

土質標本を利用した名古屋市内土壤中の重金属等調査結果

山守 英朋, 朝日 教智, 堀部 俊男*

Survey on Heavy Metals in Soils of Nagoya using Soil Test Sample

Hidetomo Yamamori, Kiyotoshi Asahi, Toshio Horibe*

建築物を建設する際、地盤調査で採取された土質標本を用いて、重金属等の全分析による土壌含有量調査を実施した。名古屋市内の 10 地点の土質標本を入手し、土質の変化が認められた深さごとに試料採取し、延べ 203 試料について定量した。本報告では、定量結果を総括して、全体的な特徴(各元素間の相関関係、各元素の土壌平均濃度、標準偏差、既往文献値との比較、含有量と深さ・土質の関係、平面的な分布の特徴)について報告した。

はじめに

環境科学調査センターでは、自然由来の土壌・地下水汚染の実態を明らかにし、人為的汚染と区別するための科学的根拠を提供する目的で、平成 23 年度より調査研究を実施している。

地下水は、水質汚濁防止法に基づく、公共用水域の常時監視などで、多数のデータが蓄積されているため、詳細な解析が可能であり、既報等できりまとめ、名古屋市¹⁾および濃尾平野²⁾における分布解析結果を報告してきた。

一方、土壌では、地中深くの土壌を採取することが容易でなく、しかも、分析も非常に煩雑で、時間を要することから、この地域での、地中の重金属等の分布に関する報告例は、非常に少ない。

今回調査するにあたって、予め、名古屋市内を 3km メッシュに分け、各メッシュにおいて、1 地点以上、土質標本を入手し、土質の変化する深さで、重金属等の含有量を定量することで、元素ごとに、層別の土壌含有量をマッピングすることを目的とした。

具体的には、建築物を建設する際に行われるボーリング調査で得られる土質標本は、通常、各施設に保管されていることが多いので、各メッシュで事業所を照会し、提供された土質標本を、粉碎し、目的元素を定量した。

本報告では、一部試料に関して、定量・解析を行い、全体的な特徴づけを行ったので、報告する。

調査・分析方法

* 名古屋市環境局 地域環境対策課

1 調査試料

本調査では、建物等を建設する際に、地盤調査のために採取した土質標本を用いた。各試料の詳細は以下のとおりである。また、名古屋市内での位置を図 1 に示す。

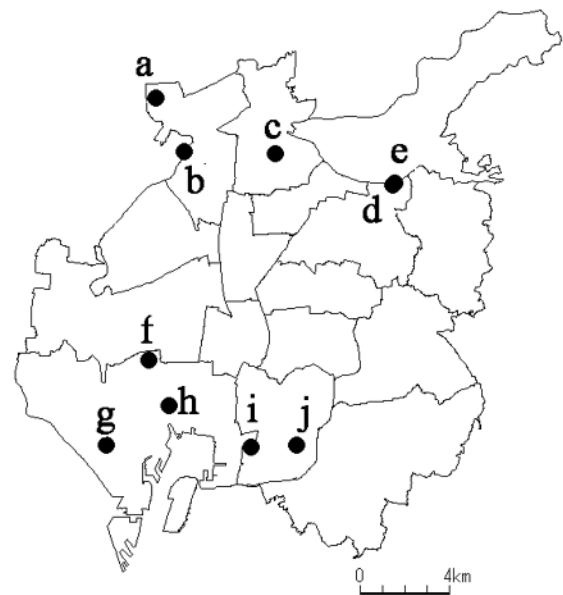


図 1 試料採取地点

- a) 西区十方町 1998 年 8 月採取 -1.00～-20.83m の深さ、合計 20 試料
- b) 西区南堀越二丁目 2007 年 11 月採取 -1.15～-25.43m の深さ、合計 25 試料
- c) 北区辻本通り一丁目 1998 年 9 月採取 -1.15～-20.35m の深さ、合計 20 試料
- d) 千種区香流橋一丁目 1997 年 9 月採取 -2.15～-40.24m の深さ、合計 39 試料
- e) 千種区香流橋一丁目 1998 年 7 月採取 -1.15～-30.45m の深さ、合計 30 試料

- f) 港区正徳町 1992年6月採取 -1.15~-35.30mの深さ, 合計35試料
- g) 港区藤前二丁目 1990年11月採取 -6.15~-100.45mの深さ, 合計95試料
- h) 港区十一屋一丁目 1995年8月採取 -1.15~-50.45mの深さ, 合計50試料
- i) 港区本星崎町 1992年7月採取 -1.15~-60.15mの深さ, 合計60試料
- j) 南区元塩町 2003年7月採取 -1.15~-33.40mの深さ, 合計33試料

2 試料の前処理

分析に際して, 土質標本の一部を採取し, アルミナ乳棒にて粉碎を行った. その後, 2mmメッシュのふるいを通した土壌試料を採取し, 以下の分析手順にて, 定量を行った. なお, 礫混じり試料においては, 礫は粉碎せず, 礫に付着している微細な土壌をはがすのみとした.

3 分析対象元素および定量方法

1) 水銀

底質調査方法の硝酸-硫酸-過マンガン酸カリウム分解法に準ずる方法にて処理後, 還元気化原子吸光法にて 253.7nmにて定量した. 分析手順の概略を図2に示す.

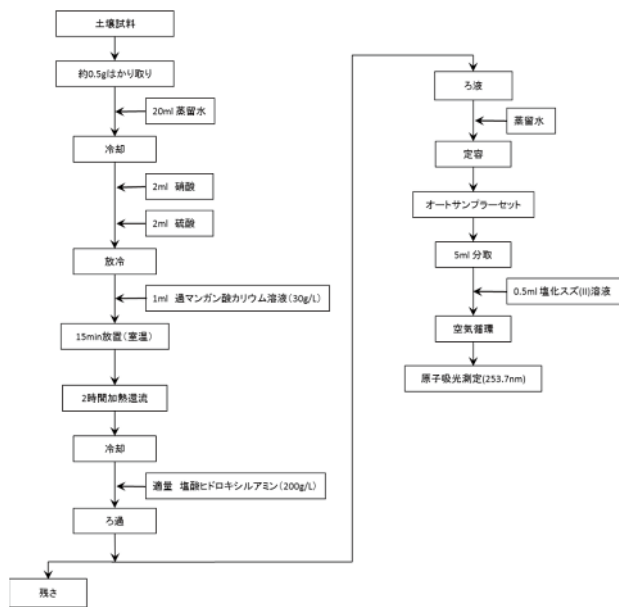


図2 土壌中の総水銀の分析手順

2) ふっ素およびほう素

底質調査方法のアルカリ溶融法に準ずる方法にて処理後, ふっ素はイオン電極法にて, ほう素は ICP 発光分光分析法(208.893nm)にて, それぞれ定量した.

分析手順の概略を図3に示す.

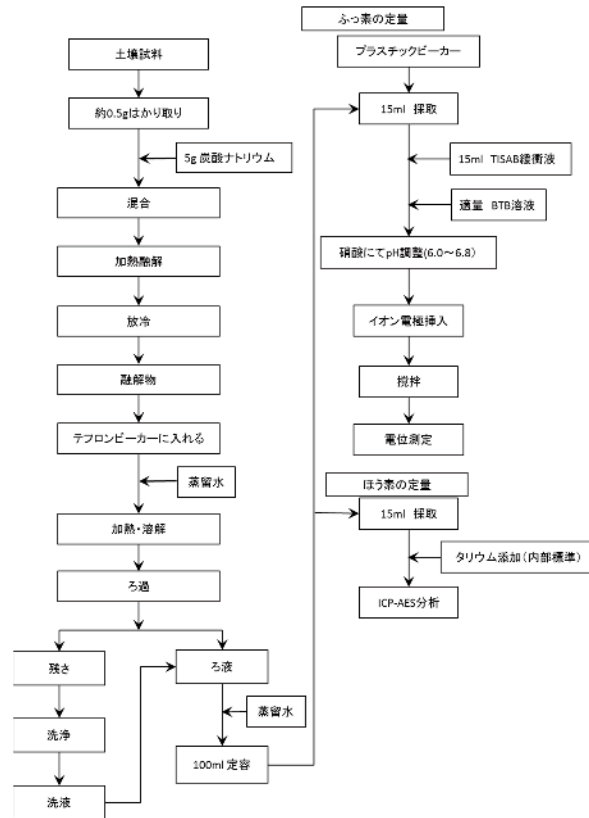


図3 土壌中のふっ素, ほう素の分析手順

3) 重金属

底質調査方法の圧力容器法に準ずる方法にて処理し, ICP 質量分析法(ヘリウムコリジョンモード, Seのみ水素コリジョンモード)にて, 一斉定量を行った. 分析手順の概略を図4に示し, 分析対象元素およびその ICP 質量分析法の分析条件を表1に示す.

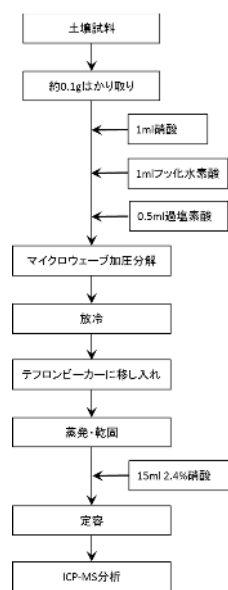


図4 土壌中の重金属の分析手順

表 1 ICP/MS の分析対象元素と測定条件

元素	測定質量数 m/z	定量下限値 mg/kg
Mg	24	3
Ti	47	3
V	51	0.3
Cr	52	0.3
Mn	55	0.3
Fe	56	3
Co	59	0.3
Ni	60	0.3
Cu	63	0.3
Zn	66	3
As	75	0.03
Se	78	0.01
Rb	85	0.3
Sr	88	0.3
Zr	90	0.3
Mo	95	0.03
Cd	111	0.01
Sn	118	0.03
Sb	121	0.03
Cs	133	0.3
Ba	137	0.3
W	182	0.3
Pb	208	0.03
U	238	0.03
In(内標準)	115	

結果および考察

1) 元素間の相関関係

定量した元素間での相関関係を解析した。解析結果を表 2, 3 にまとめた。解析に際し、名古屋市の北部地点は、その地層の成り立ちが、後期更新世～完新世における海成または非海成堆積岩類となっており、南部は完新世の人工改変地³⁾となっていることから、北部地点 a)～e)(79 試料)と南部地点 f)～j)(124 試料)とに分類した。

北部の地点(表 2)では、Se-Cd(R=0.80), Pb-Sn(R=0.87), B-Ni(R=0.81), B-Cs(R=0.80), Cu-Sb(R=0.95), Ti-V(R=0.96), Ti-Zr(R=0.88), V-Zr(R=0.88), Sn-Cs(R=0.80), Sn-W(R=0.80), Cs-U(R=0.86), W-U(R=0.80)が高い正の相関関係を示した(表中の黒色網掛け部分)。

一方、南部の地点(表 3)では、Cr-Ni(R=0.94), Cr-Cu(R=0.80), Cd-Pb(R=0.98), Cd-Hg(R=0.84),

Cd-Cu(R=0.96), Cd-Zn(R=0.96), Cd-Sn(R=0.97), Cd-Sb(R=0.90), Pb-Hg(R=0.81), Pb-Cu(R=0.95), Pb-Zn(R=0.94), Pb-Sn(R=0.98), Pb-Sb(R=0.93), F-Ni(R=0.80), F-Mo(R=0.89), F-W(R=0.92), Hg-Cu(R=0.84), Hg-Zn(R=0.85), Hg-Sn(R=0.83), Ni-Mo(R=0.81), Cu-Zn(R=0.99), Cu-Sn(R=0.98), Cu-Sb(R=0.88), Zn-Sn(R=0.97), Zn-Sb(R=0.84), Mg-Mo(R=0.82), Ti-V(R=0.91), Ti-Zr(R=0.88), Mo-W(R=0.91), Sn-Sb(R=0.91)が高い正の相関関係を示した。

また、北部および南部の両者で高い相関関係が認められたものは、Pb-Sn, Cu-Sb, Ti-V, Ti-Zr, V-Zr(南部では R=0.79 であるが、比較的高い相関関係である。), Cs-U(南部では R=0.73 であるが、比較的高い相関関係である。)であった。

一方、片方の地域で高い相関関係が認められたが、他方では相関関係が認められないものとして、北部地域では、Se-Cd(南部 R=-0.06), B-Ni(南部 R=0.38), Sn-Cs(南部 R=0.26), Sn-W(南部 R=0.08), W-U(南部 R=0.02)であった。

南部地域では Cr-Ni(北部 R=0.05), Cr-Cu(北部 R=0.03), Cd-Pb(北部 R=0.31), Cd-Hg(北部 R=0.23), Cd-Cu(北部 R=0.33), Cd-Sn(北部 R=0.35), Cd-Sb(北部 R=0.27), Pb-Hg(北部 R=0.09), F-Ni(北部 R=0.41), F-Mo(北部 R=0.01), F-W(北部 R=0.15), Hg-Cu(北部 R=0.31), Hg-Zn(北部 R=0.32), Hg-Sn(北部 R=0.10), Ni-Mo(北部 R=0.17), Mg-Mo(北部 R=0.48), Mo-W(北部 R=0.30)であった。

これら元素間の相関関係が、地層の成り立ちと関係しているかは、不明であるが、今後の測定結果においても、同様な解析を実施し、精度を高めてゆく予定である。

2) 各元素の土質ごとの平均含有量

自然由来の土壤汚染対象元素の土壤平均含有量と標準誤差を図 5 に示した。図 5 では、名古屋市北部と南部に分け、更にもその中で、土壌の性状を、表層土および盛土、砂礫層、砂層、細砂層、シルト層、粘土層に分類し解析を行った。

土質での特徴として、全ての元素で、表層土が最も高濃度であり、以下、土壤粒子が細くなるにつれて、含有量が増大し、粘土層が最も高濃度であった。

また、表層土のばらつきが最も大きくなった。これは、表層土では、場所によっては、人為的な汚染等を受けている可能性があり、汚染の有無により、大きく含有量が異なっているためと考えられる。

名古屋市北部と南部の地点を比較すると、クロム(砂、

シルト, 粘土), カドミウム (シルト), 水銀(砂礫)で北部の方が高濃度で, ほう素 (砂礫, 粘土), ふっ素 (砂礫, 粘土) では, 南部の方が高濃度となった。砒素, セレン, 鉛では, 明確な差は認められなかった。

今回の測定値を, Bowen⁴⁾がまとめた土壤中の各元素の中央値と濃度範囲と比較した。各元素の中央値と比べ高濃度であった割合は, クロム 13.3%, 砒素 35.0%, セレン 3.0%, カドミウム 4.4%, 鉛 6.4%, ほう素 36.9%, ふっ素 63.5%, 水銀 4.4%であった。今回の測定結果は, 砒素, ほう素, ふっ素において, 既報の文献値の中央値に比べ上回るポイントが多かった。土質別(表層土を除く)に見た場合, ほう素およびふっ素は, 北部・南部両地域で, シルト層, 粘土層で中央値より高濃度であった。砒素では, 北部では, 細砂層, 南部ではシルト層で高かった。クロムでは, 北部の砂層で高かった。

また, 濃度範囲の上限値を超過したものが, カドミウム(上限値:2.0mg/kg), ふっ素(上限値:700mg/kg), 水銀(上限値:0.5mg/kg)で認められたが, 表層の盛土を除いた場合, ふっ素のみであり, 北東部で 20~25m の層, 南西部で 50m の層で高濃度であった。

3) 各元素の深さごとの含有量

図 6 に元素ごとに深さと含有量との関係をプロットした。なお, この図においては, 表層土の影響を除外するため, 表層下 1.5m 以深の地点をプロットした。

ふっ素およびほう素では, 深さと含有量の関係は認められず, 深さによらず様な分布となった。一方, それら以外の 6 元素では, 深くなるにつれて, 徐々に低濃度になっていると思われた。ふっ素, ほう素において深さとの関係が認められないのは, 重金属のように, これらは硫化物と結びつかず, 水への溶解度も高いため, 地下水中に溶解し, 深さによらず様に分布していると考えられた。また, 全ての元素で, 深度が同じであるにもかかわらず, 高濃度と低濃度の試料が混在しているが, 高濃度試料は, シルト質・粘土質土壌であり, 低濃度試料は, 砂礫であることが多かった。

4) 産業技術研究所「地球化学図」⁵⁾との比較

産業技術総合研究所が, 日本全国を概ね 10km メッシュとしてその中で 1 地点, 河川堆積物や岩石, 土壌の全分析を行い, 53 元素の地域的な分布を公開している。この結果は, 表層土壌の結果を示しているが, 広域的な広がり等が把握できるため, 自然起因の土壤汚染等の判断には有効であると考えられる。

そこで, 本調査結果と地球化学図結果とを比較した。

クロムの場合, 地球化学図では, 名古屋市南西部においてやや高濃度(189~214ppm)となっている地域が認められる。その周辺で, 163~189ppm の濃度地域

が分布し, 他は 87ppm 未満の低濃度地域となっている。

本調査では, 名古屋市の北西部および北東部の a), e) 地点で, 200ppm 以上の地点が認められた。これ以外に, j)地点で 100ppm 以上の地点が認められた。他の地点は, 87ppm 未満であった。したがって, 地球化学図とは一致しなかった。

砒素の場合, 地球化学図では, 0~24.72ppm の濃度地域が観察されており, 全国的には, この地域は, 比較的低濃度の分布である。また, 南西部で最も高濃度地域の 18.94~24.72ppm を示す地域があり, その周りに 12.17~18.94ppm を示す地域が広がっている。本調査においても, 名古屋市南西部の i)地点において, 20ppm 程度の濃度となっていた。12~15ppm の測定値は, a), b), d), f), g)地点において認められ, d)地点を除き, 西部から南西部に位置している。他の地点は, 12.17ppm 以下で, 地球化学図と, 比較的一致していた。

カドミウムの場合, 地球化学図では, 名古屋市の西部から南西部でやや高濃度(1~1.3ppm)となっている地域が認められる。その周辺で 0.738~0.903ppm の濃度を示す地域が認められるほかは, 0.407ppm 未満の低濃度地域となっている。

本調査においては, 名古屋市北西部の b)地点で 1.6ppm となった。他は 0.40ppm 以下の低濃度であり, 局在性も認められなかった。したがって, 地球化学図とは一致しなかった。

鉛の場合, 地球化学図では, 名古屋市の西部から南西部で, 150ppm 以上の高濃度地域が認められ, 反時計回り南東部にかけて減少し, 南東部では 25~35ppm の濃度となっていた。

本調査においては, 最も高濃度であった地点は d)地点であり 44ppm となった。他は, 更に低濃度であり, 局在性も認められなかった。したがって, 地球化学図とは, 一致しなかった。

水銀の場合, 地球化学図では, 名古屋市全域で, 0.8~1.8ppm の高濃度地域となっており, また, その周辺の名古屋市東部から南部にかけて, 0.12~0.80ppm の濃度地域が広がっている。本調査においては, b)地点において, 0.47ppm を示す地点が認められたが, 他は全地点において, 0.10ppm 未満であった。したがって, 地球化学図とはかなり異なっていた。

セレン, ほう素, ふっ素に関しては, 地球化学図にデータがなく, 比較できなかった。

文献

- 1) 山守英朋, 朝日教智, 平生進吾, 長谷川絵理, 堀部俊男: 名古屋市内の地下水の重金属等による汚染実態, 名古屋市環境科学調査センター年報, **1**, 72-80(2012)
- 2) 山守英朋, 朝日教智, 平生進吾, 長谷川絵理, 坂井田稔, 水野勝: 濃尾平野の地下水における重金属分布特性, 第 48 回日本水環境学会年会要旨集,

p. 563(2014)

- 3) 地図 Navi ホームページ,
<https://gbank.gsj.jp/geonavi/geonavi.php>
- 4) H. J. M. Bowen: Environmental Chemistry of the Element, Academic Press (1979)
- 5) AIST 海と陸の地球化学図ホームページ,
<https://gbank.gsj.jp/geochemmap/>

表2 名古屋市北部の地点での各元素間の相関係数

	Cr	As	Se	Cd	Pb	B	F	Hg	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Mg	Ti	V	Co	Rb	Sr	Zr	Mo	Sn	Sb	Cs	Ba	W	U	
Cr	1																											
As	0.18	1																										
Se	0.06	0.24	1																									
Cd	0.01	0.16	0.80	1																								
Pb	0.07	0.25	0.32	0.31	1																							
B	-0.06	0.25	0.26	0.25	0.57	1																						
F	-0.21	0.03	0.03	0.12	0.15	0.49	1																					
Hg	0.07	-0.04	0.16	0.23	0.09	-0.07	-0.08	1																				
Mn	0.17	0.19	0.02	-0.01	0.01	-0.03	0.15	0.19	1																			
Fe	0.15	0.10	0.11	-0.01	0.22	0.34	0.24	-0.03	0.42	1																		
Ni	0.05	0.26	0.23	0.26	0.58	0.81	0.41	0.02	-0.04	0.24	0.33	1																
Cu	0.03	0.13	0.45	0.33	0.64	0.20	0.05	0.31	0.02	0.04	0.33	1																
Zn	0.10	0.16	0.39	0.51	0.64	0.49	0.32	0.21	0.36	0.57	0.58	1																
Mg	0.16	0.41	0.17	0.11	0.22	0.38	0.16	-0.01	0.47	0.49	0.29	0.02	0.38	1														
Ti	0.05	-0.01	0.10	0.13	0.15	0.51	0.55	-0.17	0.27	0.60	0.41	0.00	0.54	0.41	1													
V	-0.04	-0.02	0.14	0.18	0.18	0.55	0.61	-0.17	0.27	0.58	0.44	0.04	0.56	0.38	0.96	1												
Co	0.00	0.29	0.11	0.14	0.29	0.57	0.51	-0.04	0.27	0.30	0.75	0.18	0.54	0.37	0.55	0.57	1											
Rb	0.19	0.12	0.07	-0.01	0.34	-0.04	-0.33	0.08	0.04	0.06	0.07	0.15	0.08	0.19	-0.21	-0.21	-0.10	1										
Sr	0.13	0.17	-0.04	0.01	-0.08	-0.02	0.21	-0.05	0.52	0.38	-0.08	-0.06	0.31	0.71	0.51	0.47	0.27	-0.04	1									
Zr	0.04	0.03	0.11	0.17	0.28	0.69	0.59	-0.17	0.11	0.48	0.55	0.08	0.54	0.29	0.88	0.88	0.55	-0.19	0.32	1								
Mo	0.11	0.47	0.34	0.17	0.34	0.17	0.01	0.08	0.23	0.14	0.17	0.44	0.24	0.48	-0.04	-0.05	0.16	0.09	0.33	0.00	1							
Sn	0.02	0.33	0.45	0.35	0.87	0.75	0.29	0.10	0.05	0.33	0.71	0.60	0.68	0.36	0.35	0.37	0.44	0.25	-0.05	0.45	0.34	1						
Sb	-0.02	0.05	0.38	0.27	0.68	0.29	0.10	0.22	-0.04	0.11	0.41	0.95	0.59	0.02	0.10	0.13	0.24	0.12	-0.08	0.19	0.42	0.63	1					
Cs	-0.03	0.27	0.32	0.20	0.80	0.32	0.05	0.04	0.41	0.68	0.30	0.45	0.45	0.32	0.36	0.34	0.38	-0.02	0.46	0.26	0.80	0.34	1					
Ba	0.04	0.23	0.09	0.07	0.40	0.24	0.05	0.00	0.14	0.16	0.25	0.11	0.28	0.50	0.13	0.11	0.22	0.82	0.34	0.14	0.26	0.38	0.15	0.48	1			
W	0.04	0.23	0.61	0.35	0.65	0.60	0.15	0.22	0.08	0.25	0.55	0.61	0.51	0.29	0.23	0.27	0.30	0.28	-0.09	0.30	0.80	0.55	0.74	0.33	1			
U	0.04	0.25	0.46	0.26	0.62	0.67	0.17	0.09	0.11	0.35	0.60	0.28	0.41	0.46	0.26	0.28	0.33	0.41	-0.04	0.35	0.31	0.75	0.30	0.86	0.52	0.80	1	

■ R≥0.8 **□** R≥0.7

表3 名古屋市南部の地点での各元素間の相関係数

	Cr	As	Se	Cd	Pb	B	F	Hg	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Mg	Ti	V	Co	Rb	Sr	Zr	Mo	Sn	Sb	Cs	Ba	W	U	
Cr	1																											
As	0.17	1																										
Se	-0.01	0.37	1																									
Cd	0.73	0.20	-0.06	1																								
Pb	0.72	0.26	-0.04	0.98	1																							
B	0.33	0.46	0.26	0.41	0.50	1																						
F	0.61	0.28	0.11	0.11	0.15	0.34	1																					
Hg	0.68	0.13	0.11	0.84	0.81	0.31	0.04	1																				
Mn	0.13	0.19	0.08	0.04	0.05	0.12	0.21	0.02	1																			
Fe	0.33	0.42	0.33	0.21	0.24	0.51	0.40	0.20	0.54	1																		
Ni	0.94	0.26	0.06	0.58	0.59	0.38	0.80	0.50	0.19	0.37	1																	
Cu	0.80	0.20	-0.03	0.96	0.95	0.45	0.18	0.84	0.07	0.25	0.67	1																
Zn	0.78	0.17	-0.05	0.96	0.94	0.40	-0.09	0.85	0.06	0.24	0.60	0.99	1															
Mg	0.43	0.42	0.33	0.05	0.08	0.30	0.74	0.05	0.34	0.67	0.60	0.11	0.06	1														
Ti	-0.06	0.32	0.39	0.00	0.04	0.60	0.12	0.02	0.05	0.54	-0.02	-0.01	-0.02	0.32	1													
V	0.06	0.47	0.51	0.05	0.12	0.70	0.26	0.07	0.12	0.62	0.14	0.07	0.05	0.45	0.91	1												
Co	0.32	0.54	0.40	0.14	0.22	0.60	0.57	0.08	0.32	0.61	0.49	0.22	0.17	0.63	0.53	0.68	1											
Rb	-0.02	-0.17	-0.16	-0.05	-0.05	-0.38	-0.22	0.00	-0.11	-0.23	-0.09	-0.08	-0.05	-0.19	-0.37	-0.36	-0.27	1										
Sr	0.03	0.18	0.04	0.04	0.02	-0.06	0.10	-0.02	0.23	0.33	0.05	0.03	0.07	0.50	0.15	0.10	0.13	-0.08	1									
Zr	-0.02	0.25	0.29	0.03	0.08	0.59	0.14	0.02	0.06	0.51	0.03	0.04	0.03	0.28	0.88	0.79	0.47	-0.36	0.25	1								
Mo	0.65	0.32	0.27	0.16	0.18	0.23	0.89	0.13	0.24	0.44	0.81	0.22	0.15	0.82	0.06	0.22	0.51	-0.13	0.23	0.09	1							
Sn	0.77	0.24	-0.03	0.97	0.98	0.52	0.19	0.83	0.06	0.27	0.64	0.98	0.97	0.10	0.07	0.15	0.26	-0.09	0.00	0.10	0.20	1						
Sb	0.76	0.29	0.08	0.90	0.93	0.54	0.32	0.78	0.04	0.24	0.68	0.88	0.84	0.17	0.16	0.24	0.32	-0.08	-0.03	0.20	0.33	0.91	1					
Cs	0.15	0.32	0.20	0.16	0.26	0.64	0.18	0.19	0.13	0.44	0.18	0.20	0.17	0.26	0.47	0.58	0.53	0.18	0.03	0.47	0.11	0.26	0.30	1				
Ba	0.04	-0.08	-0.30	0.04	0.05	-0.24	-0.19	-0.03	0.14	-0.08	-0.05	0.05	0.08	-0.07	-0.25	-0.23	-0.12	0.63	0.27	-0.15	-0.11	0.01	-0.01	0.15	1			
W	0.62	0.16	0.06	0.03	0.05	0.08	0.92	0.01	0.17	0.26	0.79	0.10	0.02	0.69	-0.08	0.05	0.40	-0.04	0.08	-0.04	0.91	0.08	0.23	0.00	-0.07	1		
U	0.02	0.31	0.30	0.00	0.09	0.52	0.17	0.03	0.14	0.45	0.07	0.01	-0.02	0.27	0.55	0.63	0.51	0.08	0.04	0.57	0.16	0.08	0.18	0.73	0.02	0.03	1	

■ R≥0.8 **□** R≥0.7

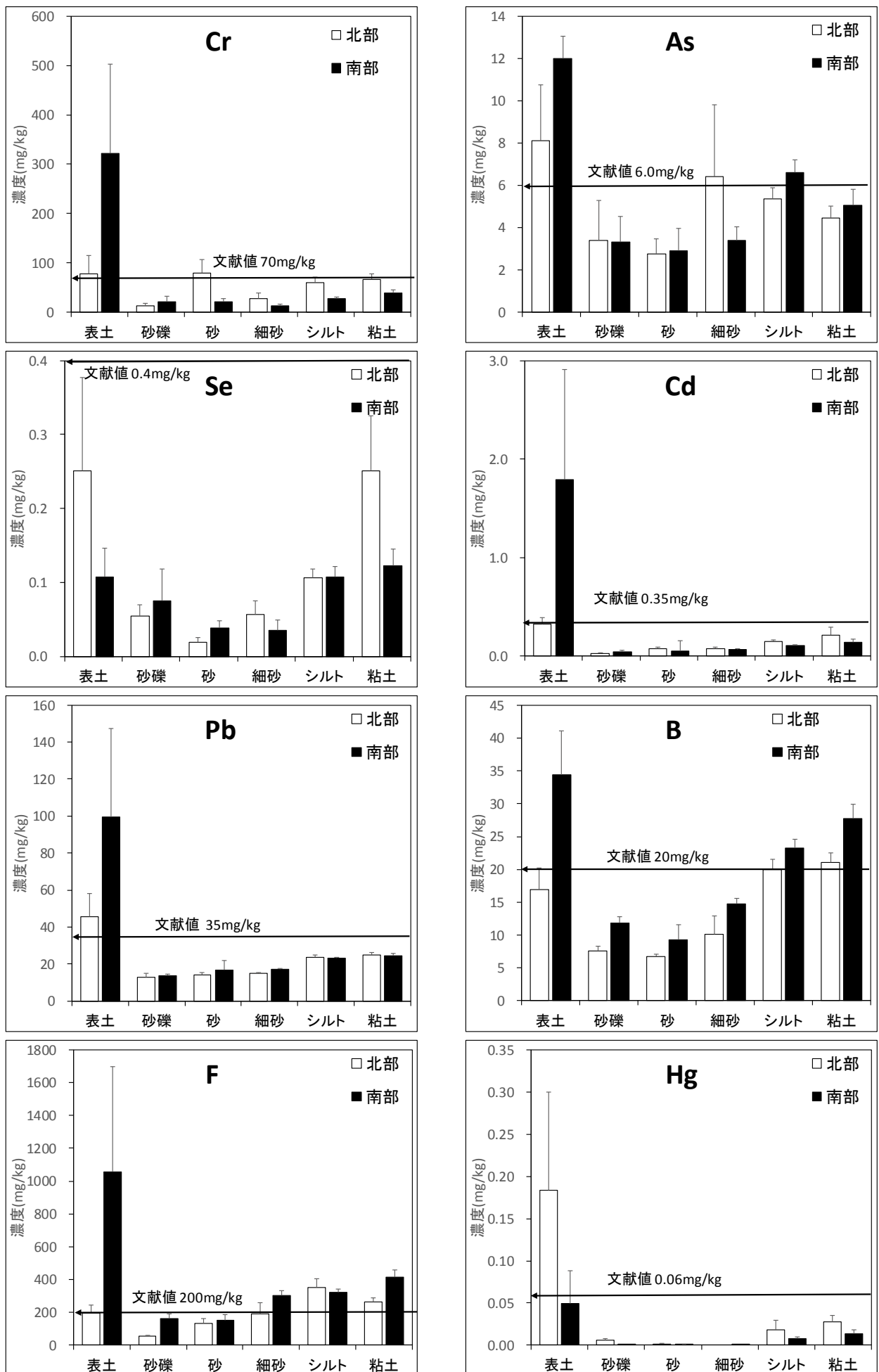


図5 各元素の土質ごとの平均含有量・標準誤差

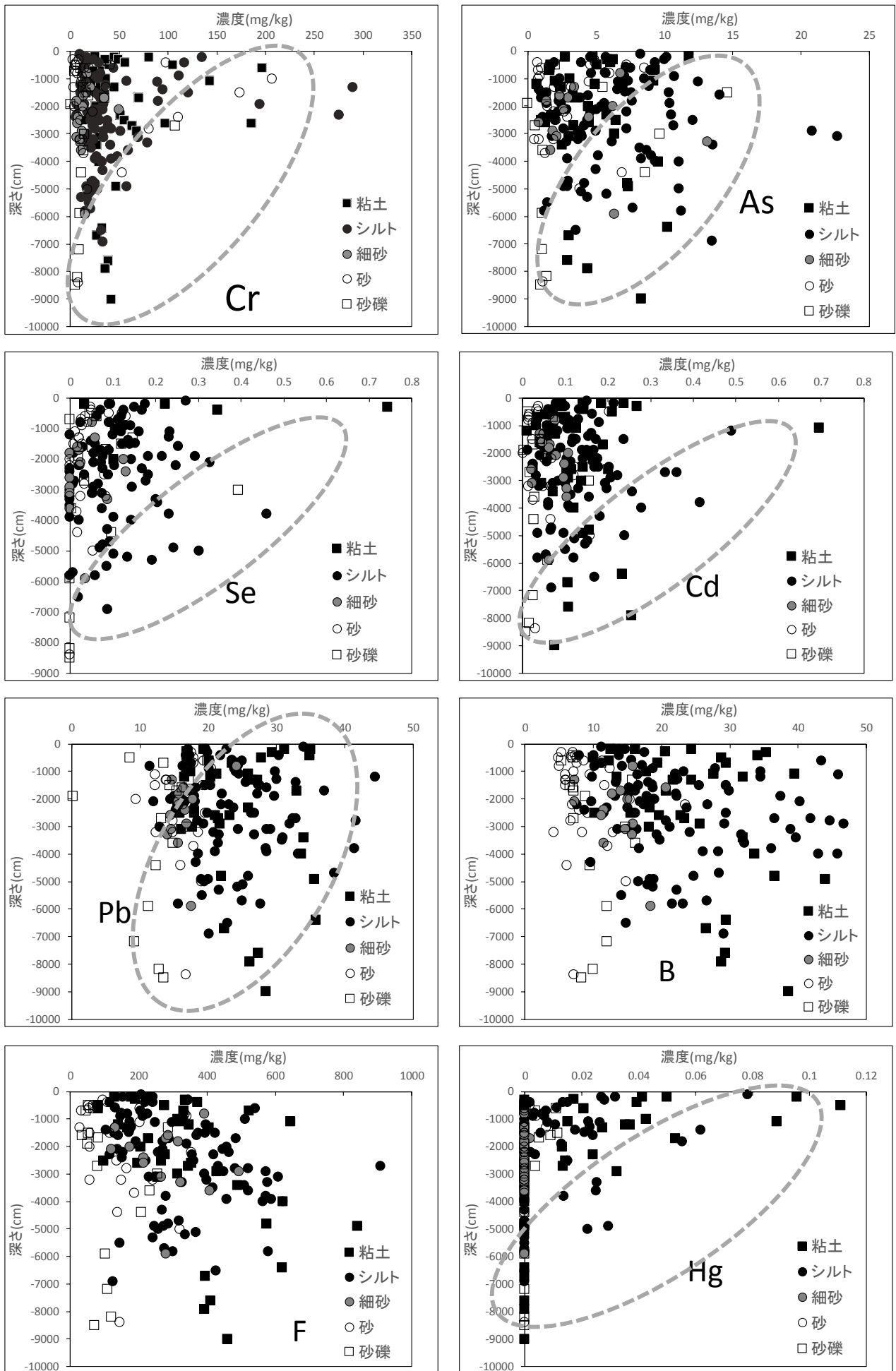


図6 各元素の土壌含有量と試料採取深度との関係