土壌の養分保持能に関する研究第1報

誌名	日本土壌肥料學雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者名	今井,弘樹 岡島,秀夫
発行元	日本土壌肥料學會
巻/号	50巻1号
掲載ページ	p. 33-39
発行年月	1979年2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

土壌の養分保持能に関する研究（第1報）

CEC，AEC が土壌溶液のイオン濃度におよぼす影響*

今井弘樹**・岡島秀夫**

土壌の作物培地としての諸機能のなかで，肥料成分などの作物養分の保持能は基本的なものとしてあげられる。これまで土壌固相の荷電状態や，交換基の性質については数多く報告されているが，固相と液相との関係については比較的限られている。また，土壌溶液注1)のイオン濃度・組成の支配要因としての固相の役割については不明な点が多いが，土壌溶液のイオン濃度は土壌の養分供給能の強度因子と考えることができる。その意味で土壌溶液のイオン濃度の支配要因としての固相の諸性質を解明することは，作物培地としての土壌の役割を考える上で重要な知見を与えうると思われる。

畑状態の土壌溶液に関しては，すでに木下・小浜[1]，Yamazaki and Kishita[2] によって種々のアンモニウム塩，カリウム塩添加時の動態が報告されている。筆者らも畑苗代[3]やトウモロコシ畑[4]の土壌溶液について調査したところ，Yamazaki らと同様に硫酸根肥料の多用により土壌中に硫酸カルシウムが生成することを認めたが，ある種の火山灰土壌では溶解度積から推察すると硫酸カルシウムは未飽和であるのに対し，土壌溶液の硫酸濃度が低濃度に保たれる現象も認め，土壌によるアニオン吸着作用を推定した。こうしたことは，土壌の養分保持作用がカチオンの吸着のみならず，難溶性化合物の生成や固相とアニオンの反応も含めた複雑な機構であることを示唆している。

本研究は土壌の養分保持能におけるカチオン交換容量（CEC）とアニオン交換容量（AEC）の役割を，土壌溶液および水抽出液の解析を通して明らかにしたいと考えるものである。

1. 実験方法

実験には北海道大学農学部圃場土壌（北大土），北海道農業試験場草地研圃場土壌（月寒土），酪農学園大学圃場土壌（野幌土）の3種の土壌を供試した。

各土壌に硫酸カリウム，塩化カリウムをそれぞれKとして乾土 100 g あたり，0，1.0，2.5，5.0，7.5，10.0，12.5，17.5，20.0，25.0，30.0 me の 11 段階に溶液状態で添加し，水分を含水率 40% に脱塩水で調節後，4 ℃ の低温室に4日間放置し，その後室温に一晩放置し土壌温度を室温と同一にした。なお月寒土については pH 変化の影響をみる目的で炭酸カルシウムを Ca として 10 me/100 g 土，粉末で添加し，同様に硫酸カリウムを 30 me/100 g 土まで添加した処理をもうけた。添加塩と土壌の反応を平衡状態にした後，遠心法により 13,000 rpm，15 分間，pF 4.2 までの土壌溶液を採取した。

土壌溶液の採取条件については山崎・木下[5]による詳細な検討が報告されているが，本実験においても同報告と同様の予備実験を行ない，上記の温度条件，静置日数で硝酸化成が認められないこと，塩添加後 24 時間で土壌溶液の各イオン濃度が一定となり，10日後にもイオン組成に変化のないことを確認している。土壌溶液採取と同時に土：液比 1：5 の水抽出液を採取した。

土壌溶液，および 1：5 水抽出液の分析項目と方法は以下のとおりである。

pH はガラス電極法，電気伝導度（EC）は電極法，アンモニウムおよび硝酸態窒素はコンウェイ微量拡散法，カルシウム，マグネシウムは原子吸光光度法，カリウム，ナトリウムは炎光光度法，硫酸は塩化バリウムゼラチンによる比濁法[6]，塩素はチオシアン酸水銀による比色法[7]により分析した。

土壌の理化学的性質の測定は次の方法で行なった。全炭素は Coleman 社製 C·H コーダーによる。粒径組成はピペット法，遊離酸化物は Tamm 法，Mehra-Jackson 法，粘土中の遊離鉄，アルミニウム，アロフェン量は，Hashimoto-Jackson 法，CEC および交換性カチオン量は pH 7.0 の 1 N 酢酸アンモニウムによる Schollenberger 法，吉田法[8]による i-charge，o-charge 量，pH 荷電曲線は Schofield[9] に準じて 0.2 N NH_4Cl 液および 0.2 N $(NH_4)_2SO_4$ 液で測定した。吸着された硫酸は Fox[10] らの方法により P として 500 ppm の $Ca(H_2PO_4)_2$ で抽出し，比濁法で測定した。また粘土画分を常法により脱鉄・脱アロフェン処理し，定方位試料のX線回折により主要粘土鉱物種を同定した。

* 本報の要旨は昭和51年12月8日，日本土壌肥料学会北海道支部会で発表した。

** 北海道大学農学部（札幌市北区北9条西9丁目）

昭和 53 年 10 月 20 日受理
日本土壌肥料学雑誌 第 50 巻 第1号 p. 33～39 (1979)

注1) ここで土壌溶液とは土：液比の比較的大きい土壌液相を意味する。

第1表　供試土の二，三の性質

土壌	pH		全炭素	粒径組成 %			土性	Tamm 可溶 mg/100g土			mg/100g土*	mg/100 mg 粘土**		備考
	H_2O	KCl	%	Clay	Silt	Sand		SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	Fe_2O_3	Fe_2O_3	遊離アルミ+アロフェン	
北大土	5.50	4.73	5.29	26.1	38.9	35.0	LiC	466	1710	1210	2710	13.4	5.2	褐色低地土
月寒土	5.63	4.90	4.16	16.9	29.2	53.9	CL	1110	1780	3170	3670	18.2	10.0	淡色クロボク土
野幌土	6.04	5.64	7.77	29.5	38.5	32.1	LiC	1250	1840	3340	3010	20.4	5.3	未熟火山灰を伴う疑似グライ性褐色森林土

* Mehra-Jackson 法　　** Hashimoto-Jackson 法

土壌溶液のイオン濃度，とくにイオン対の解析は別報[3]と同様，Adams[11]の提唱するコンピューターによるくりかえし計算法によった。

2. 実験結果

1) 供試土の理化学的性質

北大土はモンモリロナイト，カオリナイト，イライトなどの結晶性粘土鉱物を多く含むが，月寒土は石英以外X線回折の明瞭なピークがなく無定型物質からなる。野幌土はカオリナイトが主体であるが樽前山火山灰a層が混入している[12]。供試土の養分保持に関与する主要な性質についてみると第1表のように，北大，野幌土は土性が LiC であり炭素含量も 5.29，7.77%と多いが，月寒土は粘土含量，炭素含量ともそれぞれ他土壌より少ない。月寒，野幌土は Tamm 試薬可溶の遊離三・二酸化物を多く含んでいる。とくに Al_2O_3 は北大土の 1210 mg に比べて，それぞれ 3170，3340 mg と多い。

Mehra-Jackson 法による遊離鉄含量は月寒土が多く，ついで野幌・北大土の順に少ない。粘土画分中の遊離鉄は野幌土で多いが，遊離アルミニウムとアロフェンは月寒土が他土壌よりほぼ2倍多く含んでいる。

Schollenberger 法による CEC と交換性カチオン量（第2表）は北大，野幌土でともに多く，月寒土は CEC，交換性カチオンともに少ない。とくにカルシウムは 3.82 me/100 g と少ない。吉田による *i*-charge，*o*-charge 量（第3表）は各土壌とも全 charge 中 *o*-charge の割合が高く，60% 以上であり，野幌土は 71% を占めている。*o*-charge，*i*-charge 量の絶対量から考えると北大土は相対的に1価カチオンとの親和力が強く，月寒土は弱いと考えられる。野幌土は両者の中間的である。

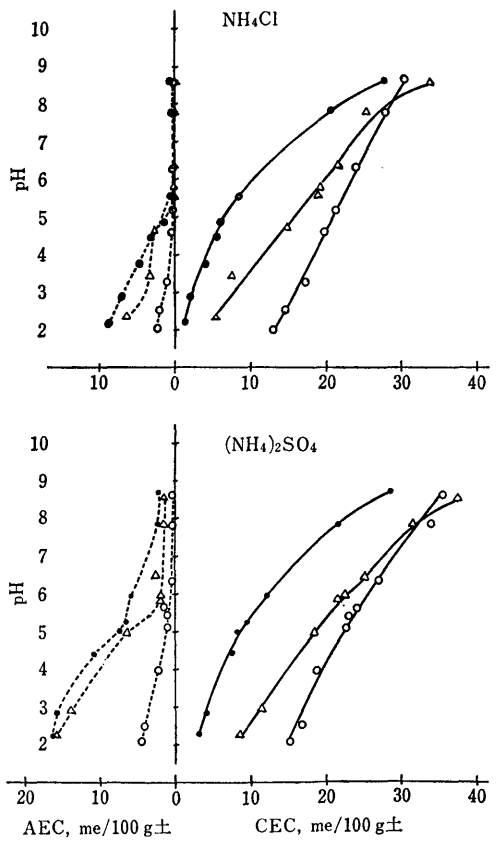
第2表　Schollenberger 法による土壌の CEC と交換性カチオン

土壌	CEC	交換性カチオン me/100 g 土					飽和度
	me/100 g	Ca	Mg	K	Na	計	%
北大土	32.3	17.8	2.10	1.11	0.32	21.3	66
月寒土	18.1	3.82	0.24	0.86	0.16	5.08	28
野幌土	34.4	21.5	0.59	0.78	0.43	23.3	68

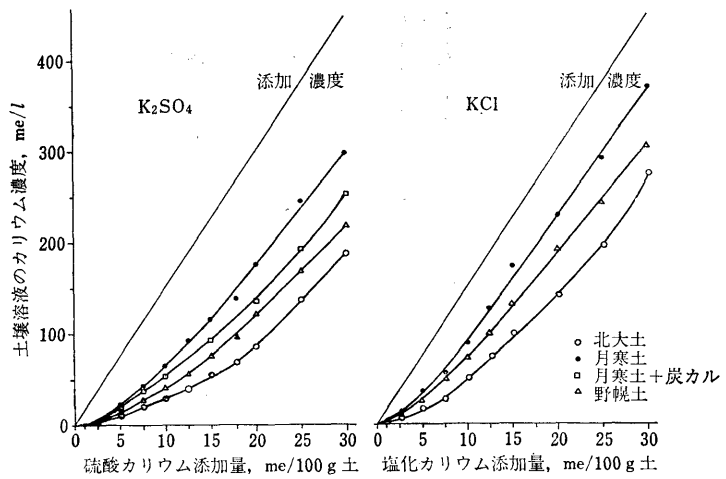
第3表　供試土壌の *i*-charge，*o*-charge (pH 7.0) 量

土壌	me/100 g 土			全 charge に占める割合 %	
	i-charge	*o*-charge	全 charge	*i*-charge	*o*-charge
北大土	15.2	21.9	37.1	41	59
月寒土	7.0	12.8	19.8	35	65
野幌土	10.7	25.9	36.5	29	71

Schofield[9] 法により測定した pH 荷電曲線（第1図）



第1図　NH_4Cl, $(NH_4)_2SO_4$ で測定した pH 荷電曲線
○ 北大土　　—— 負電荷
● 月寒土　　--- 正電荷
△ 野幌土



第2図　硫酸カリウム，塩化カリウム添加による土壌溶液のカリウム濃度の変化

ウム，塩化カリウムとも土壌溶液のカリウム濃度は北大土で低く維持され，ついで野幌，月寒土で高くなる。月寒土の炭カル添加では無添加より低濃度に維持された。また硫酸カリウムは塩化カリウムより全般的にカリウム濃度が低濃度に維持される。このことは YAMAZAKI and KISHITA[2] らの結果と一致する。北大土ではその傾向が他土壌より相対的に大きい。

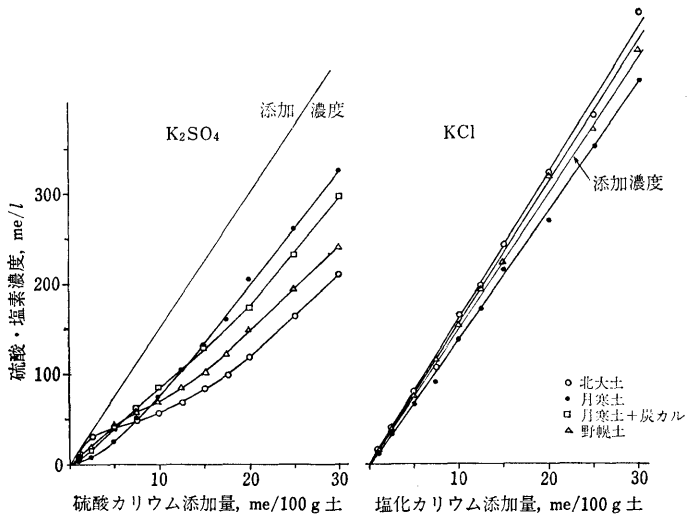
次に，土壌溶液の硫酸と塩素濃度を第3図に示した。北大土では硫酸濃度は 2.5 me/100 g 添加まで直線的に上昇し，添加量が全量液相にとどまったときの濃度（図には添加濃度と表示）とほぼ同じである。月寒土では添加量が少ない段階から硫酸濃度は添加濃度より低く維持されており，他土壌より低濃度であるが，10 me/100 g 以上の添加では他土壌より高濃度となり，北大土のように濃度が横ばい状態になることはない。野幌土は 5me/100 g の添加までは直線的に上昇するが添加濃度より低濃度に推移している。その後 10 me/100 g まで濃度は横ばい状態になり 10 me/100 g 添加以後再び上昇した。

塩化カリウム添加により土壌溶液の塩素濃度は直線的に上昇する。北大，野幌土は 10 me/100 g 添加までは添加濃度とほぼ同一であるが，北大土ではその後添加濃度より高くなる傾向にあった。月寒土は北大，野幌土より低濃度であり，添加濃度より低く維持された。

についてみると，CEC は 0.2 N NH_4Cl, 0.2 N $(NH_4)_2SO_4$ の両塩で値に大きな違いはなく，いずれも pH の高いほど CEC は高くなり，とくに月寒，野幌土でその傾向が著しい。AEC は pH の低いほど高い値を示すが，NH_4Cl と $(NH_4)_2SO_4$ では異なる値を示し，$(NH_4)_2SO_4$ の方が高い値を示した。NH_4Cl では pH 6.0 以下で AEC が生成し，月寒土＞野幌土＞北大土の順に大きな値を示した。$(NH_4)_2SO_4$ では pH 8.0 でも AEC が生成しており，pH 2.0 では月寒，野幌土とも 16 me/100 g，北大土では 4.5 me/100 g の値を示した。

2）硫酸カリウム，塩化カリウム添加による土壌溶液イオン濃度の変化

第2図に土壌溶液のカリウム濃度を示した。硫酸カリ

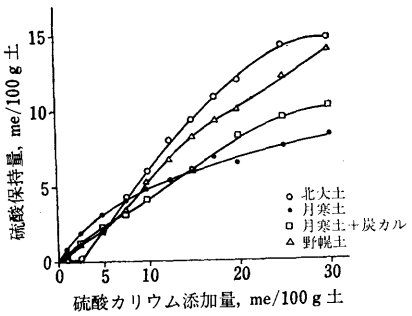


第3図　硫酸カリウム，塩化カリウム添加による土壌溶液硫酸，塩素濃度の変化

3. 考　察

土壌溶液のカチオン濃度は存在するアニオンの種類と量におもに規制されていることを，これまで報告してきた[3,4]。本実験においても硫酸カリウムは塩化カリウムより土壌溶液濃度が低く維持されることを観察した。しかしながらこの傾向は，北大，月寒，野幌の三土壌により異なっており，また塩の添加量によっても変化している。

塩素は，通常土壌中に見出されるカルシウム，マグネシウム，ナトリウムとは難溶性塩を生成せず，安定なイオン状態で液相にとどまりやすい。そのために土壌溶液の塩素濃度は，固相表面による吸



第4図 土壌の硫酸保持量

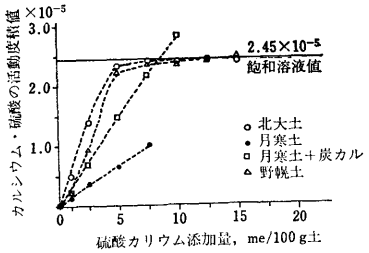
着と反発に支配される[13,14]。一方，硫酸は土壌中のカルシウムと反応して難溶性の石膏となることが知られている[3,15]。

供試した土壌のうち，北大土の特徴は SCHOFIELD 法による AEC が小さく，塩素，硫酸ともに吸着容量は小さい。月寒は AEC が大きく，とくに硫酸吸着容量は北大土の4～5倍におよんでいる。この AEC の特性が硫酸カリウム添加の初期段階に大きく現われている。すなわち北大土は 2.5 me/100 g の添加まで硫酸は大半が液相にとどまり，土壌溶液濃度は直線的に上昇する。月寒土では 1 me/100 g の添加ですでに硫酸は北大より低濃度に維持されている。第4図は第3図（左）を書き変えたもので，硫酸カリウム添加量と，土壌の硫酸保持量の関係を示したものである。ここでいう保持量は添加量と液相濃度の差であり，物理的吸着と沈殿によって，液相から消失したものである。第4表に硫酸カリウム添加時の土壌溶液 pH と AEC を示した。北大土では 2.5 me/100 g まで硫酸の保持はほとんどない。この時の土壌溶液 pH は 6.14 であり対応する AEC は 1.0 me/100 g である。保持量が少ないことはこの pH と AEC から理解される。ついで，添加量の増加にしたがい保持量が増えていくが，硫酸カリウム 5 me/100 g の添加で土壌溶液 pH は 6.09 であり，AEC は同様に 1.0 me/100 g にすぎないためこの保持量の増加は正荷電による吸着とは考えられない。

第4表 硫酸カリウム添加量と土壌溶液 pH，AEC*

土壌	塩添加量 me/100g 土	土壌溶液 pH	AEC me/100 g
北大土	2.5	6.14	1.0
	5	6.09	1.0
月寒土	5	5.98	6.0
月寒土+炭カル	5	7.49	3.0
野幌土	2.5	6.40	1.6
	5	6.45	1.6

* 第1図 $(NH_4)_2SO_4$ 測定 AEC



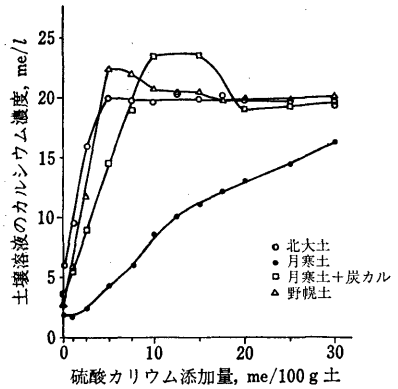
第5図 土壌溶液のカルシウム硫酸の活動度積値

月寒土は 5 me/100 g の添加で土壌溶液 pH は 5.98 で，AEC は 6.0 me/100 g である。硫酸の保持は土壌溶液の pH と対応する正荷電量から判断してアニオン吸着現象として理解される。こうした硫酸と土壌の反応における pH と AEC の影響は月寒土の炭カル処理土についてみると，さらに明らかである。炭カルの添加により土壌溶液 pH が上昇すると第3図にみられるように硫酸カリウム 12.5 me/100 g 添加までは硫酸濃度は無添加に比べ高濃度に推移する。第4表から推察できるように土壌溶液 pH の上昇により AEC が減少したために硫酸保持量が低下したと思われる。

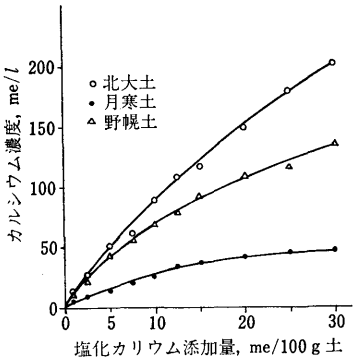
このように硫酸カリウムの添加量が少ない段階では硫酸保持量は土壌の AEC に支配される。しかし添加量が北大土で 5 me/100 g，月寒土の炭カル添加土では 12.5 me/100 g，野幌土では 7.5 me/100 g 以上になると硫酸保持量は AEC とは関係なく急激に増加している。第5図に土壌溶液の硫酸とカルシウムの活動度積値を示した注2)。北大，野幌土では硫酸保持量が急激に増加する5～7.5 me/100 g の添加量で，活動度積値は石膏の溶解度積値にほぼ達しており，これらの段階で石膏の飽和溶液の状態になっていることを示している。

月寒土は 7.5 me/100 g の添加量でも活動度積値からみると，石膏に対して未飽和溶液である。月寒土の炭カル添加土では 10 me/100 g の添加量で石膏の飽和溶液となっている。以上のことは北大，月寒，野幌土において土壌溶液の硫酸濃度の支配要因がそれぞれ異なっていることを意味している。北大土は AEC が小さいために初期の硫酸吸着が少なく，石膏の飽和濃度にいたるまで大半が液相にとどまり，ついで硫酸と結合しうるカルシウムが制限因子になるまで硫酸カルシウムの飽和溶液となる。月寒土は AEC が大きく，硫酸は土壌に吸着され土壌溶液濃度は低濃度に維持される。野幌土は硫酸吸着

注2) 活動度積の計算にあたり硫酸濃度が高い土壌溶液については，くりかえし計算の第一段階で $CaSO_4^0$ のイオン対量が実測カルシウム濃度より多くなり，計算は ADAMS[11] の指摘する発散状態となり，各値が一定値に収れんしないために計算および図示は省略した。



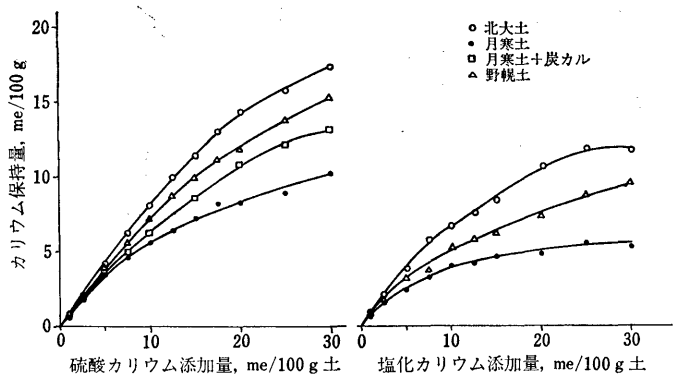
第6図　硫酸カリウム添加による土壌溶液のカルシウム濃度の変化



第7図　塩化カリウム添加による土壌溶液カルシウム濃度の変化

と石膏生成の両作用が働いている。炭カル無添加の月寒土では石膏が生成しがたいが，この点について次に考察する。

第6，7図に土壌溶液のカルシウム濃度を示した。塩化カリウム添加ではカルシウム濃度は平滑に上昇している。硫酸カリウムでは北大土，野幌土，および月寒土の炭カル添加土のカルシウム濃度は，添加に伴い 7.5～10 me/100 g にいたるまで直線的に上昇し，石膏の飽和溶液となる添加量の範囲で濃度はほぼ 20 me/l に維持されている。炭カル無添加の月寒土は硫酸カリウムの添加量が少ない段階から他土壌より低濃度に推移している。この月寒土においてカルシウム濃度が上昇しがたいことが，石膏の生成を困難にしている要因であると思われる。月寒土は交換性カルシウムが 3.82 me/100 g と他土壌に比べ少なく，さらに土壌の i-charge が少ないためにカリウムの吸着力が弱く，カリウムとカルシウムの交換が起りにくいために，土壌溶液のカルシウムの濃度が低濃度に推移していると思われる。このように月寒土においては，土壌溶液のカルシウム濃度が低いために，硫



第8図　土壌のカリウム保持量

酸カリウム 12.5 me/100 g 添加以後，土壌溶液の硫酸濃度が他土壌より高濃度となっても石膏の飽和溶液とならないと思われる。月寒土の炭カル添加土のように遊離のカルシウムが多く存在すると北大，野幌土のように石膏の飽和溶液となることからもこの点は理解されよう。

第8図に土壌のカリウム保持量を示した。第2図のカリウム濃度から予測されるように，土壌のカリウム保持量は塩化カリウムより硫酸カリウムのほうが多い。このことは硫酸カリウム添加では石膏の生成とアニオン吸着作用により土壌溶液中の硫酸濃度が塩素濃度より低濃度に維持されるために，溶液の電気的中性原理からアニオン濃度と同様カチオン濃度も低くなり，塩化カリウム添加に比べカリウム保持量が多くなると思われる。また土壌溶液 pH は硫酸カリウム添加では塩化カリウムより高く，そのために第1図にみられるように CEC が大きいことも関連していると思われる。第5，6表に各塩 30 me/100 g 添加時土壌溶液 pH とそれに対応する CEC を

第5表　硫酸カリウム 30 me/100 g 添加時の土壌溶液 pH と CEC*

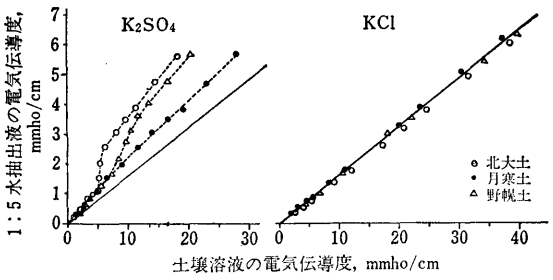
土　壌	土壌溶液 pH	CEC me/100 g 土
北　大　土	5.8	25.5
月　寒　土	6.3	14.4
月寒土＋炭カル	6.8	25.5
野　幌　土	5.4	19.0

*　第1図 $(NH_4)_2SO_4$ 測定 CEC

第6表　塩化カリウム 30 me/100 g 添加時の土壌溶液 pH と CEC*

土　壌	土壌溶液 pH	CEC me/100 g 土
北　大　土	4.4	19
月　寒　土	4.9	8
野　幌　土	5.2	17

*　第1図 NH_4Cl 測定 CEC



第9図 土壌溶液と1:5水抽出液の電気伝導度の関係

示した。月寒土の炭カル処理土で無添加に比べカリウム保持量が増えることも pH の上昇に伴う CEC の増加に起因すると思われる。こうした外液 pH，土壌の CEC，AEC の変化とカチオン，アニオン保持量の関係については今後さらに検討を加えたい。

以上のように土壌と塩の反応はおもにアニオンと固相の反応に律される側面が強く，土壌の AEC は養分保持能において少なからぬ役割を果していると思われる。土壌の AEC はおもに遊離の三・二酸化物やアロフェンに起因するとされている[16~18]。第2表にみられるように，AEC の大きい月寒，野幌土は北大土に比べて Tamm 試薬可溶の遊離鉄，アルミニウム含量が高く，また粘土画分に含まれる遊離鉄，アルミニウム，アロフェン量も多い。両土壌が大きい AEC を示すことは，この土壌中の三・二酸化物とアロフェンに起因すると思われる。

本報告ではおもに土壌溶液を対象にして論議をすすめてきたが，第9図に示したように土壌溶液と 1:5 水抽出液の EC の関係は硫酸カリウムと塩化カリウムで異なり，とくに硫酸カリウム添加により石膏が生成する北大，野幌土では 1:5 水抽出液においては液がすべて石膏に対して未飽和溶液となるために，硫酸カリウムの添加量に対応して EC は上昇し，土壌溶液のような EC の停滞は認められない。したがって 1:5 水抽出液のように土：液比が小さい条件は，土壌中の難溶性化合物の生成を観察するときには不都合であり，土壌の養分保持能の研究にあたり充分注意する必要があると思われる。

4. 要 約

土壌の養分保持機構について土壌溶液の解析を中心に論議した。北大土（褐色低地土），月寒土（淡色クロボク土），野幌土（未熟火山灰土を含む褐色森林土）の3種の土壌に硫酸カリウム，塩化カリウムを土壌 100 g あたり 1 me から 30 me まで各段階に添加し，含水率 40 % 条件の土壌溶液を遠心法により採取し，そのイオン濃度を分析した。Schofield 法に準じて 0.2 N NH_4Cl，0.2 N $(NH_4)_2SO_4$ で測定した pH 荷電曲線から，CEC は両塩で大きな差はないが，AEC は $(NH_4)_2SO_4$ で NH_4Cl より大きい値を示した。北大土は CEC が大きく，AEC は小さい。月寒土は CEC が小さく，AEC が大きい。野幌土は CEC，AEC ともに大きい。得られた結果は次のとおりである。

1) カリウム塩添加により土壌溶液のカリウム濃度は上昇するが，硫酸カリウムは塩化カリウムより低濃度に推移する。また CEC の大きい北大，野幌土は月寒土より低濃度に推移した。

2) 土壌と硫酸イオンの反応は3土壌により異なる。北大土はアニオン吸着作用が弱く，硫酸カリウム 2.5 me 添加まで硫酸イオンは大半が液相にとどまるが，それ以上の添加により石膏を生成しほぼ一定濃度に維持される。10 me 以上添加すると濃度は再び上昇した。月寒土は添加量の少ない段階ではアニオン吸着作用により他土壌より低濃度に推移した。野幌土はアニオン吸着と石膏生成の両作用が認められた。

3) 土壌のカリウム保持はアニオンの種類に影響され，塩添加量と土壌溶液 pH およびそれに対応する CEC，AEC に支配される。

謝 辞 土壌溶液の硫酸カルシウムの活動度積値の計算には北大大型計算機センターを利用した。記して謝意を表したい。

文 献

1) 木下 彰・小浜節雄：畑土壌の養分有効性に関する土壌溶液論的研究（第1報），土壌溶液の濃度・組成に対するアンモニア態窒素肥料の化学的形態の影響，土肥誌，36，125~129 (1965)
2) Yamazaki, S. and Kishita, A.: Studies on Soil Solution with Reference to Nutrient Availability. Effect of Various Potassium Fertilizer on Its Behavior in the Soil Solution. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 18, 1~16 (1972)
3) 岡島秀夫・今井弘樹：土壌の養分供給能に関する研究（第4報），畑苗代土壌溶液の無機イオン組成と濃度，土肥誌，47，256~262 (1976)
4) 岡島秀夫・今井弘樹：同上（第5報），畑土壌の水分状態と養分の可給性，土肥誌，47，563~570 (1976)
5) 山崎慎一・木下 彰：土壌溶液の遠心分離による採取法について，土肥誌，40，301 (1969)
6) 半谷高久：水質調査法，p. 232，丸善 (1960)
7) 同上：同上，p. 226
8) 吉田 稔：土壌の吸着能に関する研究（第3報），塩基吸着基の吸着特性による分類とその分別定量，土肥誌，28，195~198 (1957)
9) Schofield, R. K.: Effect of pH on Electric Charges Carried by Clay Particles. *J. Soil Sci.*, 1, 1~8 (1950)
10) Fox, R. L., Olson, R. A. and Rhoades, H. F.: Evaluating the Sulfur Status of Soils by Plant and Soil Tests. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28, 244~246 (1964)

11) Adams, F. : Ionic Concentrations and Activities in Soil Solutions. *ibid.*, **35**, 420～426 (1971)
12) 北農試土性調査報告書，第 15 編，石狩国南部および胆振国東部土性調査報告，p. 72 (1966)
13) Bower, C. A. and Goertzen, J. O. : Negative Adsorption of Salts by Soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **19**, 147～151 (1955)
14) Gebhardt, H. and Coleman, N. T. : Anion Adsorption by Allophanic Tropical Soils; Chloride Adsorption. *ibid.*, **38**, 255～259 (1974)
15) Rance, J. M. and Davey, B. G. : Determination of the Solubility Product of Soil Constituents Such as Gypsum. *ibid.*, **32**, 670～672 (1968)
16) Sumner, M. E. : Effect of Iron Oxides on Positive and Negative Charges in Clay and Soils. *Clay Min. Bull.*, **5**, 218～226 (1963)
17) 飯村康二：アロフェンおよび火山灰土壌の酸性とイオン交換，農技研報，**B 17**，101～157 (1966)
18) Hussain, A. and Kyuma, K. : Charge Characteristics of Soil Organomineral Complexes and Their Effect on Phosphate Fixation. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **16**, 154～162 (1972)