29	9.73
	pH - p NH_4	5.51	5.24	5.36	5.67	5.73
	p H_2PO_4 + p NH_4	3.21	3.62	3.70	3.63	3.99
OITA	pH + p H_2PO_4	8.85	8.91	9.31	9.54	9.96
	pH - p NH_4	6.08	5.77	6.03	6.23	6.25
	p H_2PO_4 + p NH_4	2.77	3.13	3.29	3.31	3.70
YAKUNO	pH + p H_2PO_4	8.16	8.47	8.71	9.08	9.17
	pH - p NH_4	5.56	5.33	5.48	5.78	5.73
	p H_2PO_4 + p NH_4	2.60	3.14	3.23	3.30	3.44
AICHI	pH + p H_2PO_4	8.41	8.51	8.60	9.03	8.61
	pH - p NH_4	6.30	6.02	6.06	6.31	6.07
	p H_2PO_4 + p NH_4	2.10	2.48	2.53	2.71	2.53
IKOMA	pH + p H_2PO_4	8.32	8.41	8.55	8.93	8.54
	pH - p NH_4	6.14	5.85	5.89	6.15	5.92
	p H_2PO_4 + p NH_4	2.18	2.55	2.65	2.79	2.63
KASUGAOKA Upper	pH + p H_2PO_4	7.59	7.81	7.95	8.26	7.91
	pH - p NH_4	5.57	5.36	5.43	5.66	5.40
	p H_2PO_4 + p NH_4	2.01	2.45	2.53	2.59	2.51
KASUGAOKA Lower	pH + p H_2PO_4	6.84	7.18	7.32	7.50	7.18
	pH - p NH_4	4.98	4.84	4.98	5.03	4.82
	p H_2PO_4 + p NH_4	1.87	2.34	2.34	2.37	2.36
Original Solution	pH + p H_2PO_4	8.36	8.56	8.55	8.49	8.56
	pH + p NH_4	6.34	6.10	6.09	6.07	6.09
	p H_2PO_4 + p NH_4	2.02	2.47	2.46	2.42	2.47

*: Abbreviations comply with table 1.

アンモニウムイオンに対して同一粒子あるいは異なった粒子の場合もあろうが、単なる粒子表面上への付着だけでなく、粒子内部への浸透も考えられる。さらに、粒子表面ないし内部でこれらの濃縮成分は表面化合物あるいは吸着化合物を形成する可能性がある。水希釈後の外液における各成分溶存性が全くそれらの成分の吸収係数を支配する場合ならともかく、このような土壌粒子による成分の濃縮現象に対して吸着という言葉はふさわしくない。

土壌の養分吸収係数はこれらの成分の吸収時の外液中における溶存性が大きく関与し、その後の水希

釈による外液の成分溶存性の変化に対して決定的な影響を与えないように思われる。しかし、これらの土壌による成分吸収は全くの不可逆的ではなく、水希釈直後の係数から予測される吸収成分の溶出は最大の場合初めの添加成分に対してさえリン酸では10%、アンモニウムで数%におよんでいる。さらに、希釈後の処理時間の濾別遅延操作に対してもそれらの溶出効果が現われる場合もある。このようなわけで外液中の成分の溶け方の違いを知ることが土壌による成分吸収現象を理解し、あるいは吸収量と吸収力を比較する上にも重要であると思われる。

濾別外液のイオン強度は成分の土壤吸収によって結果的要素を持つ反面、成分の吸収を促進する原因ともなり得ることを示した¹⁾。水希釈による溶存成分の変化からもたらされるイオン強度は単なる希釈による効果が現われるだけでなく、吸収成分の溶出による影響も受ける。吸収係数の大きい火山灰土壤に対してより大きいこれらの効果が現われ、成分吸収後のイオン強度は諸イオンのある定った溶存性に支配される傾向が現われると思われる。しかし、外液中のイオン強度を同一に保とうとする土壤の緩衝性は養分吸収係数だけでは決められない。また、土壤による大部分の成分の吸収時と希釈処理後のイオン強度は一義的に養分吸収係数と関連付けられず、活量との関連からイオン成分の溶存性と養分吸収係数を考えることに大きな意義があると思われる。

外液の活量から求めたリン酸およびアンモニウムの各ポテンシャルは、比較的両成分吸収係数に対応した。したがって、それぞれの土壤に吸収された成分の溶出性は水希釈操作だけでなく、その他の酸性矯正のための石灰添加、あるいは他成分の肥料施肥などでもポテンシャル値に対する緩衝性が現われて、それぞれの土壤のもつポテンシャルを参考にすればよい指標となり得ると思われる。例えば仮りに phosphoric acid potential を 9 ammonium potential を 5 とし、外液の pH を 6, 7, 8 とすれば、 H_2PO_4^- イオンについてはそれぞれの pH で 0.001, 0.01, 0.1 モル/l と溶存性を増し、 NH_4^+ イオンについてはそれぞれ 0.1, 0.01, 0.001 モル/l とその溶存性を減少させる。すなわち、pH の増加で、リン酸の吸収は抑制され、溶出は促進する傾向である。また、アンモニヤの場合は全く逆の傾向を示す。しかし、反応系を支配する平衡は絶対ではなく動的であるために各ポテンシャル自身にも変化がある。また、このような条件においては吸収された成分自体も均一純正の化合物を生成する保証もないことも加わってポテンシャルの変化があると考えられる。

水素イオンについて吸収イオン成分の関係を示したこれらのポテンシャルは異なった養分吸収係数を示す鉍質酸性土壤と火山灰土壤に対して同一な値を示す実験結果もあり、吸収成分の量的関係と吸収力とをこれらのポテンシャルで示すには一元的に示されない欠点がある。そこで、アンモニウムイオンを対象としての phosphate potential を算出し、リン酸吸収係数と対応すると相互の関係を一元化して表現し得ることがわかった。SCHOFIELD³⁾は溶存するカチオンとしてカルシウムドミナントな溶存系を考

る場合に、植物に対する有効性リン酸の評価方法として $\text{pH}_2\text{PO}_4 + \frac{1}{2}\text{pCa}$ (カルシウムを対象とした時の phosphate potential) を提案した。そして、通常の耕地土壤でその値が 5.5 近辺ならば豊富なリン酸供給状態を予想し、8.5 以上であるならば殆んど作物に対してリン酸不足状態を予測する極めて簡易なしかも合理的なリン酸施肥の基準化を意図したものである。もちろん、このような値と本実験結果はカチオンの違いまたはリン酸吸収係数測定というリン酸イオンの濃い条件などで直接比較することはできない。しかし、吸収成分量の増加がアンモニウムイオンとの対象における phosphate potential の増加と関連しており本実験条件以外の方法による養分吸収係数と成分溶存性の関係をさらに理解されるならば、これらの phosphate potential は土壤の成分吸収力を示唆し得るものと思われる。また、さらに希薄溶液における成分溶存性と養分吸収係数の関係が明らかになれば、これらのポテンシャルはリン酸施肥の基準値として大きな意義をもつものとなる。

V. 要 約

本報は中性 2.5% リン酸アンモニウム溶液 (常法) による土壤の養分吸収係数測定法で吸収したリン酸およびアンモニウムの希釈による溶出性について溶液化学的方法で検討を行なった。そして、土壤の養分吸収係数の実体を明らかにすることが目的である。

吸収成分の溶出性については常法による成分吸収後に水による倍量希釈を行なっており、濾別液中の主要イオン成分の溶存性、化学ポテンシャルの変化などを考察し、以下の結果を得た。

1. 土壤の養分吸収係数は当初の成分溶存性により強く影響を受け、水希釈の影響は大きくなかった。しかし、水希釈操作は各ポテンシャルの変化に影響を及ぼした。

2. リン酸の各イオン濃度は外液の pH にそれらのイオンの配分が支配され、リン酸吸収係数に対応しない場合が多い。

3. 外液のイオン強度は成分の吸収によって影響を受けるが、水希釈によるそれらの変化は希釈による効果だけでなく、吸収成分の溶出による影響も受けた。

4. リン酸とアンモニウムの水希釈による行動の類似はリン酸の吸収に起因するアンモニウムの溶存性が推察される。

5. アンモニウムイオンを対象とした phosphate potential は土壤の養分吸収係数とよい対応を示し、

養分の土壌による吸収力を示唆するものと考えられる。

文 献

- 1) 川村三郎・中島照夫：本誌，7，49～62(1974).
- 2) 原田登五郎・久津那浩三：農業技術研究所報告，**B10**，37～79(1960).
- 3) R.K.SCHOFIELD：Rothamsted Experimental Station(Lawes Agricultural trust) Report for 1949, 29P.
- 4) 本谷耕一・吉野喬：東北農業試験場研究報告，**32** 41～63(1965)

(昭和49年11月1日受理)