

# 牧草のカルシウムとマグネシウム吸収に及ぼす土壌中のこれら塩基の相互作用

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	木村, 武 倉島, 健次
巻/号	54巻4号
掲載ページ	p. 281-287
発行年月	1983年8月

# 牧草のカルシウムとマグネシウム吸収に及ぼす 土壌中のこれら塩基の相互作用\*

木村 武\*\*・倉島健次\*\*

キーワード 拮抗作用, Ca/Mg 比, 交換性 Al

## 1. はじめに

牧草の飼料品質としての塩基成分組成（以下、ミネラル品質と呼ぶ）はウシの健康と関係し重要であり、カルシウム (Ca) とマグネシウム (Mg) は一定量以上含まれねばならないと同時に K/(Ca+Mg) 比のいわゆる塩基バランスが適正に保持されることが必要であるとされている<sup>7,13)</sup>。一方、作物による塩基吸収は土壌中での塩基成分の絶対量とともに相互のバランスの影響を受ける。カリウム (K) は作物による Ca, Mg 吸収に対して大きな拮抗要因であり<sup>7,8,11)</sup>、とくに家畜ふん尿を多量に土壌へ還元すると土壌中の K 含量を高めて飼料作物の Ca, Mg 含有率を低下させ、ミネラルバランスを乱すことが知られている。したがって、牧草のミネラル品質に及ぼす土壌塩基のバランスの影響を明らかにすることは草地土壌の適正管理のうえから重要である。

一般に Mg は植物の Ca 吸収に対して拮抗的に作用することが知られているが<sup>21,24)</sup>、一方、Ca が Mg 吸収に及ぼす影響については、Ca が Mg 吸収を抑制するという報告<sup>12,14,23,25)</sup>と、逆に促進するという報告<sup>2)</sup>があり明確ではない。

本報告では、牧草の Ca, Mg 吸収に及ぼす土壌中の Ca, Mg 相互のバランスの影響、およびこれと土壌の種類との関係について検討した。

## 2. 実験方法

### 1) ポット栽培試験

西那須野土壌および天北土壌を用いてオーチャードグラス (アオナミ) によるポット栽培試験を行なった。第 1 表に両土壌の化学的性質を示したが、いずれも野草地土壌で、西那須野土壌は多腐植質黒ボク土 (おもな粘土鉱物は非晶質物であるが、結晶性粘土鉱物もかなり含む<sup>20)</sup>) で陽イオン交換容量 (CEC) は大きく、リン酸吸

収係数が高く、交換性アルミニウム (Al) 含量は少ない。一方、天北土壌は褐色森林土 (おもな粘土鉱物は 2:1 型<sup>22)</sup>) で CEC は小さく、リン酸吸収係数がやや高く、交換性 Al 含量の高い土壌である。

試験は 2 回行ない、両試験とも 1/5000 a ポットを使用し、3 反復とした。牧草の栽培は網室内で行ない、試験期間中は土壌水分が最大容水量の 60% を維持するように脱イオン水で灌水した。

試験 I : 西那須野土壌をポット当たり乾土 1.6 kg 充填し、Ca 施用量 4 段階 (5, 10, 15, 20 meq/100 g 乾土)、Mg 施用量 4 段階 (0.05, 0.55, 1.55, 3.55 meq/100 g 乾土) を組み合わせて 16 処理区を設けた。要素はそれぞれ Ca(OH)<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub> を用い全層に混合した。窒素、リン、カリウムは一定量としそれぞれポット当たり N 0.4 g ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1 g (Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O), K<sub>2</sub>O 0.4 g (KCl) を表層約 5 cm に混合した。1979 年 6 月 15 日に播種し、8 月 6 日に地上部を地際から 5 cm で刈り取り収穫した。

試験 II : 原土の交換性 Al 含量が異なる西那須野土壌と天北土壌を用い比較した。西那須野土壌ポットには乾土 1.7 kg を充填し、Ca 施用量 5 段階 (5, 10, 15, 20, 30 meq/100 g 乾土)、Mg 施用量 4 段階 (0.2, 1, 2, 4 meq/100 g 乾土) を組み合わせて 20 処理区を設けた。天北土壌ポットには乾土 2.7 kg を充填し、Ca 施用量 5 段階 (0, 5, 10, 15, 20 meq/100 g 乾土)、Mg 施用量 5 段階 (0, 0.5, 1, 2, 4 meq/100 g 乾土) を組み合わせ 25 処理区を設けた。これら塩基は全層に混合した。窒素は両土壌ともポット当たり N で 1 g、リンは P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> で天北土壌ポットに 1 g、リン酸吸収係数の高い西那須野土壌ポットには 2 g を表層 5 cm に施用した。K は両土壌とも 0.5 meq/100 g 乾土とし全層に混合した。以上の成分は、CaCO<sub>3</sub>(Ca), MgSO<sub>4</sub>(Mg), (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(N), KCl (K) として施用した。1980 年 9 月 2 日に播種し、11 月 5 日に地上部 5 cm 以上を刈り取り収穫した。

### 2) 牧草、土壌の塩基成分の分析

刈り取った牧草は 70°C で通風乾燥後、ステンレス製ワイヤー型粉砕機で粉砕し (<1 mm)、串崎<sup>16)</sup>および倉

\* 本報告の一部は昭和 56 年度土肥学会で発表した。

\*\* 農林水産省草地試験場 (329-27 栃木県那須郡西那須野町 768)

昭和 57 年 11 月 8 日受理

日本土壌肥科学雑誌 第 54 巻 第 4 号 p.281~287 (1983)

第1表 供試土壤の性質

	pH(H <sub>2</sub> O)	置換酸度 y <sub>t</sub>	交換性塩基* (meq)					CEC* (meq)	リン酸吸収係数* (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg)	最大容水量 (含水比)
			Na	K	Mg	Ca	Al			
西那須野土壤	5.2	2.0	0.05	0.3	0.3	0.5	0.7	32	2650	123
天北土壤	5.4	9.6	0.2	0.3	0.7	1.8	3.2	17	1540	74

\* 乾土 100 g 当たり。

島<sup>15)</sup>の記述に準じて 1g の粉碎試料を 50 ml の 1M 塩酸で振盪浸出した。浸出液はろ過し(東洋 No. 6), ろ液を分析に供した。

土壤分析は, 作付ポットと同様に調製した裸地ポット土壤について行なった。土壤溶液は, 試験 I においては生土をそのまま遠心分離 (<pF 3.7) して得た。試験 II では風乾細土の水分を最大容水量の 60% に調整し, 25°C で 24 時間放置後遠心分離 (<pF 3.8) して得た。交換性 Al は YUAN の方法に準じて<sup>4)</sup> 20g の風乾細土を 50 ml の 1M 塩化カリウムで攪拌浸出し, ろ過後 50 ml の 1M 塩化カリウムで土壤を 4 回洗浄して得た。その他の交換性塩基は, 中性 1M 酢酸アンモニウム液で振盪浸出し(土:液=1:50, 1時間), ろ過(東洋 No. 6) したろ液を分析して定量した。ただし, 本報告では土壤中の交換性塩基を土壤溶液中のものと吸着態のものに分けて考察したが, 吸着態塩基として示したものは交換性塩基量から最大容水量の 60% 水分土壤から分離した土壤溶液中に存在する塩基量を差し引いた値である。

以上の塩基成分の定量は, 土壤溶液中の Al はアルミニウム比色法, 交換性 Al は滴定法<sup>4)</sup>, その他の成分のうち Ca, Mg は原子吸光法, K は炎光法によって定量した。

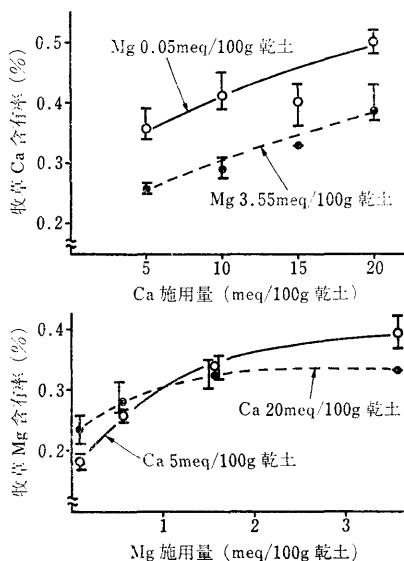
### 3. 結果および考察

#### 1) 試験 I

(1) 牧草の生育および収量: 牧草の生育後期にうどんこ病の発生がみられたが, 生育経過では Ca, Mg 施用の影響はほとんどなかった。また収量は 5~7g/pot で, Ca, Mg 施用量の多少による収量への一定した影響は認められなかった。

(2) 牧草の塩基含有率と土壤の塩基含量: 牧草の Ca 含有率は土壤の Ca レベルの高低に関係なく Mg 施用の増大により低下し, Mg が牧草の Ca 吸収を抑制するという既往の報告と一致した(第1図)。

一方, 牧草の Mg 含有率に及ぼす Ca 施用の影響は, 土壤中の Mg 含量により異なり, Mg 含量が多い場合は Ca 施用の増大により牧草の Mg 含有率は低下したが, 土壤中の Mg 含量が少ない場合は逆の傾向を示し, Ca 増施により Mg 含有率の上昇が認められた(第1図)。



第1図 牧草の Ca, Mg 含有率に及ぼす土壤中のこれら塩基の相互作用

土壤の塩基含量は, Mg 施用量 0.05, 3.55 meq/100g 乾土の場合を第2表に示した。Mg 施用量を増大すると, Mg は吸着態および土壤溶液中のものがともに当然増大したが, Ca は土壤溶液中で増大し吸着態のものがわずかに減少した。しかし, Ca/Mg 比は Mg 施用量が増大すると吸着態および土壤溶液中でともに低下した。したがって, Mg 増施によって牧草の Ca 含有率が低下したのは, Ca/Mg 比が低下し Mg の拮抗作用が増大したためと理解された。一方, Ca の施用量を増大すると, 土壤の Ca は吸着態および土壤溶液中ともに増大したが, Mg は土壤溶液中の濃度が低下し, 吸着態がわずかに増大した。これは Ca 施用にともなう pH の上昇で CEC が増大したためと理解されるが, Ca/Mg 比は吸着態および土壤溶液中ともに上昇した。このことは Ca 増施によって土壤条件としては Mg に対する Ca の拮抗作用が増大する状態にあったことを示している。したがって, Ca 増施によって土壤の Mg が多い場合に牧草の Mg 含有率が低下したことは説明できるが, 土壤の Mg 含量が少ない場合に牧草の Mg 含有率が上昇した現象は土壤の

第2表 土壌の塩基含量\* (試験 I)

施用量 (meq)		pH	吸着態塩基** (meq)				土壌溶液中塩基 (meq)				
Mg	Ca		K	Mg	Ca	Al	Ca/Mg	K	Mg	Ca	Ca/Mg
0.05	5	4.68	0.69	0.40	4.75	0.52	11.9	0.18	0.14	0.77	5.5
0.05	10	4.96	0.68	0.40	7.68	0.28	19.2	0.14	0.12	0.82	6.8
0.05	15	5.28	0.66	0.41	12.64	0.02	30.8	0.16	0.12	1.30	10.8
0.05	20	5.45	0.64	0.42	13.09	ND	31.2	0.10	0.11	1.55	14.1
3.55	5	4.60	0.53	1.94	3.68	0.47	1.9	0.23	1.57	1.27	0.8
3.55	10	4.90	0.47	1.97	6.22	0.13	3.2	0.22	1.42	1.79	1.3
3.55	15	5.14	0.66	2.24	10.50	0.01	4.7	0.17	1.25	2.10	1.7
3.55	20	5.40	0.64	2.21	12.13	ND	5.5	0.17	1.17	2.52	2.2

\* 乾土 100 g 当たり。

\*\* 交換性塩基量 (中性 1 M 酢酸アンモニウム溶液浸出性塩基量) から土壌溶液中塩基量を差し引いた値。

Ca/Mg 比の変化からは説明できず、他の要因の関与を考へねばならない。

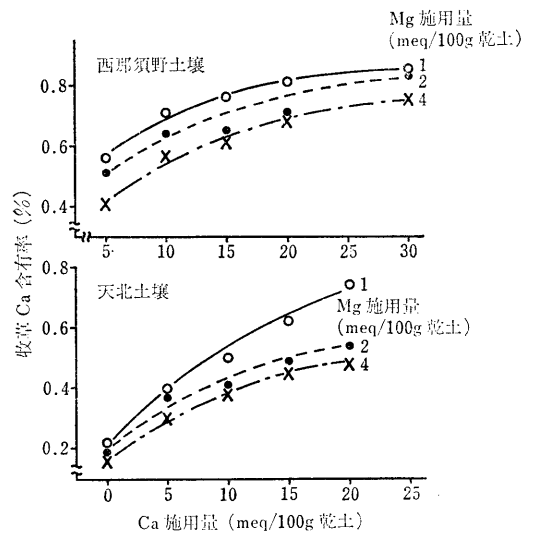
植物による 2 価カチオン吸収に対して Al が阻害作用を示すことはよく知られている<sup>3,27)</sup>。また牧草の場合にも土壌 pH が低い場合、交換性 Al の影響で Mg 含有率が低下する危険性のあることが指摘されている<sup>28)</sup>。一方、土壌の交換性 Al は pH が上昇すると消失するが、本試験の場合も土壌の交換性 Al は Ca 施用の増大にともなって減少した (第 2 表)。したがって、土壌の Mg レベルが低い場合に Ca 施用が Mg 吸収を促進したのは、Ca 施用によって土壌 pH が上昇し交換性 Al による Mg 吸収阻害が軽減されたために起こった可能性がある。

2) 試験 II

(1) 牧草の生育および収量：牧草の収量は 3~5 g/pot で西那須野土壌より天北土壌で若干高かった。また両土壌において収量は Ca 施用量 10~15 meq/100 g 乾土で高く、0~5, 20~30 meq/100 g 乾土で低い傾向があった。とくに天北土壌の Mg 無施用で Ca 20 meq/100 g 乾土施用区は低収で、かつ牧草の葉色は淡黄化し、微量要素欠乏の可能性があった。

(2) 牧草の塩基含有率と土壌の塩基含量：両土壌とも K の施用量は 0.5 meq/100 g 乾土としたにもかかわらず、原土の K 供給力に差があったため試験終了後の裸地ポット土壌の中性 1 M 酢酸アンモニウム浸出性 K は西那須野土壌で 0.61~0.64 meq/100 g 乾土、天北土壌で 0.83~0.88 meq/100 g 乾土と後者で高かった。その影響で牧草の K 含有率は天北土壌で高く、西那須野土壌で低かった。したがって、逆に Ca および Mg 含有率は天北土壌で低く、西那須野土壌で高い傾向があった。

西那須野および天北土壌でともに Ca 吸収に対して Mg は拮抗的に作用して Mg 増施により牧草の Ca 含有率は低下した (第 2 図)。



第 2 図 牧草の Ca 含有率に及ぼす Mg 施用の影響

一方、牧草の Mg 吸収に及ぼす Ca 施用の影響は、両土壌において試験 I の結果と同様に土壌の Mg 含量の多少で異なった。すなわち、土壌の Mg 含量が高レベルの場合 (4 meq/100 g 乾土施用区) は拮抗的に作用して Ca 施用の増大により牧草の Mg 含有率は低下した。この傾向は西那須野土壌でより顕著であった。これに対して土壌の Mg 含量が低レベル (西那須野土壌の 0.2 meq/100 g 乾土施用区、天北土壌の 0~1 meq/100 g 乾土施用区) の場合は逆に Ca の増施により牧草の Mg 含有率は上昇する傾向があり、この Ca 施用による Mg 吸収の促進効果は天北土壌でより顕著であった。また土壌の Mg 含量が前記 2 つの中間 (西那須野土壌の 1~2 meq/100 g 乾土施用区、天北土壌の 2 meq/100 g 乾土施用区) では Ca 施用の影響が明確ではなかった (第 3 図)。

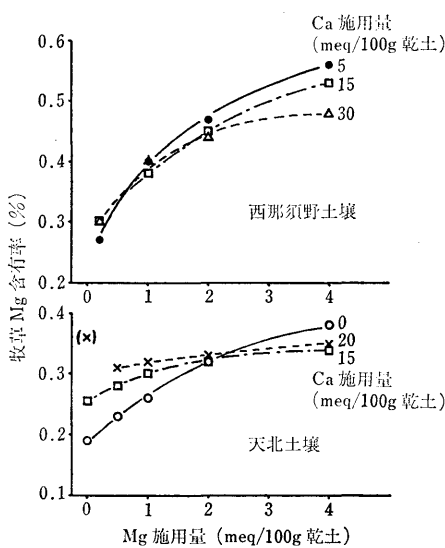
西那須野および天北両土壌の塩基含量を Mg 施用量

第 3 表 土壤の塩基含量\* (試験II)

	施用量 (meq)		吸着態塩基** (meq)			土壤溶液中塩基 (meq)			交換性塩基 (meq)		
	Mg	Ca	K	Mg	Ca	K	Mg	Ca	K	Mg	Ca
西那須野土壤	0.5	5	0.55	0.25	3.96	0.09	0.18	1.16	0.64	0.43	5.12
	0.5	15	0.59	0.35	10.50	0.04	0.15	1.92	0.63	0.50	12.42
	0.5	30	0.58	0.47	20.76	0.04	0.10	2.31	0.62	0.57	23.17
	4	5	0.53	2.37	4.22	0.10	1.43	0.80	0.63	3.80	5.02
	4	15	0.55	2.48	10.95	0.07	1.36	1.94	0.62	3.84	12.89
	4	30	0.57	2.85	20.62	0.04	0.87	2.45	0.61	3.72	23.07
天北土壤	0	0	0.79	0.44	1.25	0.09	0.13	0.39	0.88	0.57	1.64
	0	10	0.82	0.40	8.56	0.04	0.08	1.09	0.86	0.48	9.65
	0	20	0.82	0.26	16.96	0.04	0.05	1.63	0.86	0.31	18.59
天北土壤	4	0	0.78	2.41	1.45	0.09	1.79	0.51	0.87	4.20	1.96
	4	10	0.77	2.71	8.79	0.05	1.20	1.49	0.82	3.91	10.28
	4	20	0.81	2.62	16.67	0.02	0.99	2.47	0.83	3.61	19.14

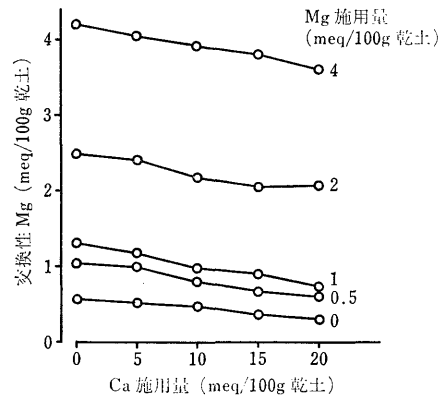
\* 乾土 100 g 当たり。

\*\* 交換性塩基量 (中性 1 M 酢酸アンモニウム溶液浸出性塩基量) から土壤溶液中塩基量を差し引いた値。



第 3 図 牧草の Mg 含有率に及ぼす Ca 施用の影響

が最低と最高の場合について第 3 表に示した。西那須野土壤では試験 I の場合と同じく、Ca 増施による pH の上昇で土壤溶液中の Mg は減少し、吸着態 Mg が増大した。ただし、土壤溶液中と吸着態 Mg の合計値には大きな変化がなかった。したがって、EDMEADES ら<sup>5)</sup>の指摘しているように有機物の多い土壤での Ca 施用は pH 依存性 CEC の増大を介して吸着態 Mg 量を増大させ、流亡による損失を軽減する可能性が考えられる。しかしながら、土壤の Ca/Mg 比は試験 I と同様に Ca 増施で増大し、Ca/Mg 比の変化から Ca 施用による牧草



第 4 図 天北土壤の Mg 含量に及ぼす Ca 施用の影響

の Mg 含有率の上昇機構を説明することはできない。

天北土壤では Ca 施用の増大によって土壤溶液中の Mg が減少するとともに、吸着態 Mg も Mg 施用量の少ない段階では減少し、施用量の多い段階では一定の傾向はなかった。そのため土壤溶液中および吸着態 Mg の合計値はすべての Mg 施用区で Ca 施用量が增大すると減少し (第 4 図)、Ca/Mg 比は土壤溶液中および吸着態のいずれも Ca 施用によってかなり増大した。SUMNER ら<sup>20)</sup>は Ca 施用による pH の上昇で土壤の Mg が固定されて吸着態のものが減少するとし、CHAN ら<sup>1)</sup>も同様の現象を報告している。また GROVE ら<sup>6)</sup>は pH の上昇による土壤の Mg 固定は、おもに Al の沈殿によって Mg が取り込まれるためとしている。したがって、本試験において Ca 施用による Mg 固定が天北土壤でみられ

第4表 土壌の Al に及ぼす Ca 施用の影響

		CaCO <sub>3</sub> 施用量 (meq/100 g)					
		0	5	10	15	20	30
西那須野土壌	pH(H <sub>2</sub> O)	(5.2)*	5.2	5.6	6.0	6.3	6.5
	$y_1$	(2.0)*	1.5	0.5	0.1	0.1	ND
	交換性 Al(meq/100 g)	(0.7)*	0.5	trace	ND	ND	ND
	土壌溶液中 Al(ppm)	—	trace	ND	ND	ND	ND
天北土壌	pH(H <sub>2</sub> O)	4.9	5.5	6.1	6.4	6.9	—
	$y_1$	10.2	1.5	0.3	0.3	0.3	—
	交換性 Al(meq/100 g)	2.3	0.4	ND	ND	ND	—
	土壌溶液中 Al(ppm)	1.2	0.4	0.3	0.2	0.2	—

\* 原土の分析値を用いた。

たのは、交換性 Al 含量が高かったためと考えられる。

以上のように土壌中の Ca と Mg のバランスからみると、両土壌において Ca の施用は Mg の吸収を抑制する方向に作用したとみられ、逆に促進された結果は理解できない。したがって、試験 I での考察と同様に Ca による促進効果は土壌の Al の活性を抑えることによって生じているとみられる。しかも交換性 Al 含量の高い天北土壌でこの促進効果が大きかったのは上記の考察を裏付けている。

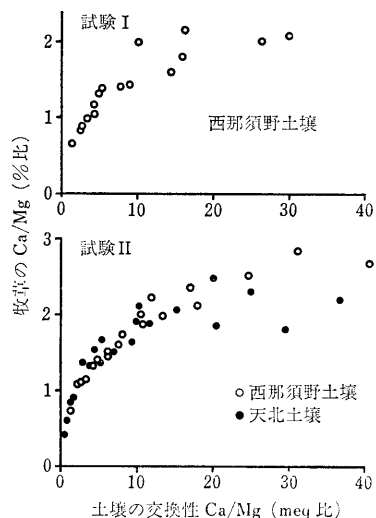
第4表に土壌の交換性 Al の Ca 施用による変化を示した。可溶性の Al 含量は天北土壌で高く、両土壌とも Ca 施用の増大による土壌 pH の上昇にともなって減少した。根によるイオン吸着の選択性は、2価カチオンに比べて3価の Al で非常に高く<sup>18)</sup>、Al は低濃度でも影響を及ぼす可能性がある。Ca 増施により土壌溶液中の Mg 濃度は低下するが、Al 濃度の低下が顕著であるため Al/Mg 比は大きく低下した。したがって、Ca 施用の増大が牧草の Mg 吸収を促進したのは、土壌 pH の上昇を介して Al の活性を低下させることによって生じたものと考えられる。

### 3) 総括

Ca が植物の Mg 吸収に及ぼす影響としては、抑制<sup>12,14,23,25)</sup>、促進<sup>2)</sup>、影響なし<sup>10)</sup>のそれぞれの報告があり明確ではなかった。この点を明確にし、土壌中の Ca と Mg のバランスの意義を明らかにすることが本研究の主目的の一つであった。すでに述べたように Ca 施用は通常土壌 pH の上昇をもたらすため、一方で Mg 吸収に拮抗する Ca を増加させ、他方で Mg 吸収を抑制する交換性 Al を減少させるという相反する影響を与えるものと考えられる。しかし、両者の影響は土壌の Mg 含量の多少によって異なる。すなわち、土壌の Mg 含量が低レベルの場合は Al による吸収阻害の影響が強いため Ca 施用は Mg 吸収を促進する。また土壌の Mg

レベルが高い場合には Al に対する Mg 量が相対的に大きいので Al の影響が小さく、Ca 施用は Mg 吸収に拮抗現象を示すと考えられる。さらに土壌の Mg レベルが中程度で Al と Ca の作用が相殺されるような領域では Ca 施用の影響が現われないとみられる。これまで抑制、促進、影響なしという3つの異なる現象が報告されていたのは以上のような理由によるものと考えられる。一方、土壌の交換性 Al 含量の多少も Mg 吸収に及ぼす Ca 施用の影響を変化させる。天北土壌のように交換性 Al 含量の大きい土壌では Ca 施用は主として Mg 吸収を促進する効果として作用し、西那須野土壌のように交換性 Al 含量の少ない土壌では逆に Ca の拮抗作用が主体となって現われると理解される。

本試験でのもう1つのねらいは、牧草の Ca および Mg 含有率を適正に維持するための土壌中のこれら要素のバランスを明らかにすることであった。第5図に試験



第5図 牧草の Ca/Mg 比に及ぼす土壌の Ca/Mg 比の影響

I, IIにおける西那須野, 天北両土壤の交換性 Ca/Mg 比と牧草の Ca/Mg 比との関係を示した。試験 I, II を通じ, 西那須野, 天北両土壤とも土壤の Ca/Mg 比と牧草の Ca/Mg 比は高い相関を示した。これと同様の結果は, VAN LIEROP ら<sup>17)</sup>がタマネギを用いて報告している。草地土壤における Ca/Mg 比 (meq 比) は 5~10 の範囲にあるのが望ましいとされている<sup>19)</sup>が, 近年草地に積極的に Mg 資材が投入された結果, 土壤中の Ca/Mg 比 (meq 比) が 5 以下である場合が多くみられる<sup>9)</sup>。通常, 牧草の Mg 含有率は Ca 含有率よりも少ないが, 粗飼料の品質として Mg を重視すると牧草の Ca/Mg 比 (%) を 1 程度に維持することが考えられる。この場合には第 5 図から土壤中の Ca/Mg 比 (meq 比) は 2~3 となり, 従来, 草地土壤の改良目標値として示されてきた数値はやや高いことが示唆された。

#### 4. 要 約

西那須野土壤 (多腐植質黒ボク土) および天北土壤 (褐色森林土) を用い, 土壤の Ca, Mg 含量とそのバランスが牧草中のこれら要素の吸収に及ぼす影響をオーチャードグラスを用いたポット栽培試験により検討した。

1) Mg は牧草の Ca 吸収に対し拮抗的に作用し, Mg 増施で牧草の Ca 含有率は低下した。この作用は Ca 施用量, 土壤の種類に関係なく認められた。

2) Ca 施用が牧草の Mg 吸収に及ぼす影響は土壤の Mg 含量により異なり, 促進と抑制の相反する効果として示された。すなわち, 土壤の Mg 含量が高レベルの場合は Ca 増施により牧草の Mg 含有率は低下し, 逆に土壤の Mg 含量が低レベルの場合には上昇し, 土壤の Mg レベルが中間の場合には Ca 施用の影響はみられなかった。

3) このような Mg 吸収に及ぼす Ca 施用の促進と抑制効果は土壤の種類によって異なった。すなわち, 交換性 Al 含量の高い天北土壤では Ca 施用による土壤の Mg 低レベルでの促進効果が主として現われ, 交換性 Al 含量の少ない西那須野土壤では土壤の Mg 高レベルでの抑制効果が主体となって現われた。

4) 2) および 3) の結果から, Mg 吸収に及ぼす Ca 施用の影響が土壤条件によって異なる原因は, Ca 施用の影響が Ca の増大による拮抗作用と交換性 Al を減少することから生ずる促進作用の相反する 2 つの作用をもつためと考えられた。

5) 有機物の多い西那須野土壤では Ca 施用による pH 上昇で pH 依存性 CEC が増大し, 土壤溶液中の Mg が減少して吸着態 Mg が増加した。一方, 天北土

壤では Ca 増施により土壤溶液中の Mg 濃度は低下したが, 吸着態 Mg には大きな変化がなく, Mg の固定が認められた。

6) 牧草の Ca/Mg 比は土壤の Ca/Mg 比と高い相関があり, この関係から牧草の Ca/Mg 比 (%) を 1 程度に保つには土壤の Ca/Mg 比 (meq 比) は 2~3 にする必要があった。

謝 辞 天北土壤は北海道立天北農業試験場土壤肥料科より供与を受けた。また本稿をまとめるに当たり, 草地試験場串崎光男環境部長に校閲いただいた。ここに記して謝意を表します。

#### 文 献

- 1) CHAN, K. Y., DAVEY, B. G. and GEERING, H. R.: Adsorption of Magnesium and Calcium by a Soil with Variable Charge. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43, 301~304 (1979)
- 2) CHRISTENSON, D. R., WHITE, R. P. and DOLL, E. C.: Yields and Magnesium Uptake by Plants as Affected by Soil pH and Calcium Levels. *Agron. J.*, 65, 205~206 (1973)
- 3) CLARKSON, D. T.: Interactions between Aluminium and Phosphorus on Root Surfaces and Cell Wall Material. *Plant Soil*, 27, 347~356 (1967)
- 4) 土壤養分測定法委員会編: 土壤養分分析法, p.86~94, 養賢堂 (1970)
- 5) EDMEADES, D. C. and JUUD, M. J.: The Effect of Lime on the Magnesium Status and Equilibrium in Some New Zealand Topsoils. *Soil Sci.*, 129, 156~161 (1980)
- 6) GROVE, J. H., SUMNER, M. E. and SYERS, J. K.: Effect of Lime on Exchangeable Magnesium in Variable Surface Charge Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45, 497~500 (1981)
- 7) GRUNES, D. L., STOUT, P. R. and BROWNELL, J. R.: Grass Tetany of Ruminants. *Adv. Agron.*, 22, 331~374 (1970)
- 8) 原田 勇: 草地農業における無機 balance に関する研究 (第 1 報), 土壤の無機養分環境条件が牧草体内の無機 balance におよぼす影響について, その I, オーチャードグラス, 酪農学園大学紀要, 3, 262~280 (1970)
- 9) 畠中哲哉・倉島健次・木村 武: 家畜ふん尿施用土壤の土壤管理に関する研究, 1. 化学性からみた草地飼料畑土壤の実態と問題点, 草地試研報, 25, 48~59 (1983)
- 10) HOSSNER, L. R. and DOLL, E. C.: Magnesium Fertilization of Potatoes as Related to Liming and Potassium. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 34, 772~774 (1970).
- 11) HOVLAND, D. and CALDWELL, A. C.: Potassium and Magnesium Relationships in Soils and Plants. *Soil Sci.*, 89, 92~96 (1960)
- 12) JACOBY, B.: Ca : Mg Ratios in the Root Medium as Related Mg Uptake by Citrus Seedlings. *Plant Soil*, 15, 74~80 (1961)
- 13) KEMP, A.: Hypomagnesaemia in Milking Cows. The Response of Serum Magnesium to Alterations

- in Herbage Composition Resulting from Potash and Nitrogen Dressing on Pasture. *Neth. J. Agric. Sci.*, 8, 281~304 (1960)
- 14) KEY, J.L., KURTZ, T. and TUCKER, B.B.: Influence of Ratio of Exchangeable Calcium-Magnesium on Yield and Composition of Soybeans and Corn. *Soil Sci.*, 93, 265~270 (1962)
- 15) 倉島健次：東北地方における草地土壌のミネラル供給力，第1報，牧草のミネラル含有率とその組成について，東北農試研報，55，127~154 (1977)
- 16) 串崎光男：原子吸光分光分析に植物体試料抽出法を併用した Mn, Cu, Zn, Mg 定量の簡易迅速化，土肥誌，39，489~490 (1968)
- 17) VAN LIEROP, W., MARTEL, Y.A. and CESCAS, M.P.: Onion Response to Lime on Acid Histosols as Affected by Ca/Mg Ratios. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43, 1172~1177 (1979)
- 18) 日本土壌肥料学会編：植物と金属元素—その吸収と体内挙動，p.37~86，博友社 (1982)
- 19) 日本草地協会編：昭和 55 年度草地管理指標策定調査委託事業実績報告書—草地管理指標試案 (1981)
- 20) 農業技術研究所化学部土壌第3科：昭和 49 年度研究成果，p.37~44 (1974)
- 21) MOSTAFA, M. A. E. and ULRICH, A. C.: Interaction of Calcium and Magnesium in Nutrient of Intact Sugarbeets. *Soil Sci.*, 121, 16~20 (1960)
- 22) 奥村純一：天北地方に分布する各種土壌とそれに対応する草地造成，管理の基本方式，道立農試研報，22，23~25 (1973)
- 23) SALMON, R.C.: Cation-Activity Ratios in Equilibrium Soil Solutions and the Availability of Magnesium. *Soil Sci.*, 98, 213~221 (1964)
- 24) SANIK, J., Jr., PERKINS, A.T. and SHRENK, W.G.: The Effect of the Calcium-Magnesium Ratio on the Solubility and Availability of Plant Nutrients. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.*, 16, 263~267 (1952)
- 25) STEWART, J.W.B. and MCCONAGLY, S.: Some Effects of Reaction (pH) Changes in a Basaltic Soil on the Mineral Composition of Growing Crops. *J. Sci. Food Agric.*, 14, 613~621 (1963)
- 26) SUMNER, M.E., FARINA, P.M.W. and HURST, V.J.: Magnesium Fixation—A Possible Cause of Negative Yield Responses to Lime Applications. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 9, 995~1007 (1978)
- 27) 高橋達児：酸性火山灰土壌における置換性アルミニウムが裸麦のカルシウム吸収に及ぼす影響，土肥誌，34，88~91 (1963)
- 28) 高橋達児：本邦草地の無機栄養および牧草の無機品質に関する諸問題，2. カルシウム，マグネシウムおよびナトリウムについて，日草誌，23，362~369 (1978)