

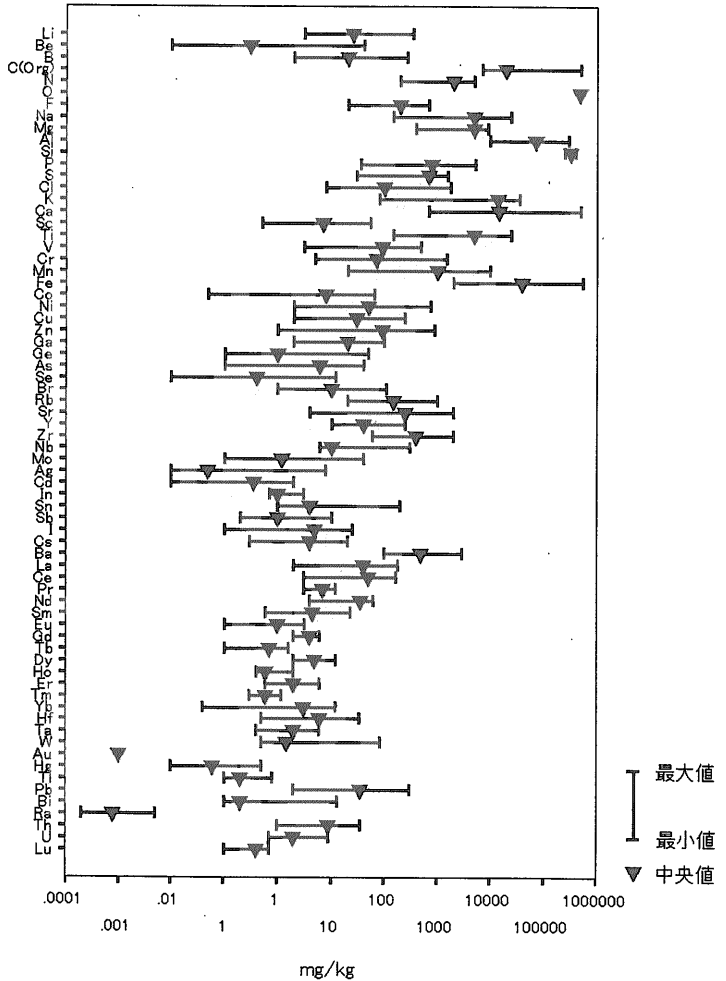
日本の土壌中の元素濃度

中井 信¹⁾

1. はじめに

土壌肥料学の分野では、土壌成分については植物とくに作物生育との関係を中心に研究を行ってきた。したがって、主に研究対象となる元素は、植物生育の必須元素や有害元素である。必須元素は、炭素、水素、酸素、窒素、リン、カリウム、カルシウム、マグネシウム、イオウ、鉄、マンガン、銅、亜鉛、塩素、ホウ素、およびモリブデンの16元素である。必須元素ではないが植物の健全な生育に必要な、あるいは有害な元素、環境汚染関連の元素として、ケイ素、ナトリウム、ニッケル、アルミニウム、チタン、クロム、ヒ素、カドミウム、水銀、鉛などがある。これらの元素は、含量全体を対象とするよりも、植物が利用可能な「可給態」や土壌の生成や環境汚染に「活性」なある種の化学的形態を対象としている。手法としては溶出分析を用いるが、その分析法と定義には曖昧な点も残っている。そのため、分析値の相互比較にも常に困難を伴う。例えば、植物の種類により、あるいは土壌の種類により、可給態として定量された成分以上の量を植物が吸収していることもある。これは植物と土壌の多様性を示してはいるが、分析法と定義の統一化を妨げる原因でもある。

このように土壌肥料学では、「活性」な成分を中心に研究を進めてきたが、公害や環境ホルモンな



第1図 土壌の平均元素組成 (Bowen, 1979)より作成。

どの環境汚染の問題を考える上で、本来の土壌にはどのような元素がどの程度あるかを知る必要が出てきた。いわゆる非汚染土壌の元素組成である。

土壌の平均元素組成としては、Bowen (1979)の取りまとめた値(第1図)が一般に用いられている。

1) 農業環境技術研究所:

〒305-8604 つくば市観音台3-1-1

キーワード: 土壌, 元素組成, 微量元素, 土壌生成

火成岩や堆積岩の組成とよく似ているが、炭素と窒素は明らかに富化している。しかし、土壌の元素組成は、土壌型や土壌層位による不均一性が大きく、さらなるデータの蓄積が必要である。

土壌の全分析は、上記のような理由と分析法の点からあまり行われてこなかった。近年の分析機器の発達もあり、多量の試料を比較的短時間に分析できるようになってきた。このような点を活用して、最近、日本の土壌の元素組成について、かなり広範囲な土壌を分析した例があるので紹介する。一つは、日本の代表土壌断面を収集している農業

環境技術研究所モノリス館の土壌試料について、57元素を分析した例であり、もう一つは、水田土壌（沖積地の土壌）について19元素を分析した例である。

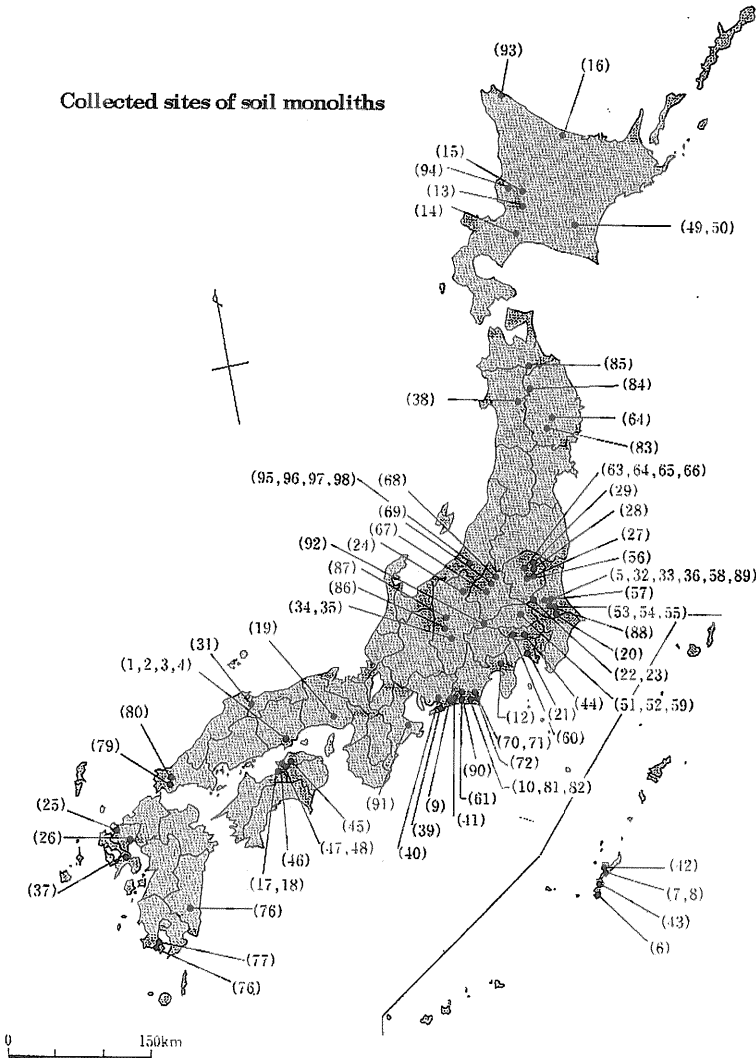
2. 日本の土壌の元素組成

山崎ら(Yamasaki, *et al.*, 1999; 武田, 2000)は、日本の代表的土壌について元素分析を行った。

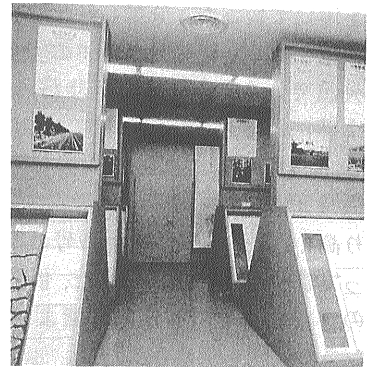
供試試料は、日本の代表的土壌断面を収集している農業環境技術研究所の土壌モノリス館の土壌

である。この土壌モノリス館では、土壌断面を薄層標本とし、保存展示している(第3図)。土壌モノリス採取時に、土壌層位ごとの土壌試料も収集し保存している。現在国内土壌として110余りの土壌モノリスを収集しており、ほぼ日本全国をカバーしている(第2図)。そのうち76断面508層位を供試した。供試試料の土壌タイプ別の割合と日本の土壌分布割合を第4図に示した。日本の土壌分類は、農耕地と林野で異なった体系を使っており、図はその両者を単純に合わせたものである。褐色森林土には、農耕地土壌分類の黒ボク土、黄色土、あるいは台地土などが含まれ、その意味ではもっと面積は少ない。また、供試土壌の数

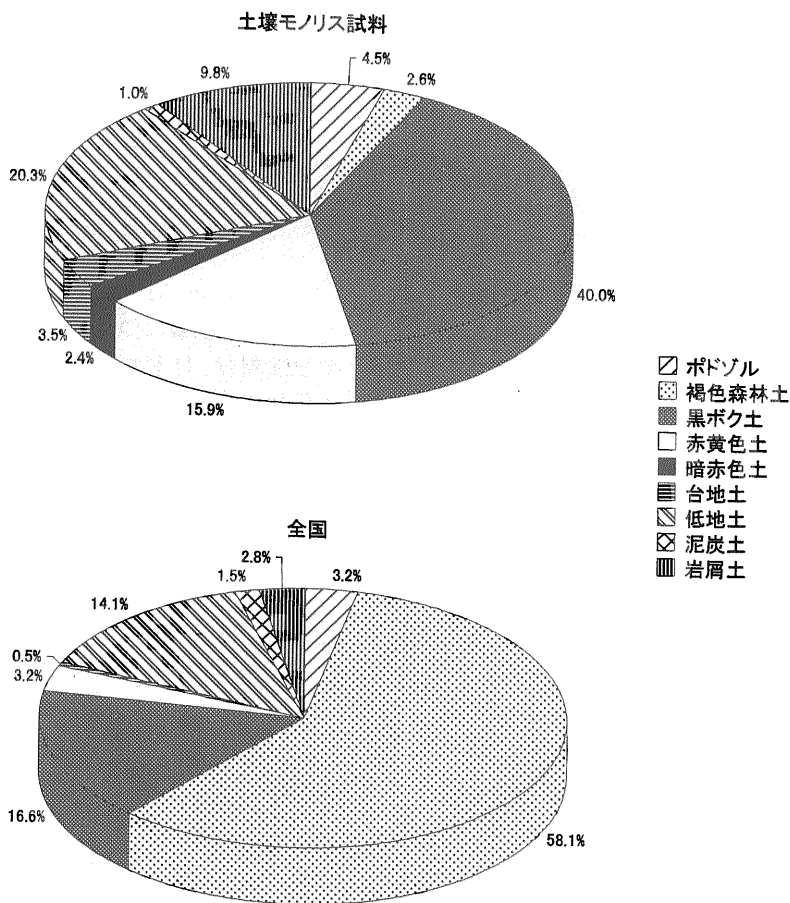
Collected sites of soil monoliths



第2図 土壌モノリス採取地点。



第3図 土壌モノリス館の内部。



第4図 土壌モノリス試料の分布割合。

量割合は必ずしも、日本における面積割合を反映したものではない。

分析は、風乾細土(室内常温で自然乾燥させ、2 mmのフルイを通した土壌)を微粉碎し、元素によって四重極型ICP-MS、二重収束型ICP-MS、ICP-AES、原子吸光法、炎光光度法、吸光光度法などを用いて行った。分析した元素は57元素である。

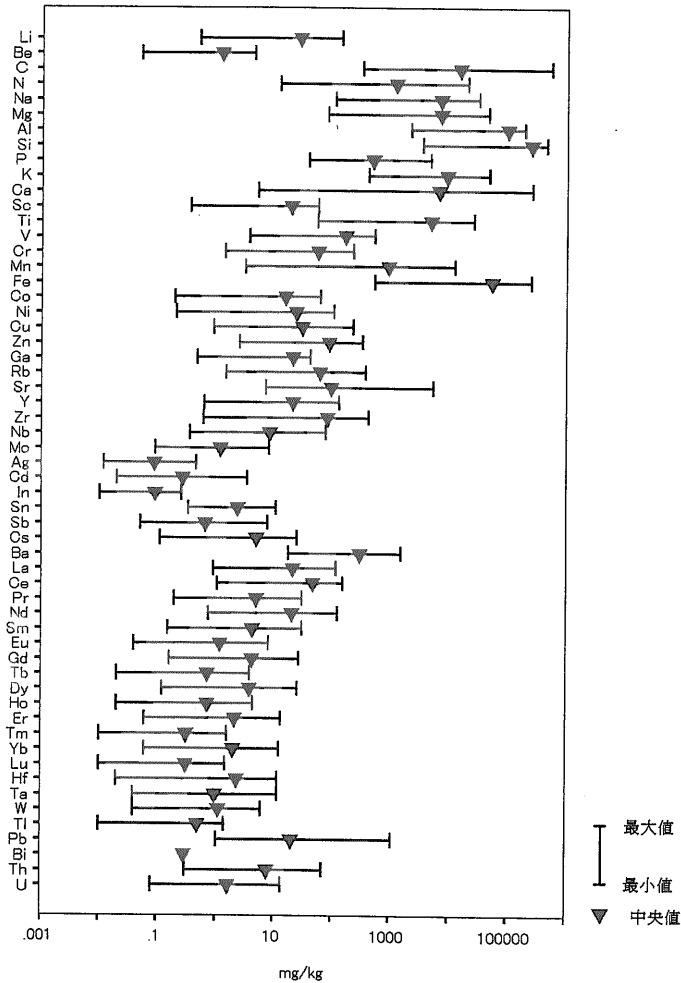
第5図は、全土壌試料中の元素の濃度範囲と中央値である。濃度範囲は非常に広く、最大値と最小値にはほとんどの元素で100倍以上の開きがある。これは、ほぼ過去の報告と同様の結果である。微量元素では、第一遷移元素の濃度が他の元素より高く、大まかには原子番号の大きくなるにしたがって濃度が減少する。また、偶数の原子番号元素の存在比はその前後の元素より高いというハーキンスの法則も認められた。

周期表の同属元素は、類似した性質を持つこと

が知られているが、濃度も同属元素では相関が高くなった。詳細は省略するが、土壌中の元素組成は、土壌の母材(母岩)を反映するものであった。

土壌の種類の違いによる微量必須元素の含量の違いを示したのが、第6図である。微量必須元素は、黒ボク土、多湿黒ボク土、褐色森林土及び暗赤色土に高い傾向が認められた。これらはいずれも母材の影響であると考えられる。すなわち、黒ボク土、多湿黒ボク土は火山灰を母材とする土壌であり、また褐色森林土も火山灰を含むことが多い。また、暗赤色土は塩基性岩石である流紋岩を母材とする。一方、砂丘未熟土と泥炭土にも微量必須元素は少ない。このように土壌中の微量必須元素含量は母材と強い関係がある。

しかしながら、土壌は母材に水、温度、植生が作用して生成されるものであり、水の下方移動に伴う元素のA層からの溶脱とB層への集積、および



第5図 日本の土壌の元素組成.

植物による表層集積が起こっている。武田 (2000) は、各元素の層位別濃度から、アルカリ金属元素とその類縁元素が、B層に多く、銅、銀、カドミウムが表層に多い傾向があることを示し、銅、銀、カドミウムが表層に多いことの原因に汚染の影響を示唆している。

そこで、いくつかの土壌について、カリウム、カドミウムおよび炭素の断面内分布を検討した(第7図)。第7図Aは、茨城県つくば市の黒ボク土で、富士・箱根系の火山灰を主な母材にする。火山灰の累層であるが、明瞭な火山灰層は見られず、あたかも同じ母材からできているように見える土壌である。BとCは、北海道帯広市の黒ボク土で、それぞれやや乾性で腐植の集積が少ない土壌、とやや湿性で腐植の集積の多い土壌である。両者はほぼ同

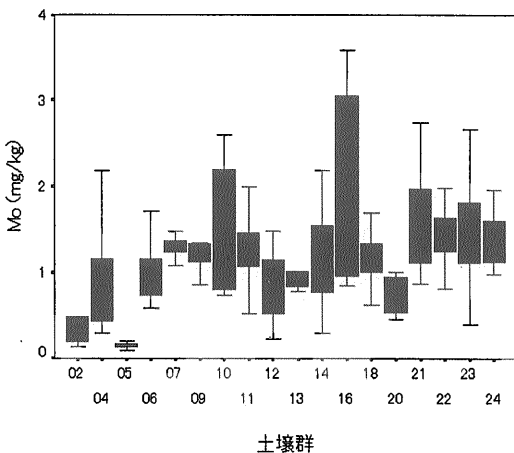
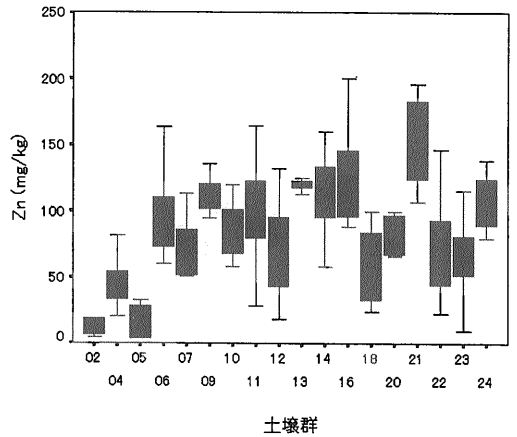
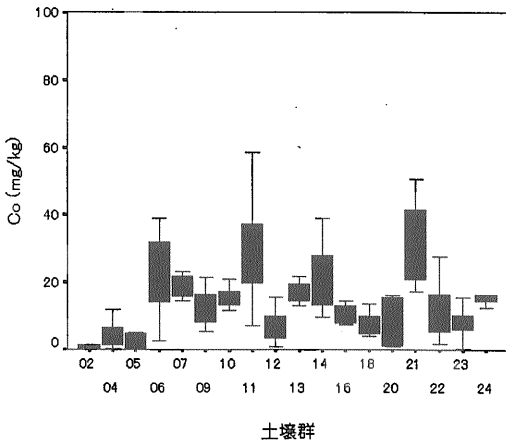
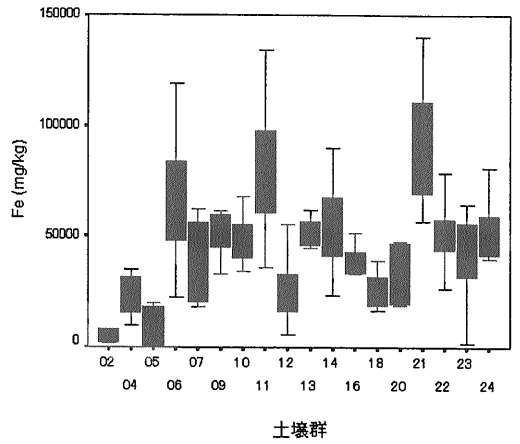
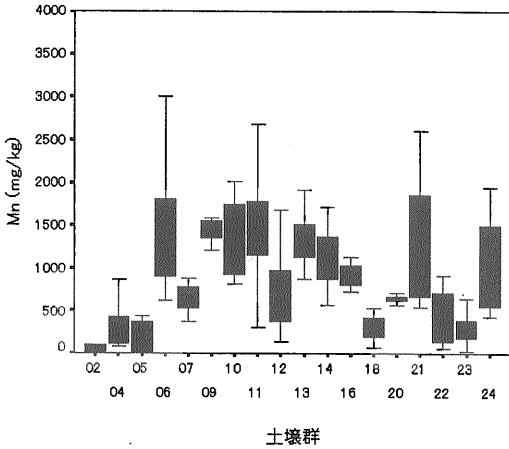
一の火山灰を母材とする。0～5, 5～14, 14～21, 21～37, 37～58および58 cm以下の5つの火山灰層が識別できた。Dは埼玉県鴻巣市の水田の土壌で、河川の氾濫による砂、粘土の互層を母材とする。

大まかには、カリウムは下層で濃度が高い。第7図Aがその典型で、同一の母材からできており、攪乱のない残積性の土壌は、同様な傾向を持つ。そのような土壌でも、最表層はカリウム含量が高い。これは植物による濃縮と考えてよい。Dのような異なる母材の累積層からなる土壌では、母材の影響が強く、溶脱の影響は明瞭ではない。

一方、カドミウムと炭素は表層に集積する傾向がある。しかし、その消長は2つの元素で異なる。第7図Cが両者の違いを示す最もよい例である。14～

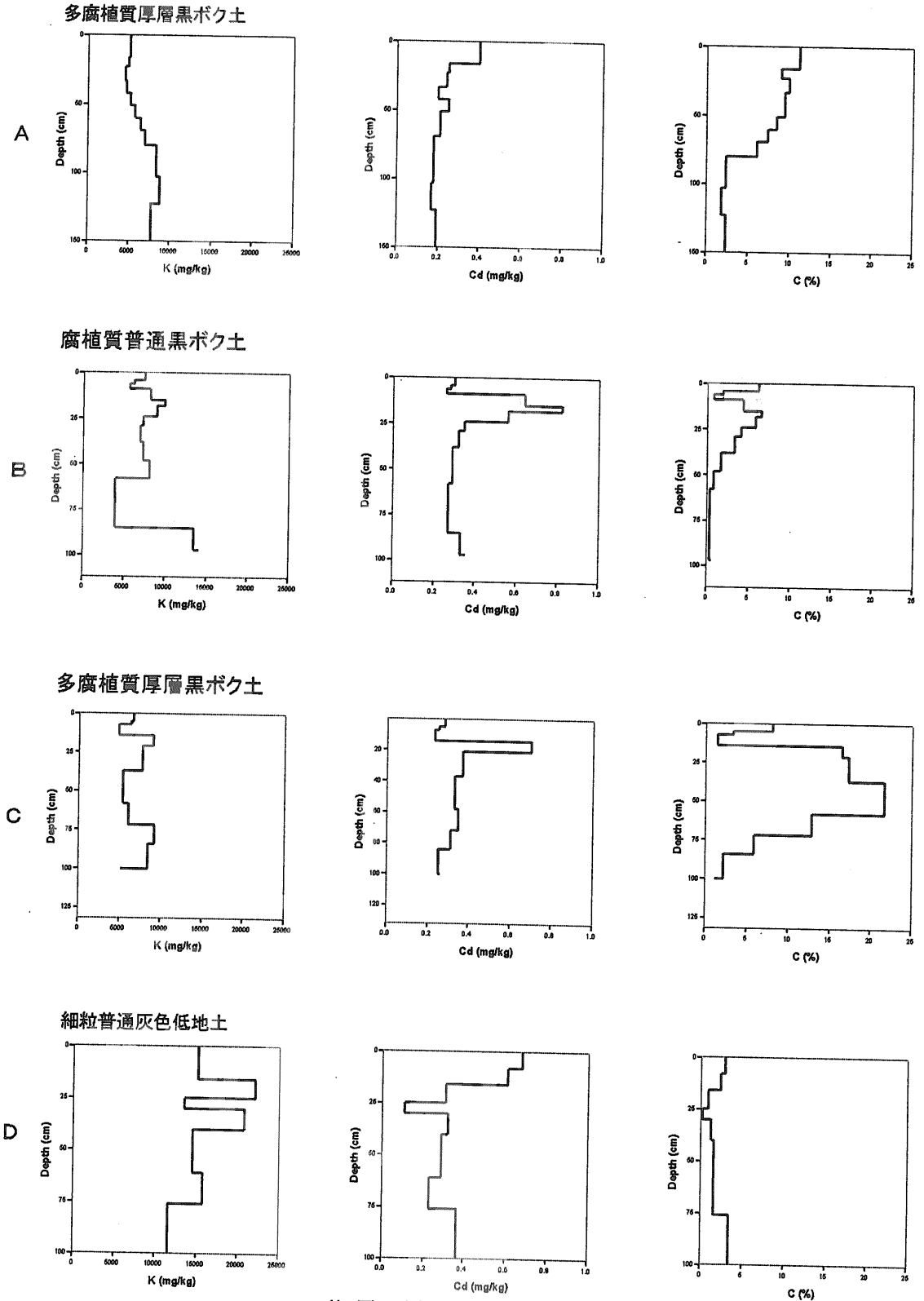
84cmの炭素含量が高い層位(埋没A層)は、過去の地表面にあった時間を反映している。もちろん埋没した後、炭素は次第に消耗するが、13,000年前の降灰とされる37~58 cmの層位は最も炭素含

量が高く、長期にわたって土壤有機物として保存されることを示している。これに対しカドミウムでは、炭素同様埋没A層に多いのであるが、とくにその最上層に多くなっている。これはカドミウムの植物に



- 02・泥炭土
- 03・黒泥土
- 04・ポドゾル
- 05・砂丘未熟土
- 06・火山放出物未熟土
- 07・黒ボクグライ土
- 08・多湿黒ボク土
- 09・森林黒ボク土
- 10・非アロフェン質黒ボク土
- 11・黒ボク土
- 12・低地水田土
- 13・グライ低地土
- 14・灰色低地土
- 15・未熟低地土
- 16・グライ台地土
- 17・灰色台地土
- 18・岩屑土
- 19・陸性未熟土
- 20・暗赤色土
- 21・赤色土
- 22・黄色土
- 23・褐色森林土

第6図 必須元素の土壤中含量。



第7図 元素の土壌断面内分布。

よる吸収と表層への蓄積を示唆するものである。最表層への集積も始まっているが、降灰後約300年であり、まだ埋没A層のカドミウムは保存されていると考えられる。カドミウムは残積性土壌でも表層に多く、植物による集積が強く示唆されている。一方では大気からの汚染も示唆されており、今後汚染との関連も検討しなくてはならない。

鉄、マンガン、アルミニウムといった土壌生成上重要で多量に存在する元素は、断面内での移動集積の挙動もよく調べられているが、微量元素についてはまだ研究が少なく、今後の課題である。

以上のように、土壌の元素濃度は、全体的には母材の影響を強く受けて、岩石の存在比と同様な傾向を持つ。しかし、断面内分布は土壌生成作用を受けて、移動集積をしている。その挙動は元素によって異なり、今後の研究が待たれる。



第8図 低地土壌の採取地点。

3. 沖積地の土壌

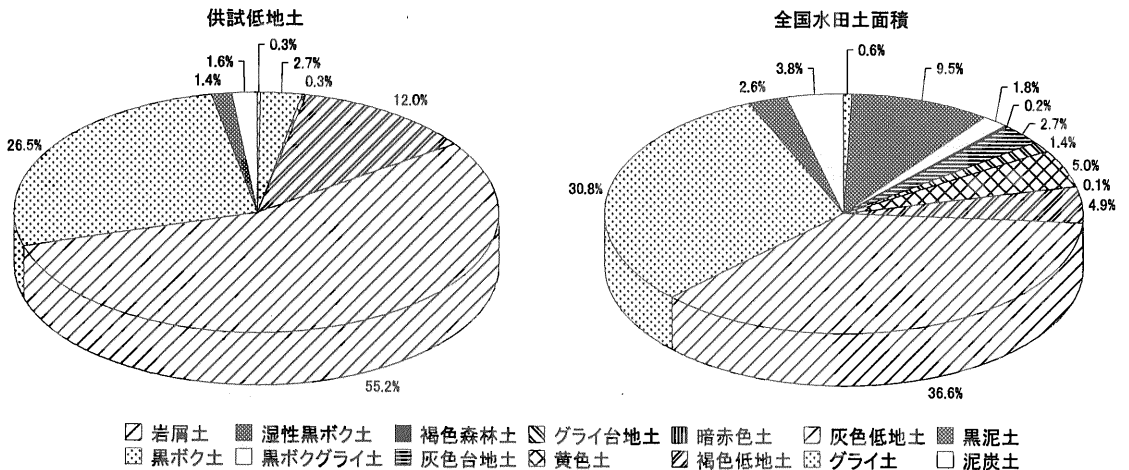
加藤ら(1999)は、日本全国より低地土壌を収集し、その化学組成を分析した。試料採取地点は第8図に示す500地点で、ほとんどが水田である。その土壌型と日本の低地土壌の分布割合を、第9図に示す。地点数は低地土壌の分布割合に比例しているわけではない。

これらの土壌の表層土(作土)について、ICPにより19元素の分析を行った。

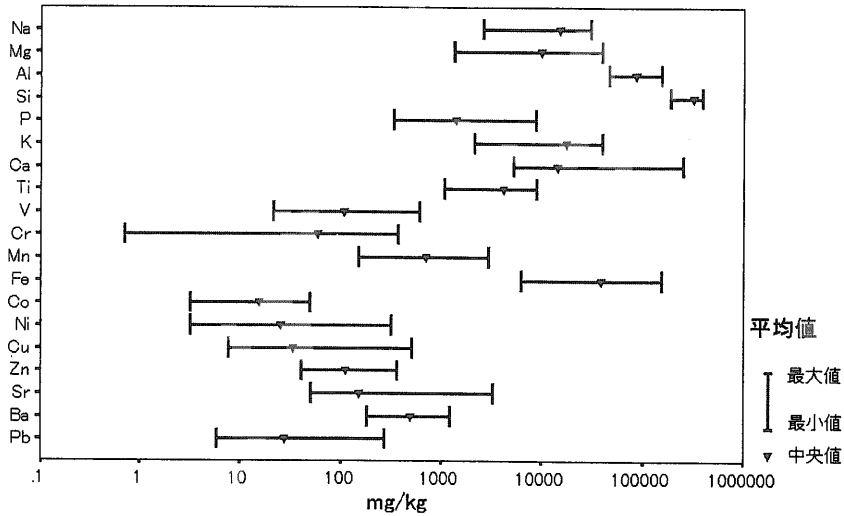
各元素含量の範囲は第10図に示す通りである。

この水田土壌の全国的な元素分布は、カリウム、ケイ素およびバリウムが、内帯に多く、酸性岩の分布地域と大まかには一致している。一方、マグネシウム、鉄、コバルト、チタン、バナジウム、アルミニウムおよびマンガンはその他の地域に多くなった。これは火山灰の影響が考えられる。このように沖積地の土壌表層の元素組成は、第一義的には母材の岩質を反映する。

元素組成の主成分分析を行ったところ、第3主成分までの累積寄与率が60%となった。固有ベクトルを詳細に検討した結果、沖積地の土壌元素組成は、第1に、土壌が苦鉄質か珪長質かの岩質、



第9図 供試低地土壌の割合。



第10図 低地土壌の元素組成。

第2に元素の移動性，第3に熱水変質の影響（または，酸化還元状態の違いによる元素の安定性）の要因に集約された。さらに土壌分類との関係もクラスター分析により検討し，土壌生成作用が元素組成に影響することを示した。

4. まとめ

以上のように，土壌の元素組成は，明らかに土壌生成作用の影響を受けている。土壌の生成には，母材（母岩），生物，気候，時間，地形が関与し，その影響の大きさの違いによって異なった土壌が生成する。土壌生成の間に，ある元素は溶出し，土壌層位のどこか特定の場所に集積したり，流出したりする。また，あるものはそのまま残留する。土壌は，もともと母材から生成するものであるので，元素の平均組成は岩石の平均組成に類似している。しかし，土壌生成作用は場所によって異なるものであるから，元素組成もそれに応じて変化する。土壌に多くの種類があることや土壌断面内における層位の分化は，元素組成の違いが現出したものでもある。

土壌中における元素の消長については，鉄，マ

ンガンやカルシウムなど目に見える色や形態をとる元素，あるいは多量にあるケイ素やアルミウム，植物の多量養分などの元素についてはかなり調べられてきた。しかし，その他の元素については土壌中での挙動が十分に明らかになっていない。そのような元素について，土壌生成や分類の観点から研究を進める必要がある。同時に，重金属汚染や環境ホルモンの社会問題に対応するためにもそのことは重要な研究課題である。

引用文献

- Bowen, H.J.M. (1979) : Environmental Chemistry of the Elements. Academic Press, London, UK.
- 加藤邦彦・小原 洋・中井 信・東 照雄 (1999) : 日本の沖積土壌における元素組成，土肥誌，71 (2)，p.143-153.
- Yamasaki, S., Takeda, A., Nanzyo, M., Taniyama, I. and Nakai, M. (1999) : Background levels of trace and ultra-trace elements in soils of Japan. Proceedings of extended abstracts of 5th International Conference on the Biogeochemistry of trace elements, p.622-623.
- 武田 晃 (2000) : 我が国の土壌中における微量元素の天然存在量の解明，東北大学大学院農学研究科土壌立地学分野（修士論文）。

NAKAI Makoto (2001) : Elemental Composition of Soils in Japan.

<受付：2000年12月28日>