

名古屋市内で掘削されたボーリングコア試料中の自然由来有害重金属の分布

山守 英朋, 朝日 教智, 長谷川 絵理

Distribution Profiles of Natural Origin Harmful Heavy Metals in Drilling Core Samples in Nagoya

Hidetomo Yamamori, Kiyotoshi Asahi, Eri Hasegawa

名古屋市では、ヒ素、水銀、ふっ素、ほう素の地下水汚染が認められており、これらの汚染は、環境基準値をわずかに超過し、広範囲に分布し、深層地下水で検出されていることから、地層等の自然由来による汚染が疑われている。そこで、建築物を建設する際に、地盤調査で採取された土壌ボーリングコア試料を入手し、土壌試料中の元素成分の全量分析を行っている。現在、25 地点、延べ 494 試料について定量した。本報告では、定量結果を総括して、土質との関係、地層との関係について報告するとともに、市内での対象元素の分布を、既往研究と比較した。

はじめに

既報¹⁾で、濃尾平野におけるヒ素、水銀、ふっ素、ほう素による広範囲な地下水汚染について報告した。名古屋市においても、ヒ素、ふっ素、ほう素は西部地域で、水銀は南東地域で汚染が見つかっている²⁾。これらの地下水汚染は、広範囲の深層地下水中で、環境基準値をわずかに上回って検出され、地層等の自然由来による汚染が疑われている。そのため、これらの地下水汚染と土壌との関係を明らかにするため、名古屋市内で掘削されたボーリングコア試料(以下コア試料)を入手し、土壌中の重金属成分の全量分析をすすめている³⁾。

既報³⁾では、市内 10 地点での測定結果を取りまとめ、土質や深度による特徴づけを行うとともに、産業技術総合研究所の地球化学図⁴⁾との比較を行った。本報告では、続報として既報 10 地点も含め、25 地点の土壌試料中の重金属濃度結果を取りまとめ、自然由来土壌汚染対象 8 元素(六価クロムは総クロムを定量)に関して、土質、地層ごとに全体像を解析した結果について報告する。

調査・分析方法

1. 調査試料

既報³⁾に引き続いて、予め名古屋市を 3 km メッシュに分け、各メッシュで 1 地点以上、土質標本を入手し、土質の変化する深さで試料採取し、試料中の重金属等の全量分析を行った。

図 1 中の実線四角は各メッシュを表し、メッシュ内の黒丸は試料採取地点の位置を表す。

分析試料は以下のとおりコード化して表現することとした。表 1 に試料の深さ情報などを取りまとめた。

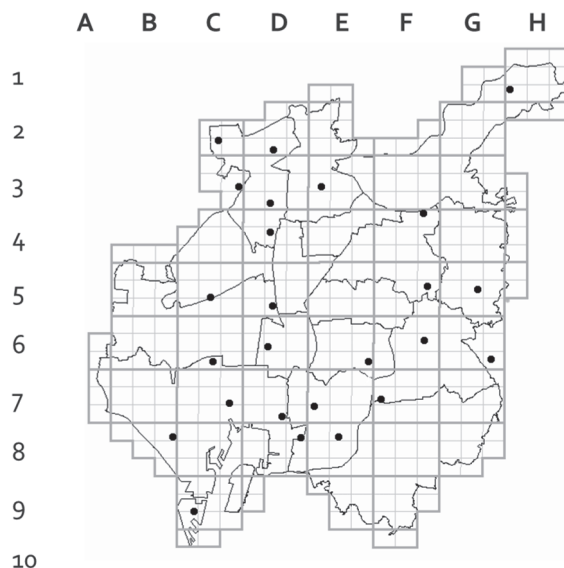


図 1 試料採取地点の概要

表 1 土壌ボーリング試料の概要と分析試料数

コード	深さ(m)	試料採取時期	分析試料数
B8	6.15 - 90.15	1990/11	38
C2	1.00 - 17.00	1998/08	11
C3	1.15 - 25.15	2007/11	14
C5	1.15 - 36.15	2001/10	21
C6	1.15 - 32.15	1992/06	14
C7	1.15 - 50.15	1995/08	21
C9	1.15 - 75.05	2013/08	33
D2	1.15 - 10.15	2009/02	10
D3	1.50 - 39.15	1997/08	22
D4	1.15 - 46.15	2000/01	23
D5	1.15 - 44.00	2006/03	23
D6	2.15 - 57.15	1998/12	28
D7	1.15 - 71.15	1999/01	37
D8	1.15 - 59.05	1992/07	31
E3	1.15 - 19.15	1998/09	8
E6	1.00 - 43.00	1999/10	15
E7	1.15 - 29.15	1976/09	12
E8	1.15 - 32.15	2003/07	20
F4	2.15 - 40.00	1997/09	24
F5	1.00 - 84.00	1993/01	34
F6	1.15 - 21.15	2007/08	12
F7	1.00 - 29.00	1990/10	17
G5	1.15 - 9.00	2009/02	9
G6	1.65 - 16.15	2007/08	9
H1	1.15 - 8.00	2009/02	8

2. 試料の調製方法および定量方法

試料調製方法は既報³⁾どおり、2 mm メッシュのふるいを通過した土壌試料を作成し分析に供した。

分析対象元素（六価クロムは総クロムで評価）および定量方法も既報³⁾どおりで、水銀は硝酸-硫酸-過マンガン酸カリウム分解法で酸分解の上、還元気化原子吸光法（平沼産業 HG-2500）で定量した。

ふっ素およびほう素はアルカリ溶融法で試料化し、ふっ素はイオン電極法（HORIBA F-イオン電極）、ほう素は ICP 発光分光分析法（Thermo IRIS）で定量した。

重金属は、マイクロウェーブ密閉容器（AntonPaar MicrowavePro）にて試料化後、ICP 質量分析法（Agilent 7700 x）にて定量した。

なお、重金属の分解方法は、マイクロウェーブ分解装置に変更したため、既報³⁾の使用試薬の過塩素酸 0.5 mL を過酸化水素 1 mL に変更した。

結果および考察

1. 土質と土壌濃度との関係

図 2 に各元素の土壌中濃度を取りまとめ、土質との

関係を示した。

図は各土質の箱ひげ図で表されており、実線の上端は最大値を、下端は最小値を、箱の下端は 25 パーセンタイル値を、上端は 75 パーセンタイル値を、箱の中の横棒は中央値を表している。なお、横軸の各土質の括弧内の値は、その土質の試料数を表している。

これによると、ほぼ全ての元素において、表層土が、他の土質区分に比べ、最大値および中央値ともに、高い値となった。また、その分布範囲も広がった。これは、人為的な汚染が表層土付近に留まって、その汚染の有無により、分布範囲も大きくなっているためと考えられた。従って、以降の解析からは、表層土は人為由来の汚染も含んでいる可能性があるため、除外して解析することとした。

図 3 に、図 2 の表層土を除外した結果を示した。除外後の結果で中央値を比較すると、ほぼ全ての元素で、粒子サイズが小さくなるにつれて、濃度が高くなる傾向が認められた。

最大値に関しては、粘土質・シルト質土壌で高い値となり、砂礫・砂・細砂土壌で小さい値となっているように思えるが、ヒ素のように、1 つの高濃度試料の影響があると、中央値で認められるような、明確な傾向は認められなくなった。

2. 地層と土壌濃度との関係

桑原によると、濃尾平野の地下断面図は、図 4 のように、名古屋市の東部丘陵地から三重県の養老山地に向かって沈み込んでおり⁵⁾、また、東海三県地盤調査会では、過去研究を取りまとめ、濃尾平野およびその周辺の地層は、表 2 のように重なっていると報告している⁶⁾。従って、同じ地層でも西側ほど深いため、単純な深さによる評価ではなく、土壌試料の地層鑑定を行い、地層毎に分類し解析した。

図 5 に各元素の土壌中濃度を取りまとめ、地層との関係を箱ひげ図で示した。また、Bowen⁷⁾が取りまとめた、高濃度汚染土や鉱山付近の結果を除いた一般土壌中の各元素の中央値および最大値と比較した。図中の破線は文献の中央値を表し、実線矢印は最大値を表す。ただし、実線矢印が描かれていない元素は、最大値がグラフスケールより大きい元素である。

ヒ素は、中央値（文献値 6.0 mg/kg）を比較すると、沖積層、熱田層下部においてやや高かったが、他の地層ではむしろ低い値となった。また、最大値（文献値 40 mg/kg）を比較すると、八事・唐山層および熱田層上部で非常に高い値を示した地点があった。

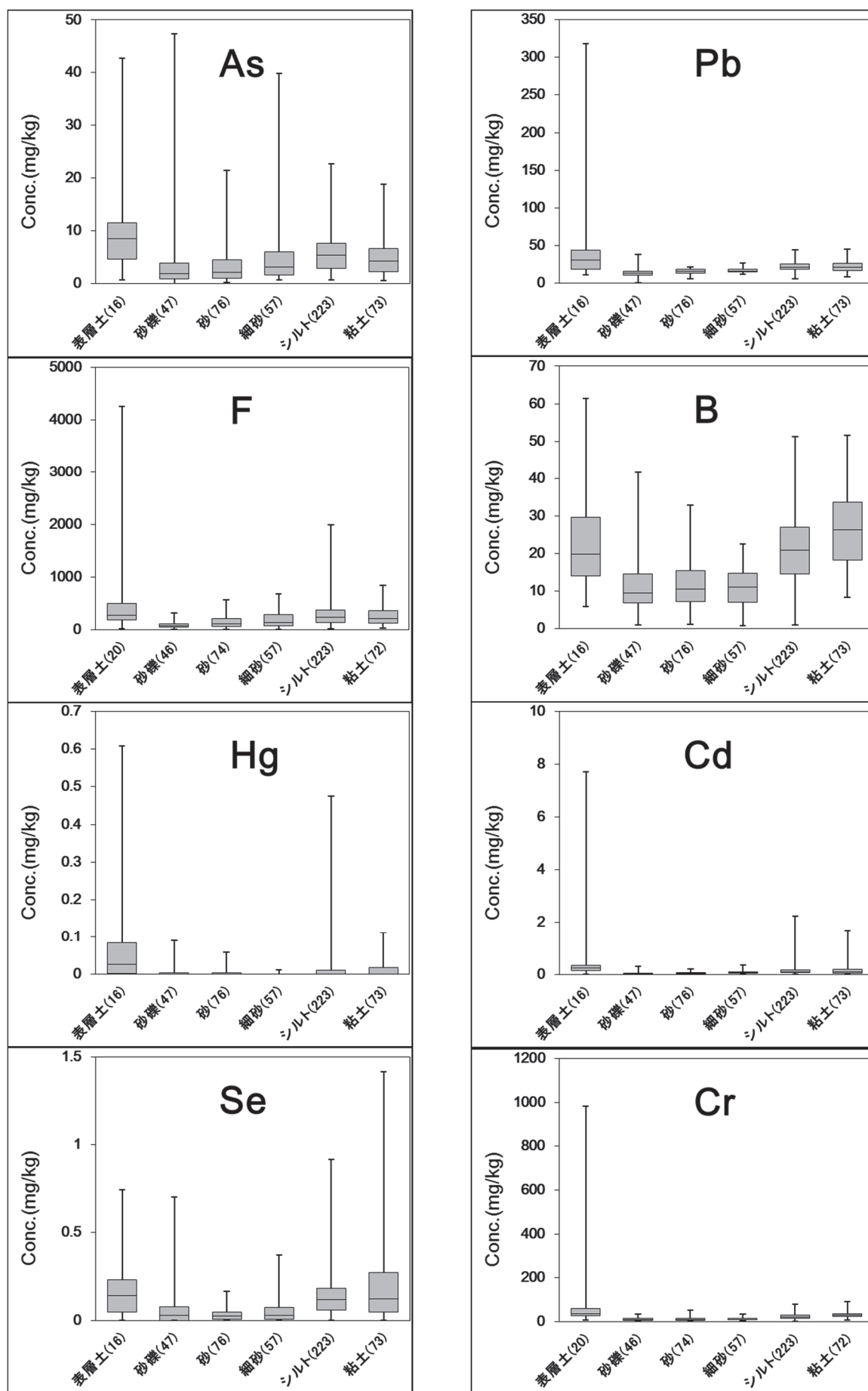


図 2 土質と各元素の土壌含有量との関係 (箱ひげ図)

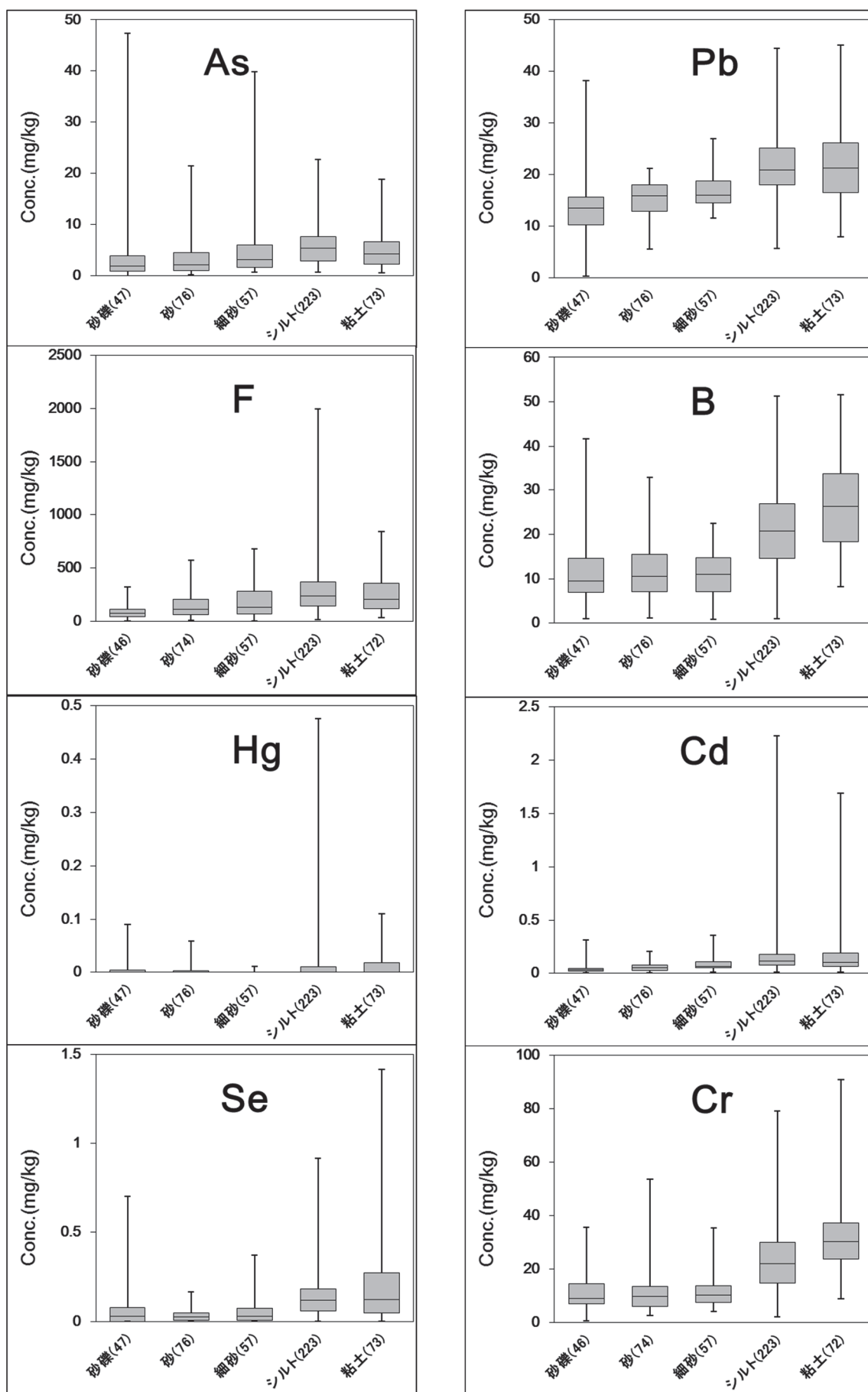


図3 土質と各元素の土壌含有量との関係(表層土除外)

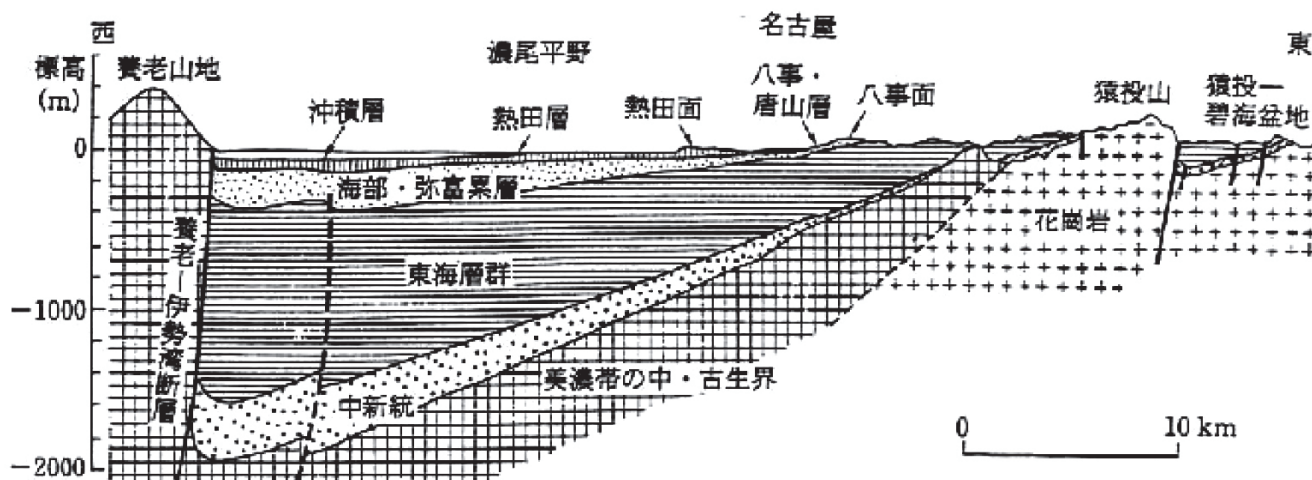


図4 濃尾平野の地下断面図⁵⁾

表2 濃尾平野の層序・地史⁶⁾

地質時代	濃尾平野	周辺地域の同時代の地層	地史
新生代	第四紀 更新世 後期・中期・前期	南陽層	沖積層
		濃尾層	濃尾沖積平野面形成 縄文海進 (1) (1.3) (2) 更新世最末小海面上昇
		第一礫層	最終氷期海面最低下期 (3) (4~5) 海面小変動期 (7~9) 最終氷期の始まり (最終間氷期)
		(埋没低位段丘群)	鳥居松礫層 小牧・大曾根瓦層
		熱田層 上部	熱田層・各務原層・碧海層・野間層
		熱田層 下部	熱田層・各務原層・碧海層・野間層
		第二礫層	高位段丘群 { 桃山礫層 花崗岩礫層 湖見坂礫層
		(埋没低位段丘群)	高位段丘群 { 桃山礫層 花崗岩礫層 湖見坂礫層
		海部系層 Am3 Ag2 Am2 Ag1 Am1	(武豊層群・見当山系層)
		第三礫層	八事層 唐山層 上末層
第三紀	中新世	東海層群	水河期 水河性海面変動の繰返し (80+) 東海湖時代 (500) 第一瀬戸内海海進期 (2000) (×10 ⁴ 年前)
		瑞浪層群・師崎層群・志保層群	
		基盤	基盤山地の中古生層・花崗岩類

ふっ素は、中央値 (200 mg/kg) を比較すると、沖積層、熱田層上部および下部においてやや高かった。また、最大値 (700 mg/kg) を比較すると、東海層群、沖積層、熱田層上部および下部で非常に高い値を示した地点があった。

ほう素は、中央値 (20 mg/kg) の比較において、熱田層下部においてやや高い値を示した。最大値 (270 mg/kg) の比較では、特に高い値を示す地点は認められなかった。

カドミウムは、中央値 (0.35 mg/kg) の比較において、全地層で文献値を下回ったものの、最大値 (2.0 mg/kg) において、東海層群の試料で非常に高い値を示した地点が存在した。

鉛 (中央値 35 mg/kg, 最大値 300 mg/kg), 水銀 (中央値 0.06 mg/kg, 最大値 0.5 mg/kg), セレン (中央値 0.4 mg/kg, 最大値 12 mg/kg), クロム (中央値 70 mg/kg, 最大値 1500 mg/kg) に関しては、全地層にお

いて、中央値・最大値ともに、文献値と比較して低い値であった。

中央値では、ヒ素、ふっ素、ほう素といった海水中に含まれる元素で、比較的高い傾向が認められたことや、その中でも比較的高い値を示した沖積層や熱田層下部は、海成粘土層を含むことが分っていること、更に、ふっ素等で比較的高い値となった熱田層上部においても、砂層ではあるが、中にレンズ状に、シルト層・粘土層を挟むことがあるとされていることから、これらの元素がやや高い傾向があるのは、海成粘土層が関わっている可能性が考えられた。

また、第一礫層においては、非海成の礫層よりなっているため、これらの元素も低い値を示した。

最大値では、ふっ素において、東海層群、沖積層、熱田層上部のシルト質試料および熱田層下部の粘土試料で非常に高い値となった。また、ヒ素は、八事・唐山層の砂礫・軽石試料、熱田層上部では砂質試料で、非常に高い値となり、いずれの試料もシルト層、粘土層とは異なっていたが、八事・唐山層では、直上の層が粘土層であり、熱田層上部では、直上の層がシルト層であって、これらが影響した可能性も考えられる。

以上より、ヒ素、ふっ素の高値の原因としても、海成粘土層の影響が考えられる。

他の元素では、カドミウムにおいて、東海層群のシルト質試料で非常に高い値となった。この元素に関しては、中央値の比較においては、全地層で低い値となっており、スポット的に高い値を示した試料であるため、原因の推定には、更なるデータの蓄積が望まれる。

水銀においては、最大値を超過しているわけではないが、沖積層において、スポット的に最大値付近の値を示す試料があり、カドミウムと同様、更なるデータの蓄積が望まれる。

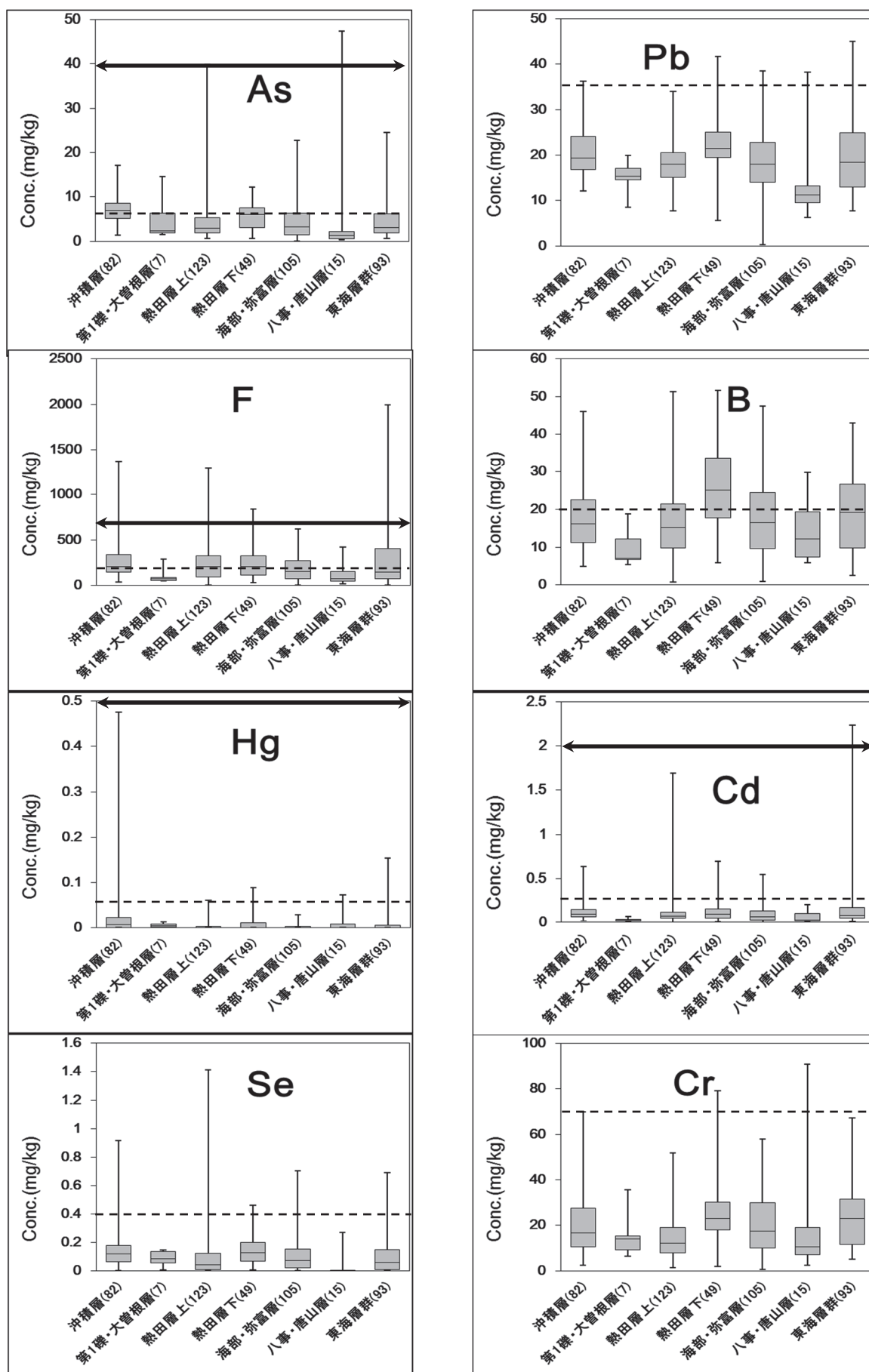


図5 地質と各元素の土壌含有量との関係

3. 既存土壌分布データとの比較

産業技術総合研究所は、日本全国を概ね 10 km メッシュを 1 区画として、その中で 1 地点、河川堆積物や岩石、土壌の全量分析を行い、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、元素の広域的な分布が把握でき、自然起因の土壌汚染の判断には有効であると考えられる。

濃度分布データの元になる土壌試料の採取は、名古屋市内では、北区、守山区、千種区、緑区、中川区の河川で行い、名古屋市周辺部では、弥富市、あま市、海部郡、知多市、刈谷市、瀬戸市、豊田市、岡崎市の河川で行っている。

本研究との相違点としては、本研究では深さ方向にも実施していること、3 km メッシュを 1 区画として 1 地点選定していること、分析試料は 2 mm ふるいを通過したものとしていること（産総研は 180 μm ）が挙げられる。

本報告との比較において、名古屋市内の全メッシュのデータが揃っていないこと、産総研データは表層土壌中の含有量であり、深さ方向にはデータがないことから、図 1 における各測定地点において、最も高濃度を示した深さの濃度を、そのメッシュの濃度として表現することとした。なお、濃度区分および表現上の色は、地球化学図と統一した。また、比較した元素は、地球化学図として公開されているヒ素、鉛、水銀、カドミウムとした。比較結果を図 6 に示す。図では左側が地球化学図結果、右側が本研究結果を表している。

ヒ素の地球化学図では、名古屋市内においては比較的低濃度（北東部で 0~3.61 mg/kg、中央部で 3.61~6.39 mg/kg、西部で 6.39~12.17 mg/kg）で、名古屋市の南西部および愛知県尾張西部地域でやや高くなっていた（12.17~18.34 mg/kg および 18.34~24.72 mg/kg）。本研究では、広範囲な高濃度試料の分布は観察されず、全体的には比較的低濃度な分布（北部および東部では 3.61~6.39 mg/kg および 6.39~12.17 mg/kg、西部では 12.17~18.34 mg/kg）となっており、地球化学図とほぼ同様な傾向と思われた。しかし、名古屋市南西部のみ高濃度試料（南部で 18.94~24.72 mg/kg、西部で 36.27~42.05 mg/kg）があるわけではなく、中央部（42.05~50.17 mg/kg）・東部（18.94~24.72 mg/kg）にも、比較的高濃度となった地点が存在した。

鉛の地球化学図では、名古屋市南西部および愛知

県尾張西部地域を中心に非常に高濃度（150 mg/kg 以上）に分布して、名古屋市東部にかけて徐々に濃度低下しているものの、中央部付近でも比較的高濃度（75~150 mg/kg）に分布し、その東側でもやや高濃度（55~65 mg/kg）に分布している。一方、本研究では、地球化学図で見られるような高濃度汚染はなく、全体的に低濃度の分布（15~35 mg/kg）となった。しかし、名古屋市南西部でやや高値（35~45 mg/kg）となり、地球化学図の傾向と類似しているように思われた。

水銀の地球化学図では、名古屋市全体で非常に高い濃度（800 $\mu\text{g/kg}$ 以上および 400 $\mu\text{g/kg}$ ~800 $\mu\text{g/kg}$ 以下）で分布していた。一方、本研究では、南西部、北西部、東部で含有濃度が高い試料があるものの、全体的には非常に低濃度（0~40 $\mu\text{g/kg}$ ）となった。

カドミウムの地球化学図では、名古屋市南西部で高濃度スポット（0.903~1 mg/kg）が認められ、それが西部地域に広がっているような分布（0.572~0.903 mg/kg）となっている。一方、本研究では、北西部および東部でホットスポット（ともに 1.3 mg/kg 以上）が認められ、南西部でやや高濃度（0.572~0.738 mg/kg）で分布しているようであった。ただ地球化学図に比べると、低値となっていた。

以上、既往研究である地球化学図と比較を行ったが、一部元素で傾向は類似していたが、濃度区分を含め、必ずしも一致しているとは言い難かった。これは、地球化学図ホームページにもあるように、既往研究が 10 km メッシュを 1 区画としているのに対し、本研究は 3 km メッシュを 1 区画とし、解像度の違いがあること、本研究では深さ方向のデータであるにも拘わらず平面データに置き換えていることと、更に表層土壌では少なからず人為的な汚染も含んでおり、測定試料によってはその割合が大きいことなどが原因と考えられる。

従って、本研究の様に、自然由来を指向したより解像度の高い、深度データを有する分析結果の重要性は、今後更に高まると期待されるため、今後も引き続き土壌試料収集に努めたい。

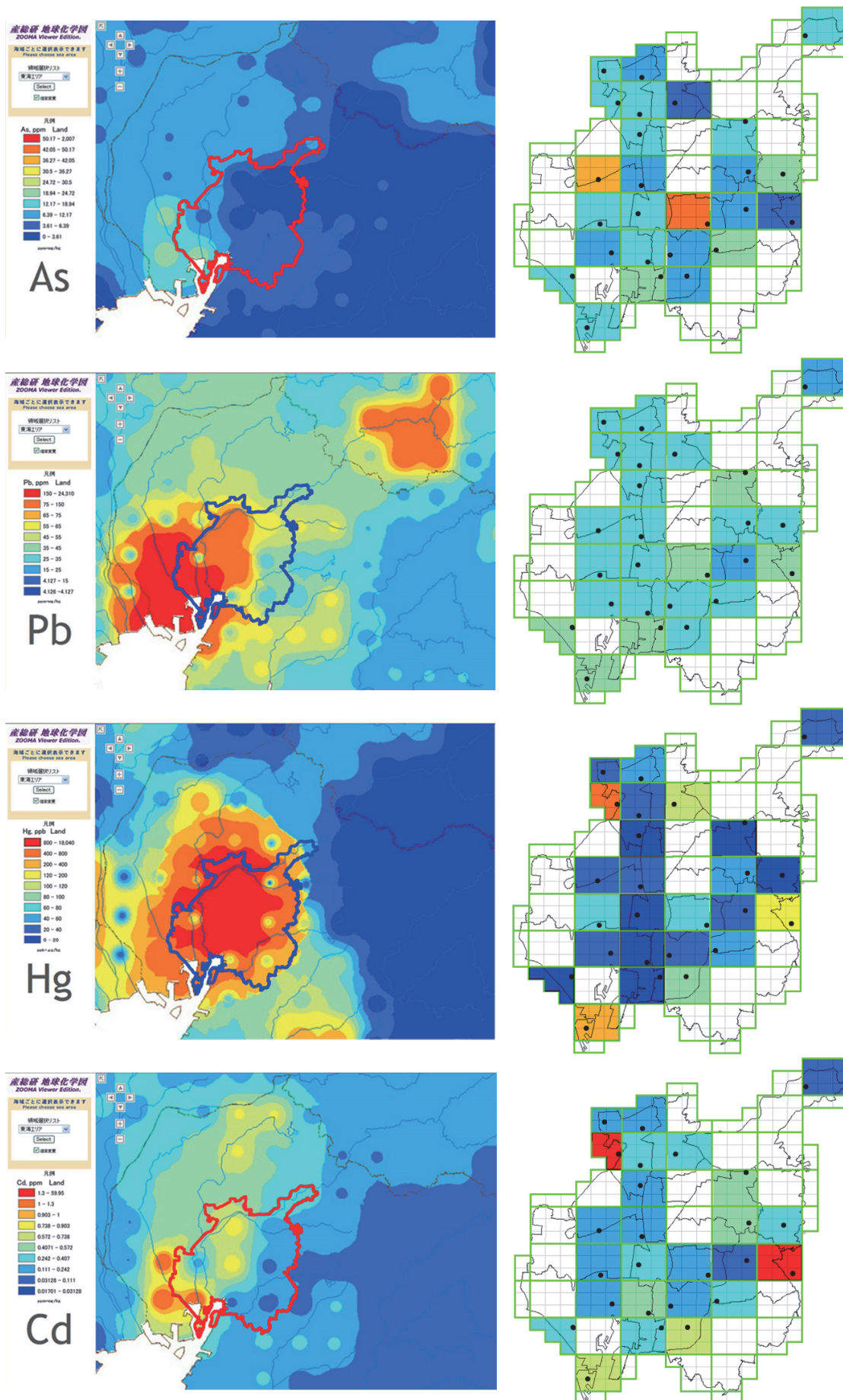


図 6 対象元素の平面分布と地球化学図⁴⁾との比較 *名古屋市行政境界を加筆

文 献

- 1) 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 回日本水環境学会講演要旨集, 563 (2014)
- 2) 山守英朋, 朝日教智, 平生進吾, 長谷川絵理, 堀部敏男: 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)
- 3) 山守英朋, 朝日教智, 堀部敏男: 土壌標本を利用した名古屋市内土壌中の重金属等調査結果, 名古屋市環境科学調査センター年報, 3, 53-59 (2014)
- 4) <https://gbank.gsj.jp/geochemmap/>
- 5) 桑原徹: 濃尾盆地と傾動地塊運動, 第四紀研究, 7, 235-247 (1968)
- 6) 東海三県地盤沈下調査会編: 濃尾平野の地盤沈下と地下水, p.39-40, 名古屋大学出版会 (名古屋) (1985)
- 7) Bowen H.J.M. : Environmental Chemistry of the Elements, p.60-61, Academic Press (New York) (1979)

謝 辞

本研究の実施に当たって, 土壌試料の提供を頂いた機関・関係諸氏, および土壌試料の地質鑑定を行って頂いた名城大学牧野内教授に感謝いたします.