

信州高原に自生する牧野草中の微量元素濃度に関する研究 I 浅間、八ヶ岳高原および伊那溪谷地帯の野草中の濃度分布

檀原 宏*・建石繁明**・馬場多久男***

On the trace elements concentration in grass on Shinshu high land area

I Distribution of elements concentration in grass on Asama, Nobeyama high land and Ina valley

Hiroshi Danbara, Shigeaki Tateishi and Takuo Baba

ABSTRACT : Cattle grazing grass on Shinshu high land area, take nutrients mostly from their living location. Especially, mineral nutrients are supplied from plants and soils in these district. Many works have been reported, recently, the cause of some unknown cattle diseases were owing to excess or deficiency of these trace elements. To get the basic information for intake of nutrients on grazing cattle, many trace elements were determined in grass grown from the three regions in Shinshu high land area. Grass species obtained for analysis of elements were almost sixty kinds. About twenty five elements were determined from these grass specimens simultaneously by the instrumental thermal neutron activation analysis at Kyoto University Research Reactor (K.U.R.). The concentration of elements shows nearly log-normal distribution. Calculation of several parameters were performed also on the data. It was considered that little problems were found on health of animals for mineral intake on these area under the viewpoints of nutrition and hazard. Correlations between elements were discussed too.

Faculty of Agriculture, Shinshu University

結 言

信州（長野県）は、地理的には日本のほぼ中央に位置し、周囲を高標高の山岳に囲まれた高原地帯である。標高1,000mを越すアルプスの山嶺が連なり、独特の気象、気候を有している。農業的産業は林業を除けば、高冷地の故にユニークな園芸作物（果樹ではリンゴ、ナシなど、野菜ではレタス、白菜など）の栽培が盛であるほか、天竜、千曲などの河川流域には水田作が営まれている。また高冷地に特有な、そばの栽培は往古より有名である。このような背景のもとに、畜産とくに乳牛の飼養は古くから発達し、いわゆる高原酪農地帯として栄えてきた。しかし最近では乳価の低落、輸入の自由化や後継者問題な

どの事情により、従来に比べてかなり不振の状況下にある。これに替わって現今の肉需要の向上から肉用牛の飼養が始められ、一部の地域では銘柄牛作出の気運もみられるようになってきた。さらに北信の一部地域では、広大な山林、原野の草利用の目的から、綿羊の飼養が計画されている。また南信ではすでに実施されているところもある。

以上、信州の置かれている畜産の立地条件は、平野部における中・大規模経営もさることながら、むしろ山間林地を利用した反すう家畜の放牧育成に大きな期待がかけられている。高標高の山野で育成畜を放牧するには、幾多の条件が必要であるが、何よりもまずそこに生育する牧野草類の量と質とが問題となる。すなわち、栄養源となる飼料の条件が確かめられなければならない。

牧野草中の家畜の栄養素には、粗蛋白質、粗繊維など

* 信州大学農学部 畜産学科
** " 園芸農学科
*** " 林学科

の基本的な栄養成分の他に、微量元素としてのビタミン、ミネラル類がある。これら微量栄養素の含量は、牧野草の生育環境に大きく左右され、さらにそれに由来する独特の動植物の生態系が画出されている。

牧野草中の微量元素は、風塵や雨水によって外部に付着した極く一部分を除けば、ほとんどすべてがその生育した土壌に由来する。ここにいわゆる soil-grass-animal の relationship が連鎖しているのである。

近年、家畜の発育、健康に及ぼす微量元素の影響について大きく注目されてきた。その摂取量の過不足が原因となる各種の疾病、生理障害についての研究が活発となり、多くの報告が見られる。川島らの総説によれば、家畜栄養学上で微量元素が登場してきたのは、2つの時期があるという。すなわち、1930年になってからと、1960年以降とである。前の時期では自然条件下で発生する微量元素の欠乏、あるいは過剰による中毒症の研究が中心となって発展した。さらに後期になってからは、主としてその必須性や生体機能、さらには要求量、利用性に関する研究へと進展していった。またこれに先立ち、微量元素の動物との関わりを総説した Underwood の著書は、この方面の研究の大きな先駆をなしている。

家畜における栄養素としての微量元素は、他の栄養素に見られない大きな特徴を有している。多くの学説より要約すると次の通りである。1) 微量元素には、必要量 (requirement) と許容量 (tolerance) の2面が存在する。すなわち、欠乏症を起す限量と、逆に中毒症発現の限界量とが存在する。このことは摂取量の如何によっては栄養素ともなり、有害物質ともなる。2) 各元素間には何らかの相互作用が存在する。或る元素の生体に及ぼす機能は、他の元素による影響を多少に関わらずうけている。たとえば、或る元素が必要量を下廻わっている、他の元素によって代替あるいは補充される現象のあることが知られている。逆に必要量を上廻わっている、他の元素による干渉をうけて、欠乏状態となる場合も報告されている。これはまた過剰摂取の場合にもあてはまる。要するに各元素は、それぞれある一定の範囲内でバランスよく摂取することが必要である。3) 欠乏症、中毒症に到るまでに前段階が存在する。この段階は、それぞれ“不足症”、“過剰症”と呼ばれている。今後、動物の微量元素摂取に関する問題は、上記の3方向からの追求が必要である。

本研究は、信州高原の山間林地で家畜を放牧育成するに際し、その飼料となる牧野草について、微量元素含量の過不足、さらに元素濃度間のバランスを測定したものである。これらの結果を総合して、この地域における畜産利用の拡大に大きく寄与することを目的とした。

調 査

(1) 牧野草の分析用試料の採取

東信および南信地域の一部より採集した。採取地は下記の3地域である。

浅間高原……北佐久郡御代田町字塩野にある、農林水産省草地試験場山地支場の放牧野草地。
ここは、標高約1,200mの自然雑木林地で、試験場では自然放牧に使用している。
(写真1)

八ヶ岳高原……八ヶ岳山麓の野辺山地域にある、信州大学野辺山農場構内の演習林地。標高約1,500mの自然草地で、肉用牛の放牧に使用されている。(写真2)

伊那溪谷地帯……信州大学農学部構内の演習林地ほか、高遠、入笠地域の範囲にまたがる数ヶ所より採取した。何れも標高は約500~800mのところである。(写真3)

これらの位置は、図1に示す通りである。

(2) 牧 野 草

上記の地点より、4~5月、および8~9月にかけて、微量元素分析用の草を採取した。これらは、自生している牧草、野草であって、放牧中の家畜や野生動物が摂食している種類を主とした。草本、木本類が混ったが、採取に当っては、各々種類別に区別し、地上部10cmくらいの高さより切り取った。動物の摂食する部位を重視したからである。付着しているごみ、ほこりなどを丁寧に除き、新聞紙に挟んで研究室に持ち帰った。

試料は水洗したのち、水分を拭い去って秤量。その一部をとって植物全姿を紙上に広げて、軽く圧延して乾燥。草種同定に供した。残部は鋏で細切した後乾燥し、さらに細切して秤量。これをくり返してほぼ2~3mmでいどに刻んで分析用の試料とした。分析には、これを2×2cm²の小型ポリ袋に封入して供試した。

草種同定用の標本は、新聞紙に挟んで圧葉し、防カビ剤を加えてビニール袋に保存した。いっぽう、分析用試料は、10×10cmくらいの紙袋に封入し、デシケーター内に保存した。

約66種類の牧野草を分析に供した。付表に供試した草の名称とその学名を掲げた。(付表)

元素分析

各種の元素を同時に分析するには、従来、発光スペクトル法、焰光々度法、原子吸光法(但し同時分析はできない)および最近ではICP法などが用いられている。これらは破壊法とよばれ、試料をいったん灰化して稀酸に溶解し、その水溶液から元素を定量する。したがってこれでは、灰化中に揮散する元素(ハロゲン属の各元素、



写真1 Asama high land
(The Alpine branch farm: National
Institute of Grass-land Research)



写真2 Yatsugatake high land: Nobeyama
(The Shinshu University Farm)



写真3 Ina valley: Ina
(The Shinshu University Forest)

Hg など) は定量できない。これに対して、非破壊法とよばれる方法があり、蛍光X線分析法、熱中性子放射化分析法がその代表的なものである。

本研究では、できるだけ広く多種類の元素を、感度よく定量する目的から、熱中性子放射化分析法を用いた。これは、原子炉の中で発生する熱中性子を試料に照射し

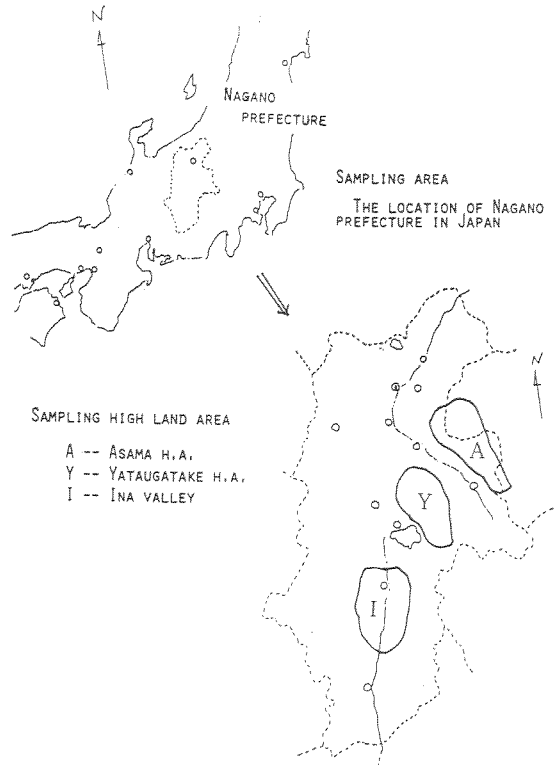


図1 Sampling area
(The location of Nagano Prefecture in
Japan)

て、試料中の元素に原子核反応—— (n, γ) 反応——を起させ、発生する各元素の放射線 (γ 線) を、Ge (Li) 半導体検出器で電気的信号に変え、連結した波高分析器でエネルギースペクトルとして計測するものである。

すべての元素を同時に、かつ高感度、高精度で分析できる手法は、現在まだ開発されていない。上記の方法にはそれぞれ特徴があり、一長一短である。本研究は、個々の元素濃度を正確に求めると同時に、各元素濃度間の相互関係を追求するのが目的であるので、できるだけ多種類の元素を定量することを必要とした。

そこで、熱中性子放射化分析法を用いた。原子炉は、京都大学原子炉実験所に設置されているKUR (出力5 MW) を用いた。照射は圧気送管 (Pn-1, Pn-2 および Pn-3) により、同一試料を、短時間 (10秒) および長時間 (60分) の2回にわけて行なった。短時間照射試料は、照射直後ただちに放射能計測を行なった。ここで測定された元素は、Al, Cl, Mnなどの短寿命の放射性核種である。長時間の照射試料からは、約1週間冷却後、中寿命の核種 (Na, Ca, Br, Sb…など) を測定し、さらに1ヶ月冷却して短、中寿命の放射能を減衰させたのち、長寿命核種 (Cr, Co, Sr, …など) を測定

した。測定時間は、短寿命核種は200秒、中寿命核種は約30～60分、長寿命の場合は2～3時間行なった。

元素の同定および定量は、小山ら¹⁾の開発した中性子スペクトルモニターを標準試料とする、絶体法によった。

結 果

得られた結果は表1に示した。(但しこの値は、その一部である)検出された元素は約25種類に及んだが、定量値として不確かなものは除いた。また、きわめて稀にしか検出されなかったものも採用しなかった。このうち、常量元素とされているもの(Na, Mg, K, …など)は7種類、他は何れも100 $\mu\text{g/g}$ 以下の濃度で存在する微量元素であった。濃度分布を図2に示す。

常量元素の濃度は、草の種類によって多くのバラツキがみられるが、これらの出現頻度を求め図3のヒストグラムを作成した。各元素のヒストグラムの様姿には、次の共通した特徴がみられる。すなわち、その大部分が左右非対象の分布型を示していることである。これはとくにCa, Fe, Mnに著しく、K, Mg, Znではさほどでもない。次に、元素によっては少数の例ではあるが、いちじるしく高い濃度を示した草が存在した。このヒストグラムから、各元素濃度の母集団の分布型は、対数正規型が想定される。従ってこれらは、各数値を対数変換してその分布特性を求めた。特性値(parameter)とし

て、平均値、対数平均値および最頻値を、さらに各値のバラツキの測度として標準偏差を計算した。(表2)この表から、平均値>対数平均値の関係が見出される。このことは、これらの分布型が低濃度(左)側に頂点をもつ非対象型であることを示している。この関係は、K, Ca, Mn, Fe, Cu, Znに現われている。そして平均値、対数平均値が接近している分布は、頂点が中央の正規型に近いことを示すものである。

次に、元素間の相関係数を求めた。これを表3-1に示す。この表から次のことが知られる。すなわち、一般に常量元素濃度間の相関係数は低く、そのほとんどが $r=0.01\sim0.30$ (絶対値)の間にある。正の相関関係にあるものが大多数で、若干は負の関係を示した。(Ca:Na, Mn:Na, Mn:K)この中でも比較的高い相関係数を示した組合せが見出され、これを図4に示した。Fe:Naの相関は最も高く、 $r=0.809$ であるが、このうち1点(Fe=3372.3ppm, Na=2113.3ppm)が、他の値から飛び離れて高い値で、このために r 値を引き上げている。このことは、Cu:Fe(Cu=35.9ppm, Fe=3372.3ppm)およびCu:Na(Cu=35.9ppm, Na=2113.3ppm)の例でもみられる。何れも1個の特異な値によって、全体の相関係数値が高く評価されていることがわかった。これに反して、Zn:Cu($r=0.583$), Cu:K($r=0.563$)およびMg:K($r=0.477$)では、上記のような異常値

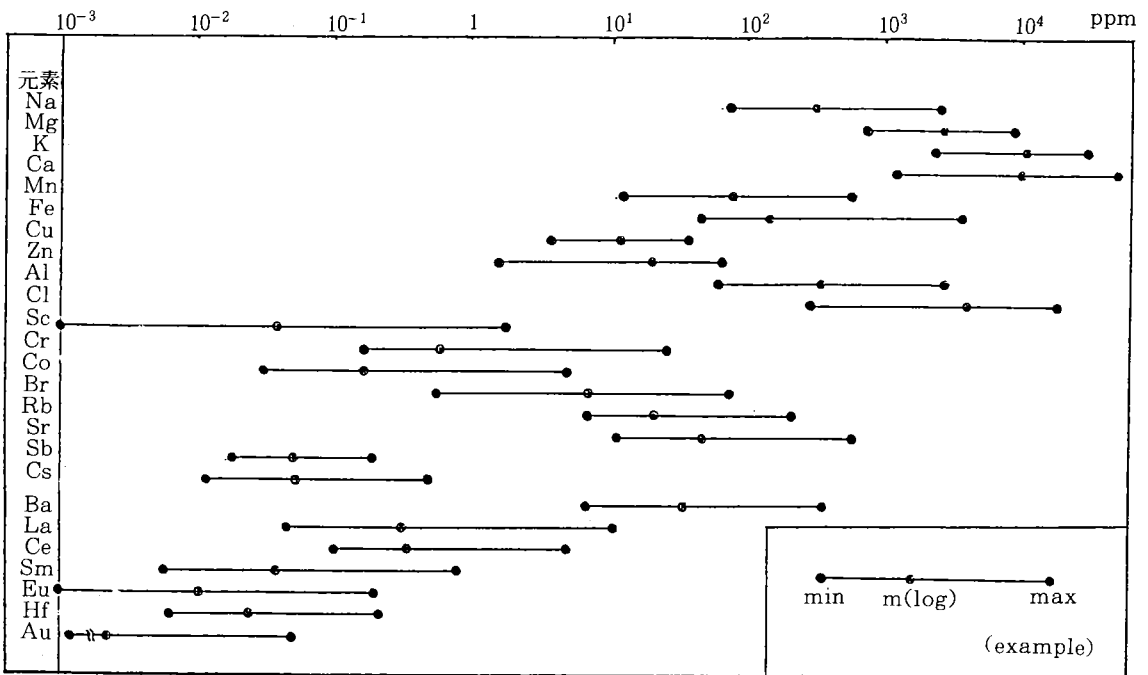


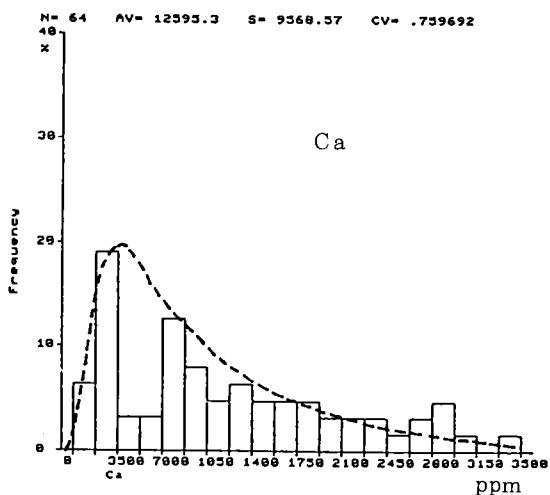
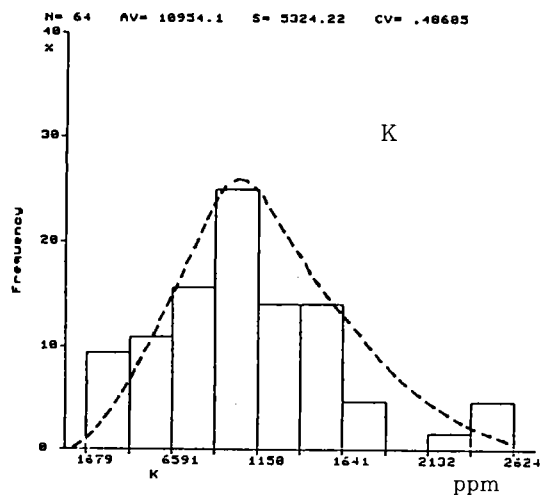
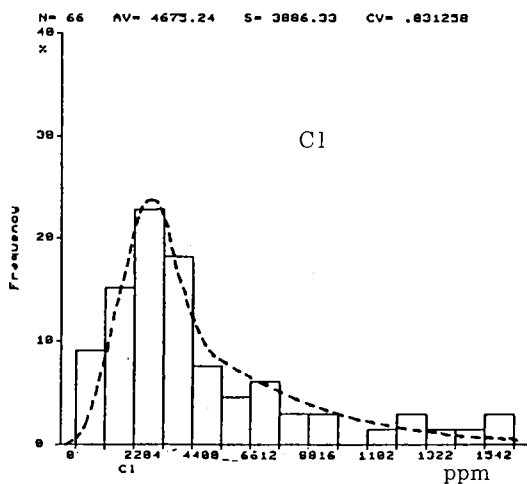
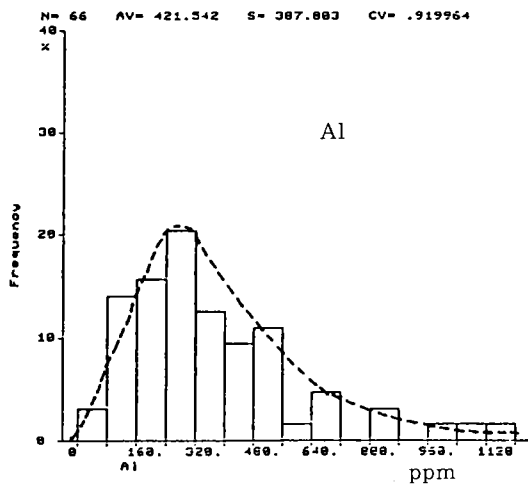
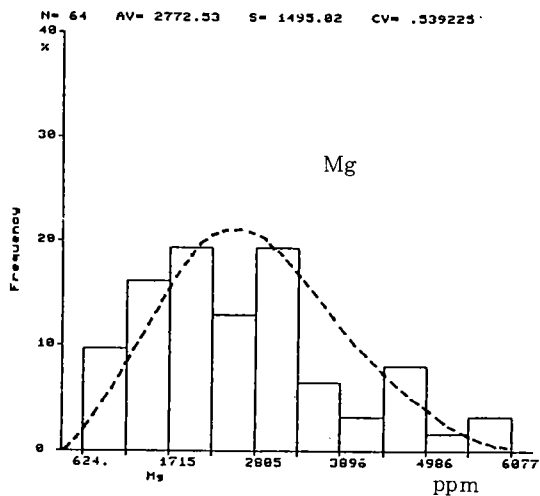
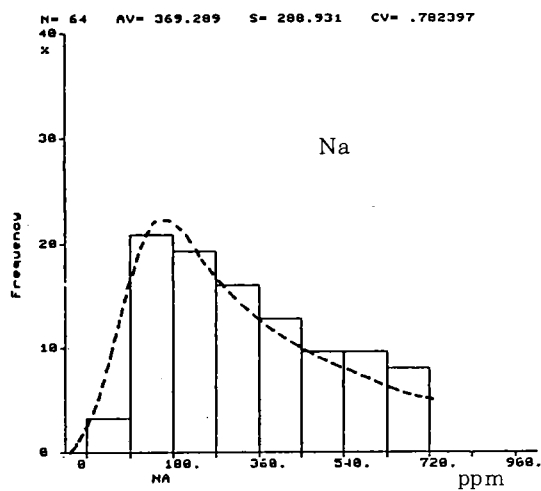
図2 各種元素の濃度分布
Distribution of element concentration

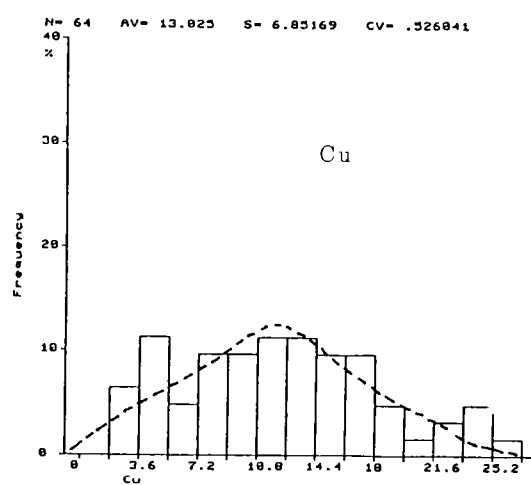
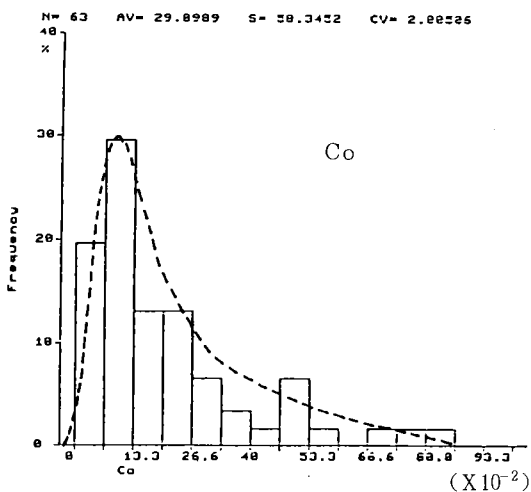
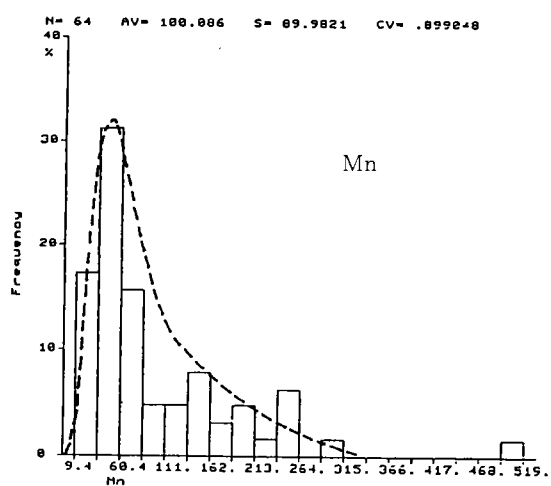
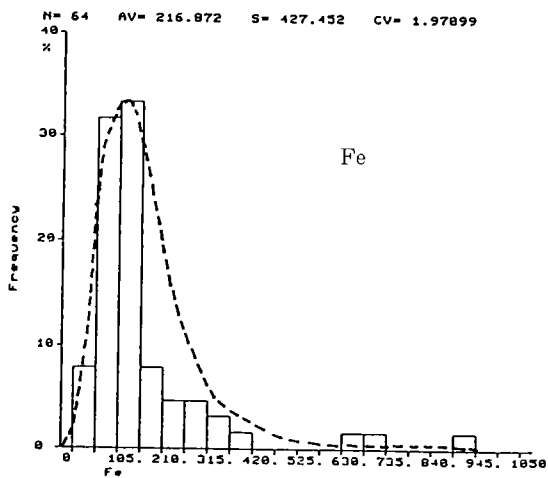
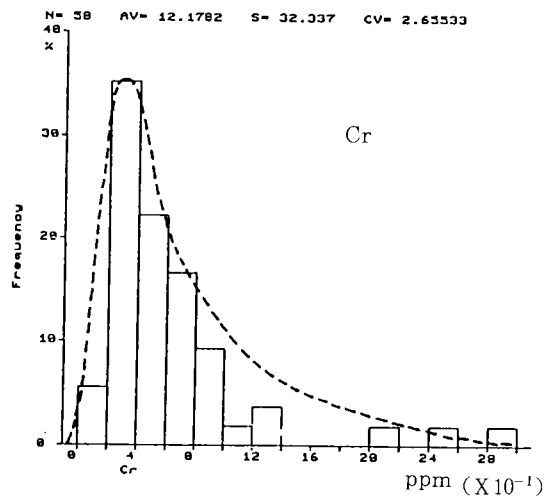
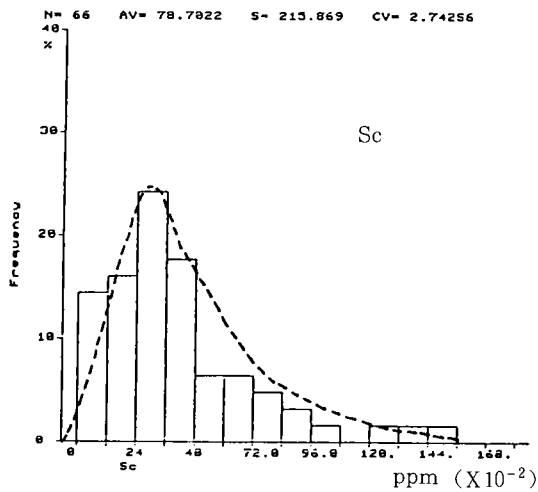
表 1 Concentration of elements in grass (selected)

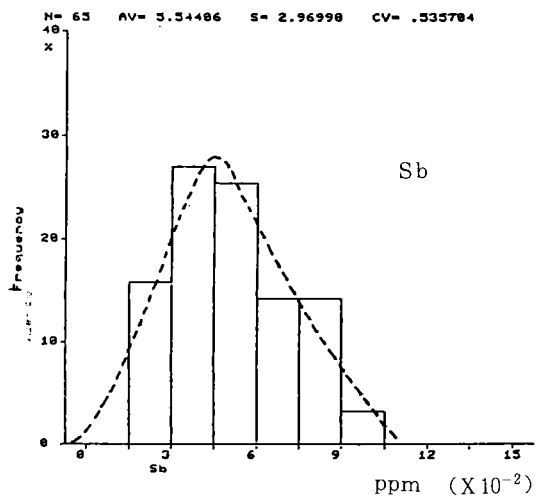
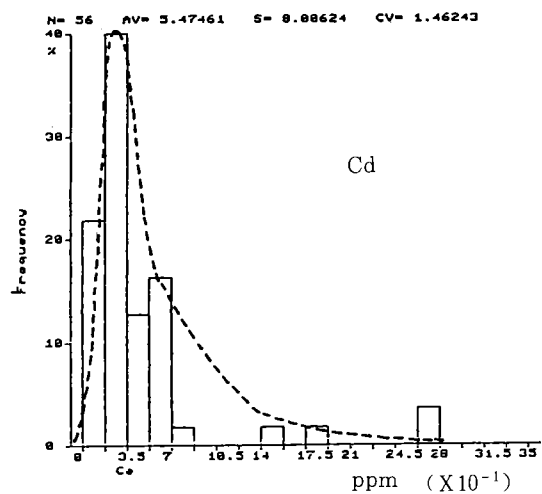
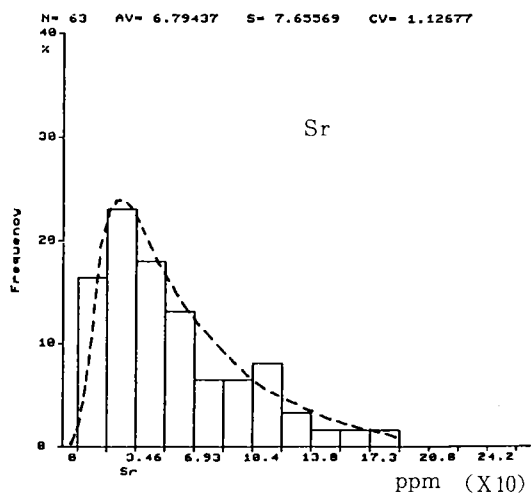
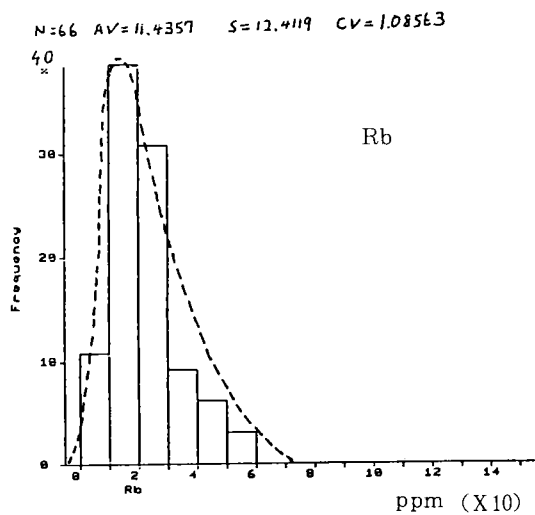
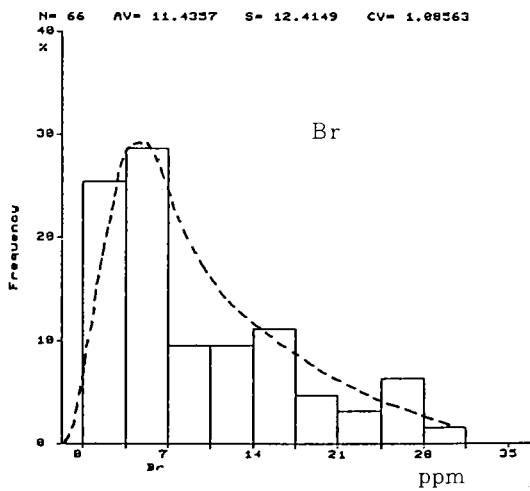
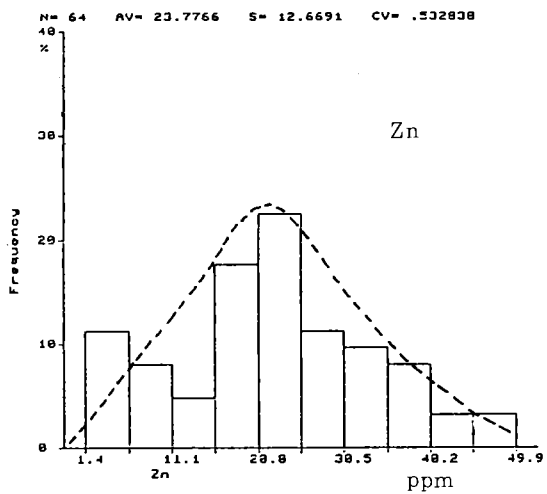
		(ppm=mg/g)							
GRASS		Na	Mg	Al	Cl	K	Ca	Sc	Cr
Anal. No		10 ¹	10 ³	10 ²	10 ³	10 ³	10 ³	10 ⁻²	10 ⁻¹
1	Wormwood : <i>Artemisia princeps</i>	2.58	2.11	0.69	2.43	10.23	3.35	0.89	—
2	Cranesbill : <i>Geranium yesoense</i> var. <i>nipponicum</i>	0.99	0.72	0.29	0.73	5.61	8.91	0.48	0.70
3	Burnet-Blood wort : <i>Sanguisorba officinalis</i>	1.31	1.55	0.50	1.25	4.85	6.85	—	—
4	Thoroughwort : <i>Eupatorium lindleyanum</i>	1.86	2.71	0.79	2.24	7.04	6.85	2.77	—
5	Herb-Paris : <i>Paris japonica</i>	1.13	1.15	0.24	1.68	6.66	8.17	0.74	—
6	Meadowsweet : <i>Filipendula multijuga</i>	3.40	2.62	1.64	2.42	5.96	4.13	2.25	1.79
7	Meadow-Rue : <i>Thalictrum minus</i> var. <i>hypoleucum</i>	1.61	3.12	3.56	1.86	6.20	12.68	0.94	—
8	Evening-Primrose : <i>Oenothera erythrosepala</i>	1.53	1.12	0.42	1.65	4.84	4.68	0.99	—
9	Bracken : <i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>	0.96	2.31	1.02	1.72	3.60	3.18	0.59	1.90
10	Eulalia : <i>Miscanthus sinensis</i>	2.73	1.21	0.86	1.41	4.43	1.52	0.57	1.04
11	Daisy-Fleabane, Sweet-Scabious, White-top : <i>Erigeron annuus</i>	4.07	0.83	1.22	1.99	8.15	7.32	3.32	2.07
12	Hazel : <i>Corylus heterophylla</i> var. <i>thunbergii</i>	2.08	0.67	1.61	0.32	4.74	6.91	1.28	2.45
13	Common or Plumed Thistle : <i>Cirsium japonicum</i>	1.67	1.32	0.98	1.75	3.22	11.51	2.24	1.08
14	Bentgrass : <i>Agrostis clavata</i> var. <i>nukabo</i>	0.79	0.80	0.52	1.65	4.52	0.97	0.40	0.74
15	"	1.96	1.75	2.28	1.90	5.74	4.43	0.93	1.78
16	Timothy : <i>Phleum pratense</i>	9.78	1.54	0.64	1.27	8.61	2.32	0.73	1.03
17	"	3.46	0.86	1.71	1.43	5.70	2.02	2.14	2.62
18	Daisy-Fleabane, Sweet-Scabious, White-top : <i>Erigeron annuus</i>	2.30	0.96	1.48	0.57	4.62	2.86	2.40	1.77
19	Timothy : <i>Phleum pratense</i>	8.25	0.92	5.41	1.56	5.94	1.49	3.96	5.82
20	Eulalia : <i>Miscanthus sinensis</i>	2.80	0.81	1.89	1.15	4.26	1.61	3.63	2.12
21	Bamboo-Grass : <i>Sasa nipponica</i>	2.10	0.81	2.49	2.81	4.76	1.51	1.87	4.37
22	Chestnut-tree : <i>Castanea crenata</i>	1.81	1.18	2.18	0.15	3.22	5.57	1.08	1.75
23	Vernish-tree : <i>Rhus trichocarpa</i>	2.53	1.88	1.17	1.27	5.92	4.49	0.51	—
24	Grape-Vine : <i>Vitis coignetiae</i>	1.60	0.63	1.19	—	2.44	13.25	1.02	2.16
25	Hazel : <i>Corylus sieboldiana</i>	1.91	0.62	1.17	0.93	2.78	3.71	0.92	1.82
26	Hydrangea : <i>Hydrangea paniculata</i>	1.44	1.83	2.98	0.23	4.89	13.80	1.45	1.98
27	Angelica : <i>Aralia elata</i>	3.70	1.34	0.94	0.56	6.43	8.65	1.24	1.88
28	Eulalia : <i>Miscanthus sinensis</i>	1.00	0.43	0.61	4.19	6.32	1.13	0.66	0.96
29	— — — —	M : 2.53	1.35	1.45	1.50	5.48	5.48	1.46	1.99
30	— — — —	σ : 1.98	0.69	0.91	0.93	1.22	3.77	1.15	1.16
31	— — — —								

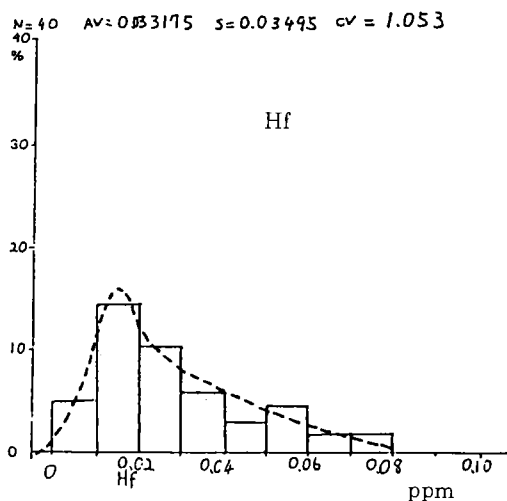
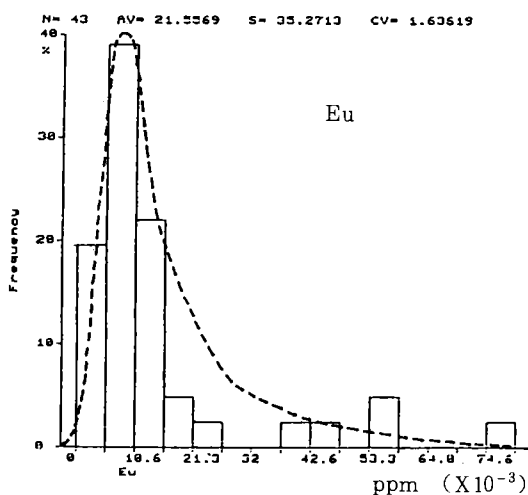
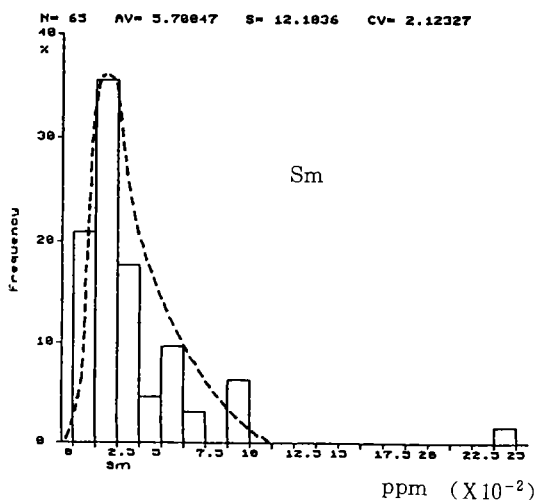
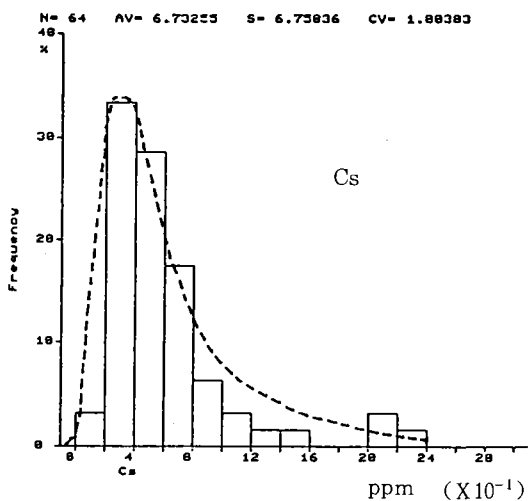
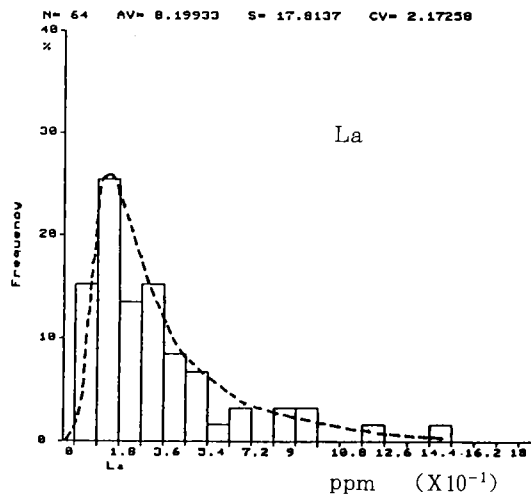
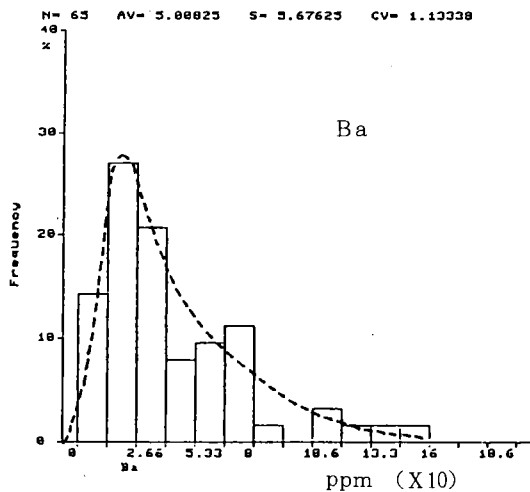
Mn	Fe	Co	Zn	Br	Rb	Sr	Mo	Sb	Cs	Ba	Hg	La	Ce	Au	Sm	Yb	Th	Eu	Hf
10^2	10^2	10^{-1}	10^1	10^0	10^1	10^1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-2}	10^1	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-2}
0.45	0.48	0.74	1.56	6.35	1.72	2.75	2.66	2.17	6.34	0.99	—	1.69	—	0.42	1.00	—	—	—	—
0.20	0.31	0.98	0.64	1.98	0.91	4.95	—	1.18	1.05	3.30	—	0.75	—	—	0.35	—	—	—	—
0.66	—	—	0.71	8.43	1.37	4.56	—	3.45	4.35	1.90	—	2.31	0.78	0.76	0.65	—	—	—	—
0.31	0.98	1.61	1.14	7.89	1.44	5.38	—	2.53	4.51	2.47	2.12	2.09	1.41	—	1.43	—	—	3.12	—
0.23	0.23	2.27	1.43	3.58	1.30	4.82	—	7.26	1.86	2.43	—	2.76	1.46	0.44	1.04	—	—	3.13	—
0.94	0.94	0.72	2.01	3.75	1.92	4.40	7.32	3.36	2.16	2.78	3.39	2.14	1.70	1.14	1.28	—	0.74	—	—
0.75	0.44	1.14	1.66	1.94	1.57	7.76	—	2.30	2.38	4.98	—	0.66	—	0.71	0.49	—	—	—	—
0.62	0.30	0.23	0.58	1.18	0.97	3.13	—	1.70	3.40	1.66	—	3.26	1.45	1.17	1.44	—	—	—	—
2.05	0.34	4.16	0.86	3.93	2.25	30.95	—	2.38	28.25	41.18	—	36.38	16.58	1.55	14.18	—	—	22.32	—
0.67	0.34	0.48	0.79	3.82	1.41	0.76	—	1.94	4.76	0.60	—	0.56	0.96	3.21	0.38	—	—	—	—
0.47	1.28	2.53	1.57	7.50	1.82	5.80	—	7.28	4.50	2.08	—	1.82	1.36	1.03	1.11	—	1.05	2.72	—
3.16	0.61	0.93	1.16	0.48	1.05	6.08	—	2.21	3.45	3.65	—	0.71	0.99	1.03	0.83	—	0.75	—	0.77
0.66	0.78	0.60	1.45	11.79	1.10	4.30	—	2.10	2.38	3.24	—	5.22	1.91	—	1.36	—	0.89	4.10	0.94
0.52	0.24	0.14	0.42	4.02	1.08	0.62	—	1.79	2.00	0.58	—	0.23	—	20.41	0.23	—	—	—	—
0.41	0.12	0.44	1.60	2.49	1.10	4.50	—	3.13	3.55	1.95	—	0.79	—	1.91	0.91	—	—	—	—
0.73	0.44	0.47	1.07	10.32	2.21	0.62	—	—	9.85	0.87	—	0.41	—	—	—	—	—	22.20	—
0.23	0.85	0.39	4.78	7.47	0.77	0.78	—	4.46	3.12	1.29	—	0.49	—	1.31	0.74	—	0.80	—	—
0.17	0.81	0.59	1.74	6.18	1.28	0.80	—	1.55	2.98	0.35	—	0.76	0.69	2.89	0.82	—	1.53	—	—
0.40	2.44	1.15	5.84	14.69	1.43	—	5.17	6.96	3.13	—	—	1.14	1.66	3.38	1.95	2.29	3.13	6.20	9.37
1.21	1.04	0.42	0.51	1.28	1.50	0.77	—	2.30	4.00	1.60	—	0.72	1.55	1.18	0.90	—	1.63	—	1.17
1.82	0.69	0.31	1.59	1.23	0.95	0.72	—	3.45	3.60	2.21	—	—	—	1.07	0.63	—	—	—	—
0.79	0.53	0.33	0.93	0.41	0.65	4.30	—	2.61	4.05	6.50	—	1.43	1.42	1.58	1.45	—	—	—	—
3.34	0.29	—	0.36	0.83	0.38	0.75	—	1.23	—	1.00	—	—	—	—	0.31	—	—	—	—
0.49	0.48	1.17	0.41	0.22	0.42	—	—	3.16	1.01	6.35	—	1.45	0.92	1.27	0.94	—	—	—	—
1.16	0.44	0.93	—	0.27	0.78	6.31	—	1.53	2.30	4.50	—	0.36	0.52	7.59	0.41	—	0.72	1.96	—
0.75	0.68	0.26	1.07	0.47	0.76	—	2.07	3.08	1.76	14.00	—	0.68	0.71	1.15	0.72	—	1.72	2.62	1.21
1.26	0.63	0.26	3.24	1.58	0.83	0.94	—	3.69	3.23	6.28	—	0.71	0.72	—	0.46	—	0.73	—	—
0.53	0.40	0.15	0.82	1.67	0.72	0.98	—	1.10	2.80	1.10	—	1.96	—	1.65	0.22	—	—	—	—
0.89	0.63	0.90	1.49	4.13	1.20	4.13	4.30	2.96	4.32	4.44	2.76	2.75	2.04	2.58	1.34	—	1.25	7.60	2.69
0.79	0.46	0.88	1.25	3.95	0.48	5.87	2.10	1.69	4.98	7.72	0.61	6.81	3.55	4.17	2.56	—	0.69	7.92	0.30

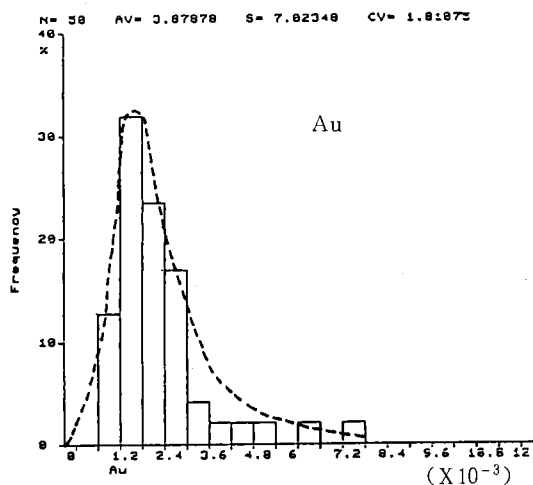
3 Frequency distribution curve and histogram of elements concentration in Grass











(他より飛び離れた値)が存在せず、全体としての分布にまとまりを示している。これらのきわだった元素濃度値を示した草種については、今後さらに検討を要する。

微量元素濃度の特性については、以下の結果が得られた。常量元素と同様に、それぞれの特性値を求めて作成したヒストグラム(図3)から、各草の微量元素濃度は、何れも正規分布しているとは考え難いことがわかる。そこで対数正規型分布を想定して、各測定値の対数変換を行なったところ、何れも正規型かそれに近い様姿を示した。今回のデータから、各種の微量元素濃度のほとんどは、対数正規もしくはそれに近い分布型であることが明らかである。

常量元素のほうは、いくつかの元素が正規型を示したが、微量元素の場合には、このような例が見出せず、すべてが対数正規分布型であった。

各微量元素間の相関関係は、表3-2に示される通りである。その大半が正の相関を示しているが、中でも相関係数が0.7を上廻るものが11組もあり、とりわけSc:Crでは0.912のような高い値が得られた。その他の組では、La, Ce, Smなどのlanthanide元素の組合せが、何れも0.7を上廻っている。負の相関では、相関係数

表2 Mean and mode of elements concentration (ppm: $\mu\text{g/g}$)

元素濃度の平均値及びMODE (ppm: $\mu\text{g/g}$)

元素(n)	平均値 $\pm$ S. D		平均値m (log) $\pm$ S. D		最頻値mode
Na	369.289	288.931	297.661	(272.946 , 142.384)	135.00
Mg	2772.52	1495.02	2415.280	(1701.67 , 998.315)	2532.5
K	10954.1	5324.24	9551.36	(7262.83 , 4125.68)	10272.7
Ca	12595.3	9568.58	8713.47	(13777.6 , 5337.72)	9625.00
Mn	100.086	89.982	71.3576	(92.5277, 40.2876)	47.65
Fe	216.872	427.452	135.352	(156.653 , 72.613)	130.25
Cu	13.025	6.815	11.1661	(8.8711, 4.94361)	11.6
Zn	23.776	12.669	19.6008	(20.3212, 9.97725)	23.22
Al (66)	397.254	337.51	309.42	(312.003 , 155.353)	300.00
Cl (65)	4781.78	3841.89	3540.26	(4393.14 , 1960.42)	2440.50
Sc (64)	0.081	0.2187	0.038	(0.067 , 0.024)	0.03
Cr (58)	1.217	3.2336	0.595	(0.896 , 0.357)	0.375
Co (63)	0.2910	0.5834	0.1603	(0.2538, 0.098)	0.097
Br (66)	11.4357	12.4149	6.717	(13.6989, 4.507)	5.25
Rb(66)	23.9781	22.7494	19.542	(15.504 , 8.6454)	21.504
Sr (63)	67.9437	76.5569	45.987	(62.519 , 26.497)	22.0
Sb (65)	0.05546	0.0296	0.0495	(0.0292, 0.0183)	0.03
Cs (64)	0.06729	0.06762	0.0516	(0.0493, 0.0252)	0.057
Ba (65)	50.0825	56.7025	33.7496	(45.0918, 19.3024)	28.0
La (64)	0.8199	1.7813	0.3026	(0.7027, 0.2115)	0.135
Ce (56)	0.547	0.800	0.3409	(0.4518, 0.1943)	0.15
Sm(65)	0.0599	0.1224	0.0278	(0.0522, 0.018)	0.018
Eu (43)	0.0216	0.0352	0.0114	(0.0196, 0.0072)	0.0095
Hf (40)	0.0331	0.0349	0.024	(0.025 , 0.0125)	0.015
Au (50)	0.0038	0.0071	0.0022	(0.0028, 0.0012)	0.0017

表 3-1 Coefficient of correlation (elements concentration)

	Na	Mg	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn
Na								
Mg	0.043							
K	0.425	0.477						
Ca	-0.214	0.441	0.088					
Mn	-0.010	0.147	-0.088	0.306				
Fe	0.809	0.025	0.488	0.004	0.025			
Cu	0.498	0.442	0.563	0.231	0.230	0.540		
Zn	0.212	0.348	0.424	0.166	0.205	0.315	0.583	0.000

r 値が何れも低く、最高でも0.315 (Au:La)であった。また元素別には、負の相関を示す23組のうち、13組がAuと他の元素、5組がBa、3組がSr、2組がHfと他との組合せであった。常量元素のように、若干のきわめて高濃度の値が、係数値を引き上げていたことを考慮して、微量元素の場合もこれら異常の(他よりきわ立って高い)1,2の値を除いた。その結果、図4に示されるように係数値に大幅な低下がみられた。

しかし、それにもかかわらず、例えばCr:Sc, Eu:Smなどのように、さほどの減少もみられない例もあった。従って、これらの元素間には、何らかの理由による因果関係が想像される。

相関係数値による元素の関わりは、さらに高次の統計的解析が必要である。また、図にみられた他よりの異常値を示す元素濃度についての考察および取扱いは、常量元素の場合と同様に、母集団の相異によるものか、或は他の要因に基くものかは、さらに今後の研究を必要とする。

表 3-2 Coefficient of correlation (elements concentration)

	Al	Cl	Sc	Cr	Co	Br	Rb	Sr	Sb	Cs	Ba	La	Ce	Sm	Eu	Au
Al																
Cl	.299															
Sc	.806	.331														
Cr	.819	.369	.912													
Co	.369	.343	.567	.638												
Br	.185	.491	.294	.168	.234											
Rb	.095	.277	.190	.142	.288	.299										
Sr	-.102	.089	-.013	-.031	.493	.111	.117									
Sb	.262	.180	.475	.424	.300	.180	.211	.067								
Cs	.117	.153	.172	.229	.301	.085	.464	.032	.253							
Ba	-.026	-.176	-.050	-.080	.217	-.289	.141	.646	.115	.053						
La	.303	.372	.431	.447	.669	.328	.375	.511	.208	.321	.377					
Ce	.483	.415	.578	.566	.628	.371	.455	.274	.166	.456	.241	.842				
Sm	.417	.330	.452	.423	.481	.345	.278	.290	.270	.173	.215	.704	.755			
Eu	.262	.176	.380	.391	.552	.238	.450	.145	.130	.398	.324	.746	.770	.751		
Au	-.203	-.206	-.197	-.250	-.253	-.157	.011	-.089	-.148	-.051	.122	-.315	-.162	-.226	-.128	
Hf	.874	.291	.874	.769	.536	.351	.450	-.039	.520	.594	-.015	.410	.631	.277	-.369	.252

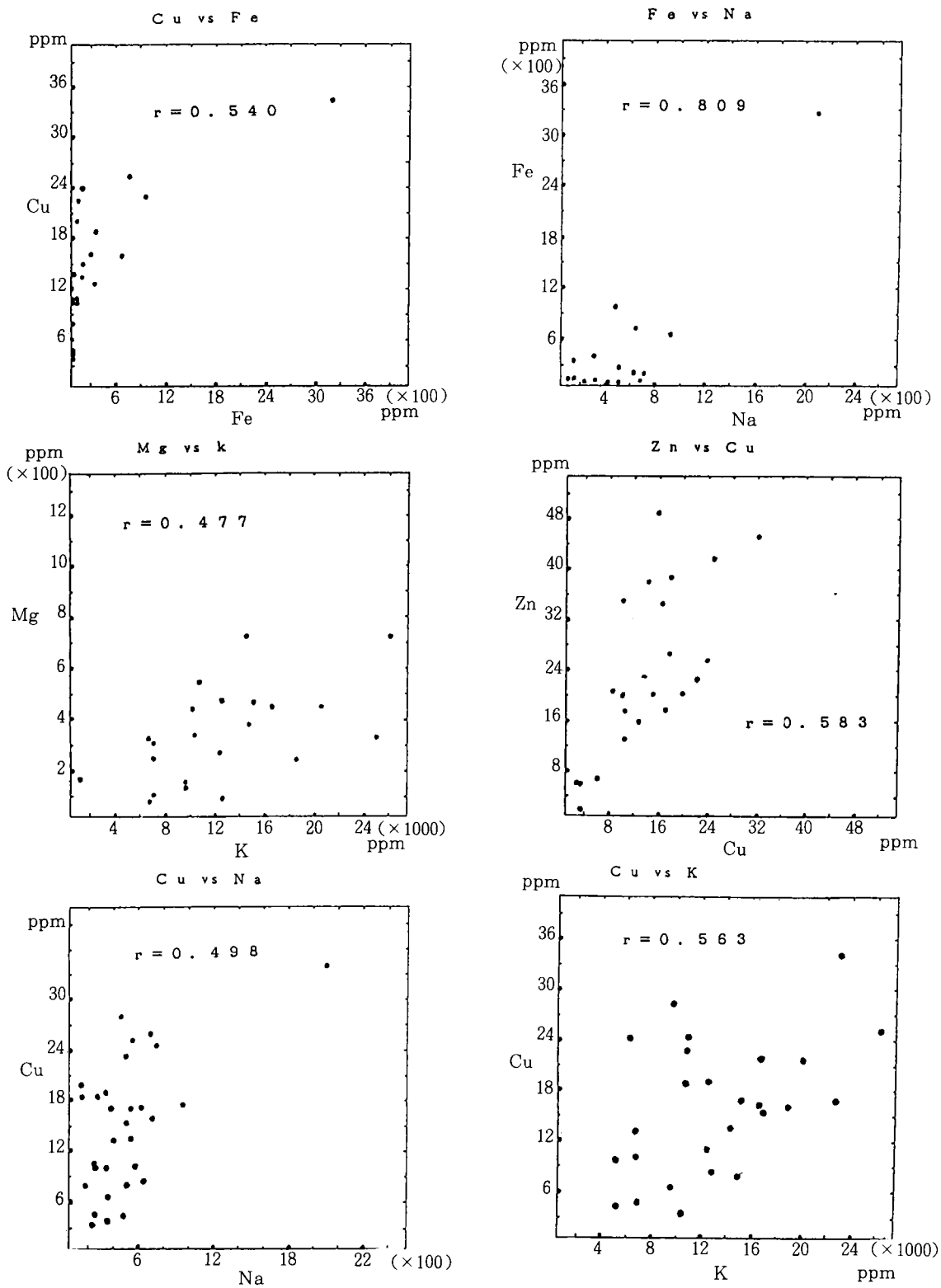
考 察

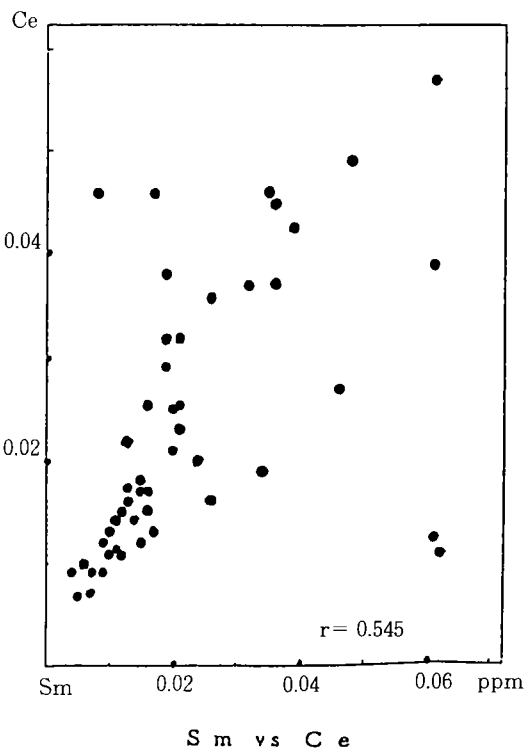
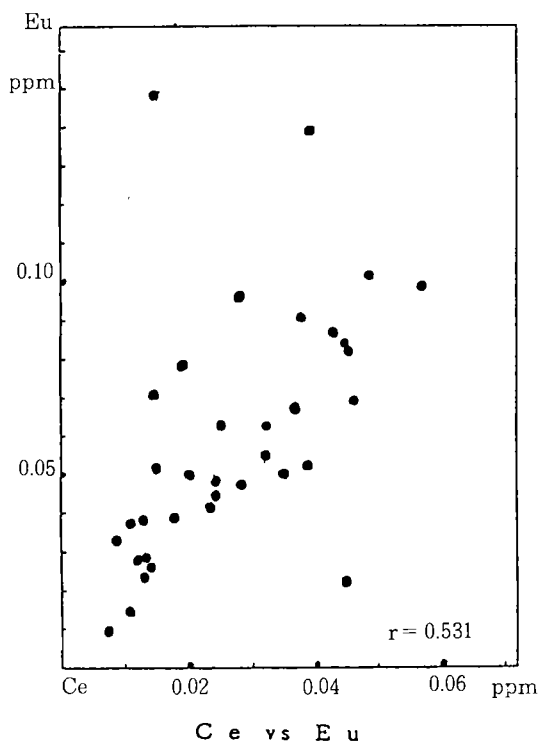
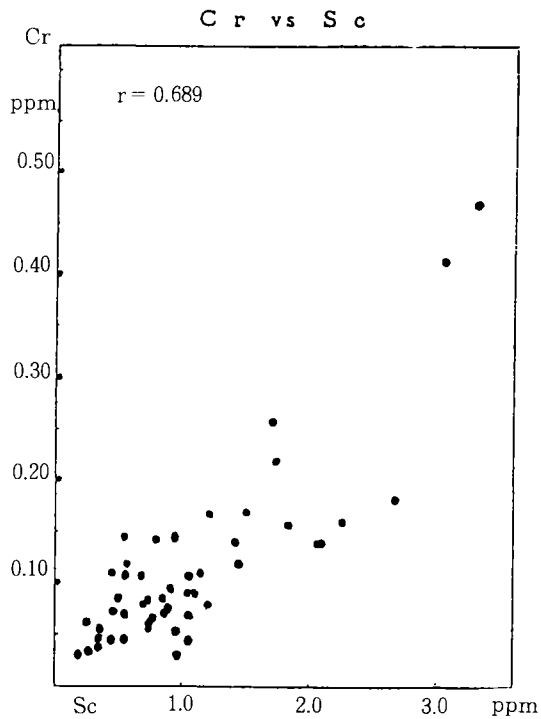
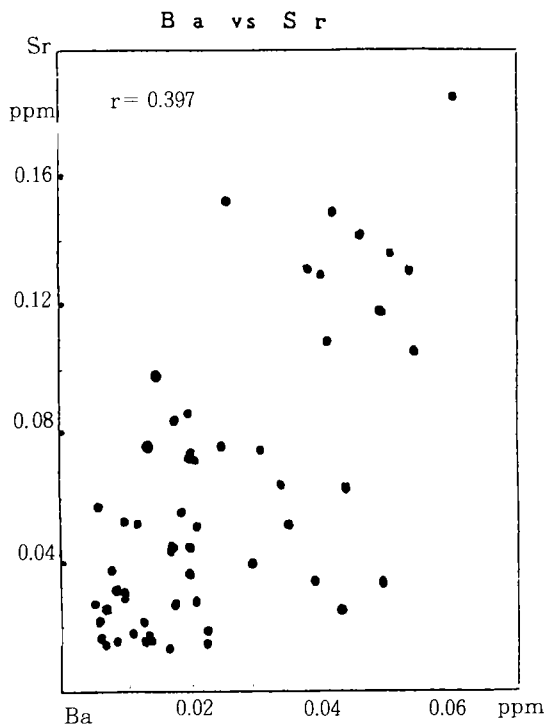
常量元素と微量元素は、同じミネラルとはいっても従来の研究の経過が異り、その動植物生理上の役割もかなり違った様相があると考えられる。だがここでは両者を区別せず、一括して考察することとする。

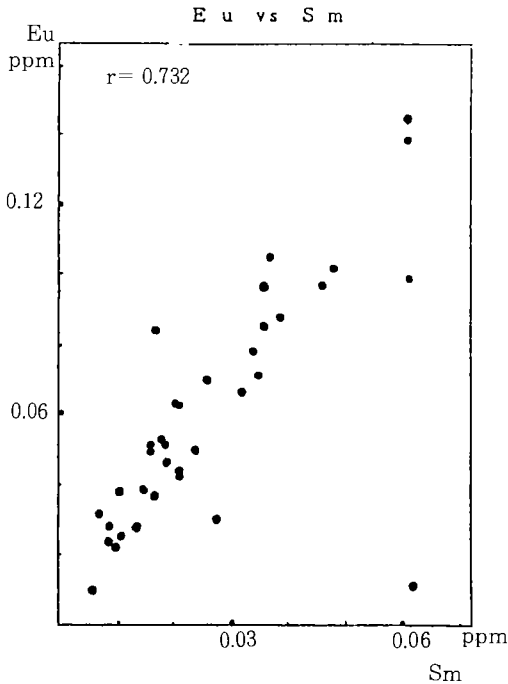
最近、わが国の牧草中の元素濃度を調べた報告では、Zn, Cu, Se, Coの不足していることが明らかにされ、家畜栄養上の問題が指摘されている。今回の分析調査データからも、Zn, Cuの値は比較的到低く、NRC標準(乳牛:1978年版)における要求量に比べると、その約1/2であった。したがって信州高原の草のみを飼料としている限りでは、或はZn不足を起す可能性があるかも知れない。しかし、わが国の牛にはZn欠乏症の発生は知られておらず、また世界的にも、Zn欠乏の自然発生の例は見あたらない。これは、Znの要求量に影響する原因が複雑なために、Zn要求量をかなり高い水準に設定していることによるとも考えられる。

元素の動物体内での代謝挙動には、元素間に相乗、拮抗作用などの相互関係があるといわれている。乳牛体内の元素の栄養状態を判定する指標として、肝臓および血液中の濃度が利用されるが、久米らの調査によると、農水省九州農試および熊本県下の酪農農家から得た乳牛の元素濃度間の相関係数には、Zn-Cu(農試の例 $r=0.60$ 、農家の例 $r=0.65$)間に比較的高い値が示されている。このことから、Zn-Cu不足の同時発生する可能性を彼ら

图 4 元素间相关性图







は推察している。われわれの分析調査でも、Cu-Znの相関係数は $r=0.583$ を示した。飼料学的側面から、信州高原の牧野草中のこの両元素濃度には注目を要する。

牛のMn欠乏症は、発育不良、脚の奇形、繁殖性の低下などが特徴である。また、牛の身体発育に必要な量は、骨格が正常に発育するため、及び正常な繁殖力を有するに必要な量よりも低いといわれている。飼料中のCa及びPの量が、Mnの必要量を変えることも知られている。Hawkinsら²⁾は、幼若齢の牛の発育に必要な最低量は、恐らく1 ppm以下であり、また多量にCa, Pの摂取によっても増加すると述べている。

いっぽう、Hartmanら³⁾は、25~30 ppmのMnを含む牧草で飼養した牛に、このような症状がみられず、また乾燥重で150 ppmに相当するMnを飼料に加えても、発育、出産数、繁殖性になんらの増進がみられなかったと報告している。さらにその後に行なわれた、低Mn飼料による比較実験では、Caを0.75%を1.2%に、Pを0.35%から0.8%に増加した場合でも、Mn欠乏症がみられなかったという。このことから、25 ppmのMnが、これら条件下では牛の要求量を十分満たしており、またCa, Pの摂取量が通常より多い場合でも十分であると考えられている。今回の分析調査からMn濃度は、約70 ppmで、草中のMn量は過不足のない状態と推察できる。しかしMnの最低必要量は、畜種、必要量の実験条件、あるいは摂取したMnの化学形、そして飼料中のMn以外

の成分によって定まるとされている。さらに身体の発育、正常な骨の発達及び正常な生殖行為に必要な最低摂取量はそれぞれ異なるので、一概に過不足状態を定めることは困難であろう。

草食動物において、単純なFe欠乏症がはっきりと証明された例はみあたらない。最近、家畜のFe要求量に、FeとCu, Zn, Mnの間の相互作用が重大な影響を与えることが立証されている。Matroneら⁴⁾は、雄の仔牛に乾物重あたり1 ppmのFeを含む乳飼料と、それにFeを加えて1日あたりそれぞれ30 mgおよび60 mgとなるようにして摂取させたところ、両方の処理区において正常な生育とヘモグロビン濃度が、生後40週間にわたって認められたという。これは仔牛の生育に必要なFeの最低必要量は、少くとも30 mg/day以上ではないことを示している。今回の分析調査ではFeの平均値(対数)は135.35 ppmで、かりに草を1 kg摂取したとすれば、その牛は約100 mgのFeを、また500 gの草の摂取であっても50 mgのFeを摂りこんだことになる。この点から、対象とした草中のFe含量には不足はないと推察できる。

FeとMn, Zn, Cuとの相関係数は、Fe-Cuの $r=0.540$ を除けば、他は何れも低い相関係数を示した。これらの相互関係が家畜のFe要求量に影響するとすれば、今後さらに調査例数を増加して追求せねばならぬ。

東北地方に所在する放牧地には、火山灰土壌のところが多いが、ここでは有効性P, Ca, Mgが少く、反面、Kが多く含まれている。この影響をうけて牧草のミネラル組成も、P, Ca, Mg含有量が低く、K含量が高い家畜栄養上アンバランスな組成となっている例が多いといわれている。Mgの不足による低Mg血症(グラスステニー症)といわれる病気があるが、これは早春の放牧開始後2~3週間以内に発生が多く、その原因として飼料中のミネラル組成のアンバランス、放牧によるストレス、ルーメン内の発酵異常などによるMgの吸収不全があげられている。予防策として、草質の改良のほかに、放牧牛にミネラル(とくにMgの)投与が提唱されている。岩手県畜試外山分場における実験⁵⁾では、MgO 13 mg/100 g以上を土壌へ施用し、牧草中のMg濃度を2,000 ppm以上とすることが、この疾病の予防に必要であるとした。今回の分析調査では、Mgの濃度は、平均(対数)2,415 ppmを示しているの、信州高原地帯の草では、低Mg状態とは考えられない。

牧草中の微量元素濃度の値は、かなりバラツキを示し、最高値(max)-最低値(min)の間がかなり広がっている。図2にmax, minとmean(log)値が示されている。これから、最も広い分散の幅を示した元素は、Scの1,700(max/min)倍である。小山ら⁶⁾によると、一般

に植物中のSc含有は0.002~0.1ppmであり、ある例では、max値は1.06ppmであったという。この値は、今回の分析調査のデータ0.024~0.0674ppmの範囲とほぼ一致している。これらの知見から、Scは植物種によってかなり分布幅の広いことが認められる。

これに対して、もっとも分散の幅の狭い元素は、Sbであった。このことはとくにSbを集積する植物が少ないのか、あるいは今回の採集した試料例中に含まれることがなかったのかは明らかでない。

動物体での栄養上、その生理活性や生体利用性の解明の進んでいる元素にCo、Crが挙げられる。草中のこれらの含量は小山ら⁶⁾の報告によると、それぞれCo: 0.001~1.0ppm、そのmax値は100ppm、またCr: 0.02~1.0ppm、そしてmax値には3.7ppmが認められたという。本分析調査の結果では、Coはほぼその範囲内に存在したが、Crではmaxの値が24.7ppmの濃度をもつ草が見出された。この値は異常に高く、その理由は不明である。これまでの研究では^{7), 8)}、Coの必要量として0.08ppm前後の値が報告されている。Co摂取量が低い場合には、衰弱病の一種である“海岸病”や、“消耗性疾病”などの欠乏症を発生するという^{9), 10)}。過剰量を摂取したときの症状では、飼料中150ppmでいどのCo濃度を有する飼料を8週間継続して与えられた羊では、とくに中毒症状は認められなかったと報告されている¹¹⁾。この点からして、今回の分析調査の成績では、何れについても問題はないといえる。またCrについても、特殊な飛び離れた値を除いては、全体としてCoの場合と同様、ほとんど問題はないであろう。

栄養学的にはほとんど解明されていない、Al、Ba、Br、Srなどのうち、とくにAl、Baについて考察したい。Alは岩石圈における存在量が大であるにもかかわらず、多くの動植物の組織中の濃度は、一般に比較的低い。しかし植物種によっては、3,000~4,000ppmに及ぶものもあることが報告されている^{12), 13)}。今回の分析調査でも、2,310ppmを示したものも見出された。動物では、ラットを用いた実験で、欠乏症の発生を試みた例があるが、成功していない。Hoveら¹⁴⁾によれば、もしラットにおいてAlが必要としても、1μg/dayの摂取量で十分であろうと結論づけている。また野外放牧においても、これまでにAlの過剰、欠乏についての報告は見当たらない。

Baについては、小山ら⁶⁾による一般植物中の濃度が、10~200ppm、そしてmax 880ppmの範囲は、われわれの得た14.4~78.8ppm、max 311.5ppmという値とほぼ似た様相である。Baの生理学的挙動、その役割は、現在まだ詳細は不明である。が、BaとSrの何れかを除いた精製飼料で飼育したラットの生長が抑制されたとい

う成績があるが¹⁵⁾、これに関しては20年以上前に報告されたまま、その後さらに確認も否定もなされていない。

上記のように、微量元素の動物の生理、栄養上への役割については、現在なお不明の点がかなり多く、今後の研究に俟つところが多い。

結 論

今回の分析調査では、常量および微量元素は、現在明らかにされている動物の栄養学的な見地から、とくに問題となる種類や濃度は見出されなかった。

植物の元素濃度の変動は、季節、土壌、品種、生育段階などの要因が大きく関与していることが明らかである。今後この方面についての研究が必要であろう。また同時に、飼料としての牧野草は、常量、微量元素について、含有量のみならず、その化学形、さらに他の栄養素、動物の嗜好性などについてもさらに研究が必要である。

本研究のうち、元素分析に関しては、京都大学原子炉実験所において、同所の「原子炉共同利用研究プログラム」の中で行われた。京大教授(当時助教授)小山睦夫理学博士、教務員高田実弥氏の御指導、御助力を仰いだ。衷心より深謝の意を捧げる次第である。また、データの統計処理については、信州大学農学部助教授保野俊子農学博士の御世話になった。付記して深謝申し上げる。この研究の基本は、昭和60年度当研究室に在籍した専攻学生、曾根徹、山口昌紀および貞富慶也君の専攻研究(卒業論文)のテーマであった。試料の採取、元素分析、データのとりまとめに尽力された諸君の努力を讃えたい。

参 考 文 献

- 1) M. Koyama and R. Matsushita: Bull. Chem. Inst. Cham. Research, Kyoto Univ., **58**, 235 (1980)
- 2) G. E. Hawkins, G. H. Wise, G. Matrone and P. K. Waugh: J. Dairy Sci., **38**, 536 (1955)
- 3) R. H. Hartman, G. Matrone and G. H. Wise: J. Nutr., **57**, 429 (1955)
- 4) G. Matrone, C. Conley, G. H. Wise and R. K. Waugh: J. Dairy Sci., **40**, 1437 (1957)
- 5) 寒冷草地における草質改善による放牧牛のミネラル栄養障害防止技術: 福島県、青森県および岩手県畜試(中核試験報告書)(昭58)
- 6) 小山睦夫、高田実弥、白川正広、片山幸士: 中性子放射化分析法による植物葉中の微量元素の分布と特異集積の研究, KURRI-TR-235, 1 (昭57)
- 7) J. F. Filmer: Aust. Vet. J., **9**, 163 (1933)

- 8) H. R. Marston : *Physiol. Rev.*, **32**, 66 (1952)
- 9) E. J. Underwood : *Aust. Vet.*, J. **10**, 87 (1934)
- 10) E. J. Underwood and J. F. Filmer : *Aust. Vet. J.*, **84**, (1935)
- 11) D. E. Becker and S. E. Smith : *J. Amim. Sci.*, **10**, 266 (1951)
- 12) G. E. Hutchinson : *Soil Sci.*, **60**, 29 (1945)
- 13) J. L. Webb : *Aust. J. Bot.*, **2**, 176 (1954)
- 14) E. Hove, C. A. Elvehjem and E. B. Hart : *Amer. J. Physiol.*, **124**, 205 (1937)
- 15) O. Rygh : *Bull. Soc. Chem. Biol.*, **33**, 133 (1953)

付 表

Name of grass

牧野草名称

試料番号 和 名
学 名

1. ヨモギ
Artemisia princeps Pampan.
2. ハクサンフウロ
Geranium yesoense Fr. et Sav. var.
nipponicum Nakai
3. ワレモコウ
Sanguisorba officinalis Linn.
4. サワヒヨドリ
Enpatorium lindleyanum DC.
5. キヌガサソウ
Paris japonica (Franch. et Savat.) Franch.
6. シモツケソウ
Filipendula multijuga Maxim.
7. アキカラマツ
Thalictrum minus Linn. var. *hypoleucum*
(Sieb. et Zucc.) Miq.
8. オオマツヨイグサ
Oenothera erythrosepala Borbás
9. ワラビ
Pteridium aquilinum (Linn.) Kuhn var.
latiusculum (Desv.) Und.
10. ススキ
Miscanthus sinensis Anderss.
11. ヒメジョオン
Erigeron annuus (Linn.) Pers.
12. ハシバミ
Corylus heterophylla Fischer var.
thunbergii Blume

13. ノアザミ
Cirsium japonicum DC.
14. スカボ
Agrostis clavata Trinius var. *nukabo* Ohwi
15. " "
"
16. チモシー (オオアワガエリ)
Phleum pratense Linn.
17. " "
"
18. ヒメジョオン
Erigeron annuus (Linn.) Pers.
19. チモシー (オオアワガエリ)
Phleum pratense Linn.
20. ススキ
Miscanthus sinensis Anderss.
21. ミヤコザサ
Sasa nipponica (Makino) Makino et
Shibata
22. クリ
Castanea crenata Sieb. et Zucc.
23. ヤマウルシ
Rhus trichocarpa Miq.
24. ヤマブドウ
Vitis coignetiae Pulliat
25. ツノハシバミ
Corylus sieboldiana Blume
26. ノリウツギ
Hydrangea paniculata Siebold
27. タラノキ
Aralia elata (Miq.) Seemann
28. ススキ
Miscanthus sinensis Anderss.
29. カゼクサ
Eragrostis ferruginea (Thunb.) Beauv.
30. ノコンギク
Aster ageratoides Turcz. var. *ovatus*
(Franch. et Savat.) Nakai
31. アキノキリンソウ
Solidago virga-aurea Linn. var. *asiatica*
Nakai
32. メヒシバ
Digitaria adscendens (H.B.K.) Henry
33. イタドリ
Polygonum cuspidatum Sieb. et Zucc.

34. チガヤ
 Imperata cylindrica (Linn.) Beauv. var.
 koenigii (Retz.) Durand et Schinz
35. トダシバ
 Arundinella hirta (Thunb.) C. Tanaka
36. ススキ
 Miscanthus sinensis Anderss.
37. ヤマラッキョウ
 Allium thunbergii G. Don
38. ヨモギ
 Artemisia princeps Pampan.
39. ヤクシソウ
 Youngia denticulata (Houtt.) Kitam.
40. ヒメジョオン
 Erigeron annuus (Linn.) Pers.
41. オオアブラススキ
 Spodiopogon sibiricus Trin.
42. ミチシバ
 Melica onoei Franch. et Savat.
43. クサフジ
 Vicia cracca Linn.
44. オシダ
 Dryopteris crassirhizoma Nakai
45. クズ
 Pueraria lobata (Willd.) Ohwi
46. イタチササゲ
 Lathyrus davidii Hance
47. フキ
 Petasites japonicus (Sieb. et Zucc.) Maxim.
48. ゴマナ
 Aster glehnii Fr. Schm. var. *hondoensis*
 Kitam.
49. オオバコ
 Plantago asiatica Linn.
50. ヤマカモジグサ
 Brachypodium sylvaticum (Huds.) P.
 Beauv.
51. セイヨウタンポポ
 Taraxacum officinale Weber
52. ミヤマイボタ
 Ligustrum tschonoskii Decaisne
53. レンゲツツジ
 Rhododendron japonicum (A. Gray)
 Suringer
54. クサイ
 Juncus tenuis Willd.
55. ツルヨシ
 Phragmites japonica Steud.
56. アキカラマツ
 Thalictrum minus Linn. var. *hypoleucum*
 (Sieb. et Zucc.) Miq.
57. ワレモコウ
 Sanguisorba officinalis Linn.
58. ナンテンハギ
 Vicia unijuga A. Br.
59. ホワイト・クローバー (シロツメクサ)
 Trifolium repens Linn.
60. レッド・クローバー (ムラサキツメクサ)
 Trifolium pratense Linn.
61. クサボケ
 Chaenomeles japonica (Thunb.) Spach
62. カワラマツバ
 Galium verum Linn. var. *asiaticum* Nakai
 forma *nikkoense* (Nakai) Ohwi
63. スイカズラ
 Lonicera japonica Thunb.
64. ヒロハウシノケグサ
 Festuca elatior Linn.
65. ズミ
 Malus sieboldii (Regel) Rehder
66. チモシー (オオアワガエリ)
 Phleum pratense Linn.

植物名は主として大井次三郎：新日本植物誌（1983）
によった。