

名古屋市内の地下水の重金属等による汚染実態

山守 英朋, 朝日 教智, 平生 進吾, 長谷川 絵理, 堀部 俊男*

Distribution of Inorganic Pollutants in Groundwater in Nagoya

Hidetomo Yamamori, Kiyotoshi Asahi, Shingo Hirao, Eri Hasegawa, Toshio Horibe*

自然由来の土壌汚染調査の一助とするため、重金属等の無機物質による地下水質調査結果を取りまとめた。解析は、平成元年度～平成 23 年度にかけて実施した地下水調査結果、延べ 982 データについて行った。

解析の結果、砒素は、名古屋市西部地域の 20-80m の深さで認められ、水質ハイパーダイヤグラムは、Na-HCO₃ 型の停滞性地下水型に分類された。この特徴は、濃尾平野で報告されている既報と一致していた。また、南部地域での砒素汚染は、200m 付近の深さであり、Na-Cl 型を示し異なった水質であった。また、ふっ素、ほう素においても、名古屋市西部地域において、環境基準値付近で分布しており、東部地域では定量下限値付近での分布であった。水銀は、南東部の市境付近で高濃度分布が認められた。硝酸性および亜硝酸性窒素は、中心部で高濃度ブリュームが認められるとともに、東部地域で比較的高濃度に分布し、西部地域では、定量下限値未満の低濃度であった。

はじめに

水質汚濁防止法に基づき、平成元年度以来、環境省は、日本全国の地下水中の有害物質を継続的に監視し公表している。このデータは、各都道府県知事が毎年作成する水質測定計画の下、各測定主体が測定し、都道府県が集約したデータを利用している。名古屋市においても、愛知県知事の測定計画の下、地下水質の常時監視を継続的に実施している。

この調査は、概況調査（地域の全体的な地下水質の状況を把握する調査）、汚染井戸周辺調査（概況調査および事業者からの報告により新たに発見された汚染について、その汚染範囲を確認するために実施する調査）、継続監視調査（汚染が確認された地域について、継続的に監視を行う調査）よりなり、揮発性有機化合物および重金属等 28 項目について定量している。

一方、土壌汚染対策法（2003 年施行、2010 年改正）施行以来、法による土壌調査はもとより、最近では、土地取引や資産評価のための自主的な土壌調査により環境基準超過事例が激増している。その際、事業者の使用履歴がない有害物質による環境基準超過が認められる事例が、多数報告され、その対応に頭を悩ますこととなった。一般的に、これらの有害物質は、自然由来の汚染物質とも考えられるが、事業者サイドでは、汚染土壌が残ると資産価値が低く見なされることもあり、掘削除去により処分することが多かった。しかし、

これらの措置は、合理性を欠いている上、費用負担も大きく、今後は、リスクコミュニケーションにより、汚染物質との接触が遮断され「健康リスク」がなくても、汚染物質が存在することが「リスク」と感じられるギャップを解消することが求められている。

本報告では、これらの一助とすべく、自然由来の可能性が考えられる元素について、名古屋市内の地下水調査データを取りまとめ、その平面的分布および深度別分布について報告する。

調査・解析方法

1. 調査試料

平成元年度～平成 22 年度にまでに実施した地下水常時監視および汚染井戸周辺調査のデータに加え、平成 23 年度に実施した追加調査データを用いた。これらの延べ検体数は、982 検体であった。解析に当たっては、対象物質を下記の通り絞り込み、同じ地点は、最も定量値が高かった定量値を採用した。この結果 461 地点の定量値を得た。

2. 対象物質

地下水常時監視の 28 対象物質のうち、自然由来の汚染が考えられる 8 物質（砒素、ふっ素、ほう素、水銀、鉛、セレン、カドミウム、六価クロム）および硝酸性・亜硝酸性窒素の 9 物質について解析を行った。

3. 解析方法

データの解析には GIS フリーソフトウェアの

*名古屋市環境局 地域環境対策課

MANDARA ver.9.34¹⁾を用いた。

3.1. 平面分布

平面分布の解析では、深さ方向の因子は無視して、採水地点の位置情報と対象元素の濃度と関係性を、MANDARA アルゴリズムにより等値曲線を描いた。(1つの格子は、縦横それぞれ全体の3.5%の長さで作成している。)

3.2. 深さ分布

地下水採取地点のストレーナーの上部および下部位置の深さと対象元素との濃度の関係を解析した。解析に際し、複数のストレーナーが切られている井戸は、便宜上、最も浅いストレーナー位置の上部をストレーナー上部として、最も深いストレーナーの下部位置をストレーナー下部として採用した。なお、解析におけるメッシュオブジェクトは、日本工業規格の標準地域メッシュを用い、4次メッシュにて示す。

3.3. ハイパーダイヤグラムによる水質との関係の解析

通常、地下水常時監視では、水質解析に用いられる水質項目(Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^-)は測定されていない。したがって、砒素が検出された名古屋市西部の地点において、改めて採水を行い、水質解析に用いる水質項目を定量した。

陽イオンは、ICP 発光分光分析法にて、 HCO_3^- はM-アルカリ度として滴定分析を行い、計算にて算出した。 NO_2^- は、ナフチルエチレンジアミン吸光度法により定量し、他の陰イオンは、イオンクロマトグラフ法にて定量した。

調査結果

1. 各元素の平面分布および深さ分布

以下平面分布図(Fig.a)中の○は、測定を行った地点であることを示している。また、11段階に階層化した等値曲線においては、赤色～桃色は、環境基準値を超過していることを示し、水色～橙色は、環境基準値の1/10～環境基準値付近の値を示している。

深さ方向の図においては、ストレーナー上部の図(Fig.b)とストレーナー下部の図(Fig.c)で、ストレーナーの深さ及び各元素の定量値を表してい

る。各元素の地下水中の濃度は4段階に階層化して、概ね定量下限値未満を白(定量下限値未満の地点については表示していないため、ふっ素および硝酸性窒素以外は、白地点は非表示となっている。)、定量下限値～環境基準値までを淡桃色、環境基準値以上を濃桃色で、その間を桃色で表している。ストレーナーの深さは、12段階で階層化し、地上に近いほど淡い黄色とし、深くなるにつれて、青色の度合いを大きくして描いている。

1.1. 砒素

平面的な分布(Fig.1a)においては、北区、西区、中村区、中川区、港区、瑞穂区、南区、緑区で環境基準超過の高濃度地点が認められた。環境基準超過率は4.9%であった(20地点/406地点)。また、市西部域で、比較的高濃度で検出され、一方、市東部域では、定量下限値未満で不検出であった。検出率は、16.0%であった(65地点/406地点)。

また、深さ分布(Fig.1b,c)では、中村区および緑区の高濃度地点は、10m以浅の浅井戸であった。

西区の地点は、20-30mと60-150mの深さであった。中川区の地点は、60-80mの深さであった。港区の地点は、200m付近の深さであった。瑞穂区の地点は、50-100mの深さであった。南区の地点は80-90mであった。これらは全て、深井戸であった。

1.2. ふっ素

平面的な分布(Fig.2a)において、中村区、中川区で環境基準超過の高濃度地点が認められた。環境基準超過率は、1.4%であった(5地点/334地点)。また、市西部域で、比較的高濃度に分布し、東部では定量下限値付近の低濃度であった。検出率は、64.6%であった(216地点/334地点)。

深さ方向(Fig.2b,c)では、中村区での高濃度地点のストレーナー深さは不明であったが、0.6mg/l以上のふっ素濃度を検出した付近の井戸では、30-50mのストレーナー深さであった。中川区の地点は、10m以浅の浅井戸の地点と、30-50mの深井戸の地点であった。

1.3. ほう素

平面的な分布(Fig.3a)において、中川区、港区で環境基準超過の高濃度地点が認められた。環境

基準超過率は 0.9%であった(3 地点/310 地点).

また、市の南西部で、比較的高濃度に分布しており、それ以外では、定量下限値付近の低濃度であった. 検出率は 51.2%であった(159 地点/310 地点). 深さ方向(Fig.3b,c)では、中川区の地点は、10m 以浅の浅井戸であった. 港区の地点は、深さ不明又は、70-90m の深さであった.

1.4. 水銀

平面的な分布(Fig.4a)において、緑区で環境基準超過の高濃度地点が認められた. 環境基準超過率は、5.7%であった(23 地点/402 地点). それ以外の地点では、定量下限値未満で不検出であった.

深さ方向(Fig.4b,c)では、10m 以浅の浅井戸の地点が 1 地点あったが、他は 10-70m の間の深さであった.

1.5. 鉛

平面的な分布(Fig.5a)において、中川区、港区で環境基準超過の高濃度地点が認められた. 環境基準超過率は 0.7%であった(3 地点/388 地点). また、市域全体で、局所的に検出された地点が多数存在した. 検出率は 5.6%であった(22 地点/388 地点).

深さ方向(Fig.5b,c)では、中川区の地点は、10m 以浅の浅井戸と、60-80m の深さであった. 港区の地点は、200m 付近の深さであった.

1.6. セレン

平面的な分布(Fig.6a)において、環境基準を超過する地点は認められなかった. 4 地点で検出された以外は、全ての地点で定量下限値未満であった. 検出率 1.3%であった(4 地点/301 地点).

また、深さ方向(Fig.6b,c)では、中川区で検出した井戸は、10m 以浅の浅井戸であったが、他の地点は 30-40m, 50-100m, 135-160m の深井戸であった.

1.7. カドミウム

カドミウムは、7 地点で検出されたが、環境基準を超過する地点は認められなかった. それ以外の地点では、定量下限値未満であった. 検出率は、1.8%であった(7 地点/382 地点).

深さ方向(Fig.7b,c)では、中村区、中川区、南区

で 10m 以浅の浅井戸検出されているほか、熱田区では、60-160m, 南区では 30-50m, 港区では 70-110m で検出された.

1.8. 硝酸性および亜硝酸性窒素

硝酸性および亜硝酸性窒素は、全地点の約半数で検出されており、千種区、緑区において環境基準超過地点も認められた. 環境基準超過率は、0.9%であった(3 地点/315 地点). 検出率は、51.4%(162 地点/315 地点)であった. 平面的な分布(Fig.8a)によると、市東部域において、比較的高濃度が高く、市西部域では、検出下限値付近の低濃度であった.

深さ方向(Fig.8b,c)では、比較的高濃度(>5.0mg/l)に検出されている地点では、ストレーナーの上部が 20-30m であることが多かった.

1.9. 六価クロム

平面的な分布(Fig.9a)において、守山区の 1 地点のみ環境基準値を超過しており、他の地点は全て定量下限値未満であった. 環境基準超過率、検出率ともに、0.2%であった(1 地点/383 地点).

深さ方向も、この地点は 10m 以浅の浅井戸であった.

2. 砒素と地下水質の関係

砒素濃度と水質イオンバランスとの関係を解析した. 結果を Fig.10 に示した.

中川区、中村区、西区における環境基準超過の地下水は、Na-HCO₃型を示し、停滞性の地下水型であった. また、港区の高濃度地点および検出地点は Na-Cl 型を示し、海水起源型であった.

ただし、Na-HCO₃型、Na-Cl 型の水質を示した地下水は、必ず砒素濃度が高いわけではなく、逆の関係は成り立ってはいなかった.

砒素と他の項目との間の相関分析を行った. 結果は、ふっ素との間で、相関係数として、0.256 を示した. また、硝酸態窒素との間で、-0.134, ほう素との間で、0.052 となった. いずれも明確な相関関係は認められなかった

考察

濃尾平野における地下水の砒素汚染は愛知県、

岐阜県，三重県でも同様に報告されている．

坂井田ら^{2),3)}によると，愛知県北西部の深度 30-50m の G1 層の地下水で砒素の環境基準超過が多数認められた．また，その超過した地下水における砒素は，三価の無機態砒素であった．更に水質ハイパーダイヤグラム解析により，Na-HCO₃ 型の停滞性地下水水質を示したと報告している．また，佐々木ら⁴⁾によると，岐阜県海津市や養老町の地下水で，砒素の環境基準超過が多数認められ，その水質は，停滞性または中間型を示し，ふっ素濃度との正の相関が認められたと報告している．さらに，濱谷ら⁵⁾によると，三重県北部の桑員地区の地下水で，砒素の環境基準超過が多数認められ，三価の無機態砒素の割合が大きく，水質的には停滞性地下水水質を示すほか，Na-Cl の海水進入型のものも観察されたと報告している．今回名古屋市で観察された砒素汚染も，中村区，中川区で観察された地下水は，愛知，岐阜，三重の濃尾平野で報告されている砒素汚染と類似し，水質では，停滞性型を示し，深さ分布も 60-80m でほぼ合致していた．したがって，中村区の浅井戸における砒素汚染を除き，西部地域の砒素汚染は，濃尾平野で認められているものと同様な起源と考えられた．また，港区での砒素汚染は，水質が海水由来の型を示すことと，三重県においても海の近くでは，海水由来の型を示していることから，この起源はおそらく，海水の進入によるものではないかと推定された．

増永ら⁶⁾は，愛知県の西部において，砒素汚染同様，ふっ素による地下水汚染を報告している．名古屋市においても，西部地域の地下水で，環境基準超過が認められ，深さ分布は，10m 以浅の浅井戸を除くと，30-50m 程度であり，砒素とほぼ同様な深さを示した．佐々木ら⁴⁾は，砒素とふっ素との間に正の相関が認められたと報告しているが，名古屋市の場合は，相関係数 0.256 で，明確な正の相関があるとはいえなかった．しかし，水質的には，砒素同様，停滞性の型を示す地下水が多かったこともあり，砒素と同様な起源である可能性が考えられる．

ほう素においても，砒素やふっ素と同様に，西部地域で高い傾向を示したが，砒素やふっ素との明確な相関関係は認められず，ほう素の分布に関する報告も認められず，今後の相互情報交換に依

りたい．

水銀においては，緑区においてのみ環境基準超過が認められている．これは，矢田川累層の亜炭層には，通常より多くの水銀が含まれているといわれていることや，産総研の地球化学図⁷⁾でも，名古屋市のあたりは水銀濃度が高いことが報告されていることから地質起源とも考えられる．

鉛，セレン，カドミウム，六価クロムにおいては，環境基準超過が認められず，検出率も低かったため，今回の解析では，明確な結論は得られなかった．

硝酸性および亜硝酸性窒素に関しては，伊藤ら⁸⁾の報告においても，名古屋市東部で高く，西部では低いと報告されており，今回の結果ともよく合致している．しかし，一般的に，窒素汚染の起源として，農業施肥由来のものが多数報告されているが，名古屋市東部は，かなり開発が進み，市街化されており，農業施肥由来とは考えにくい．これらの起源に関して，今後詳細調査が望まれる．

文 献

- 1)地理情報分析支援システム MANDARA ホームページ, <http://ktgis.net/mandara/index.php>
- 2)坂井田稔：愛知県における地下水中のヒ素の実態，平成 15 年度愛知県環境調査センター研究発表会要旨 (2004)
- 3)坂井田稔，久米茂行，高田文子，岡田登，中村建次，田中庸央：愛知県における地下水中の砒素に関する一考察，愛知県環境調査センター，28，43-48(2000)
- 4)佐々木正人，原伸行，岡正人：岐阜県下における砒素汚染地下水の水質特性事例，岐阜県保健環境研究所報，17，12-16 (2009)
- 5)濱谷幸子，富森聡子，橋爪清，相澤貴子，浅見真理：地下水中のヒ素に関連する水質特性～三重県北部の地層との関連～，水環境学会誌，24，739-744 (2001)
- 6)増永信夫，猿渡謙次，水野勝，石川創，片岩憲成：愛知県内の地下水中のふっ素に関する研究，愛知県環境調査センター所報，36，23-27(2008)
- 7)産業技術総合研究所海と陸の地球化学図ホームページ, <http://riodb02.ibase.aist.go.jp/geochemmap/index.htm>
- 8)伊藤和男，伊藤仁，須賀博之，高木哲幸，清水正信，加藤豊雅，鎌田敏幸，土山秀樹，土山ふみ：名古屋市域における地質と地下水水質について，名古屋市公害研究所報，19，69-81(1989)

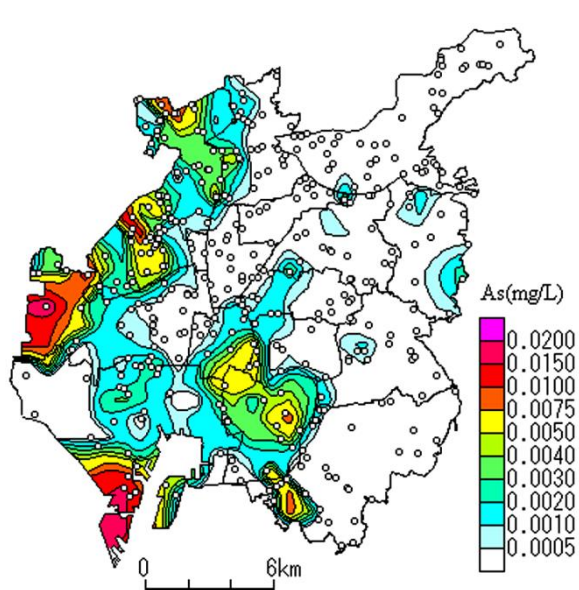


Fig.1a 砒素の平面分布

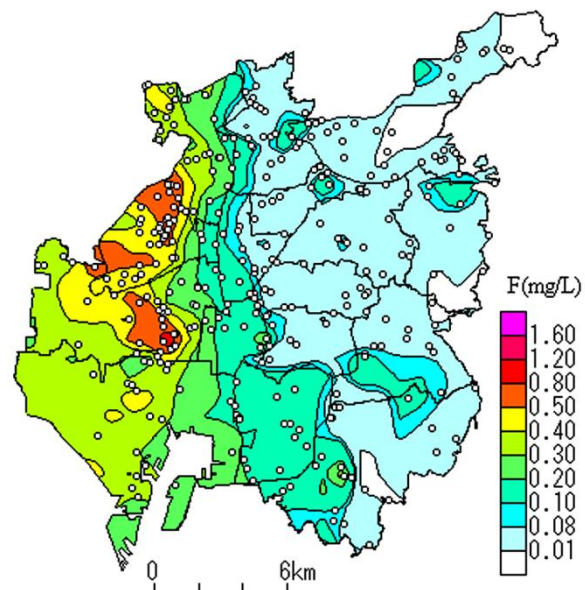


Fig.2a ふっ素の平面分布

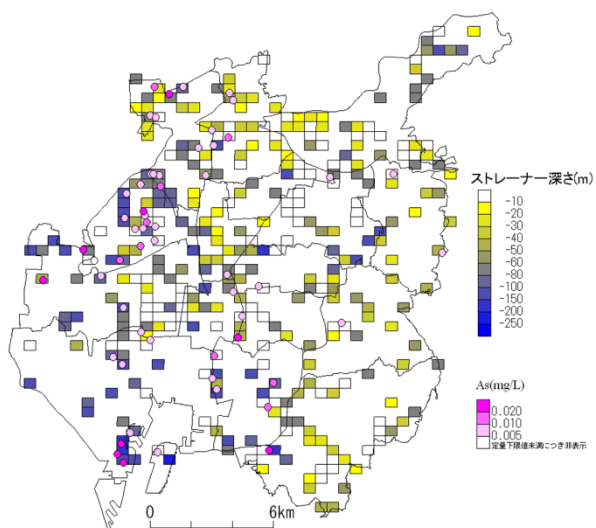


Fig.1b 砒素濃度とストレーナー上部の深さ

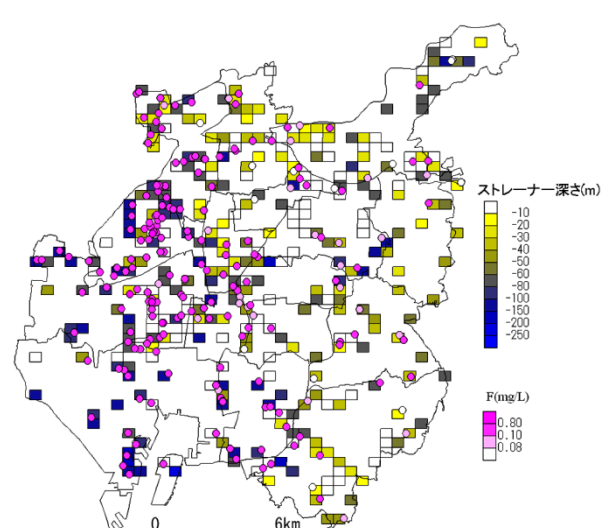


Fig.2b ふっ素濃度とストレーナー上部の深さ

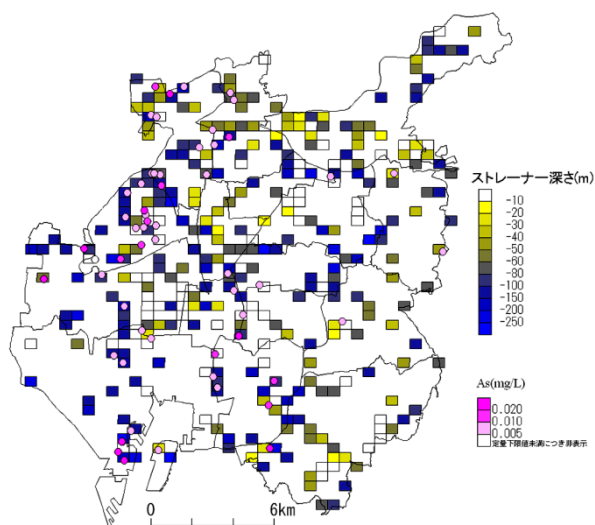


Fig.1c 砒素濃度とストレーナー下部の深さ

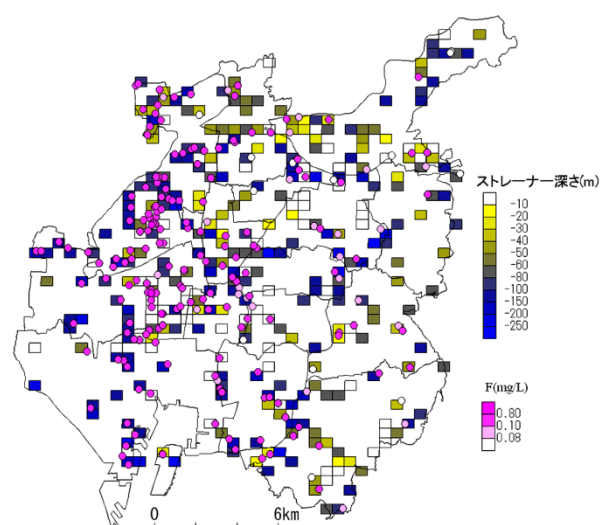


Fig.2c ふっ素濃度とストレーナー下部の深さ

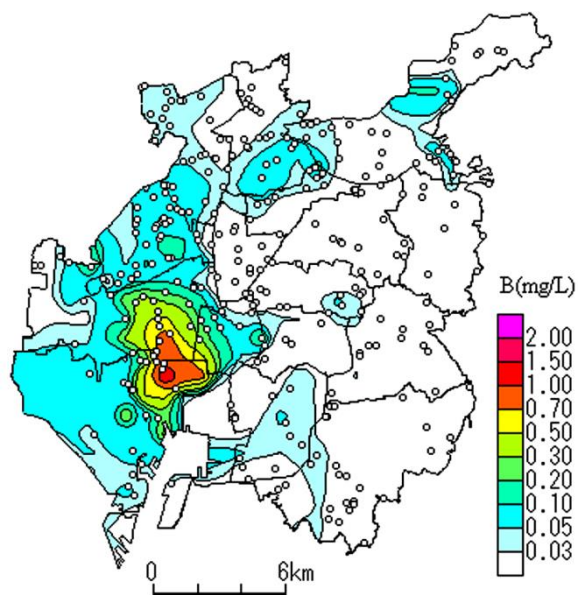


Fig.3a ほう素の平面分布

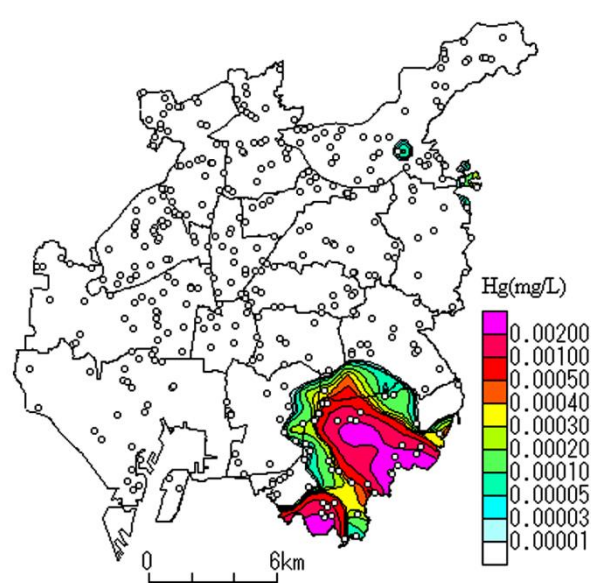


Fig.4a 水銀の平面分布

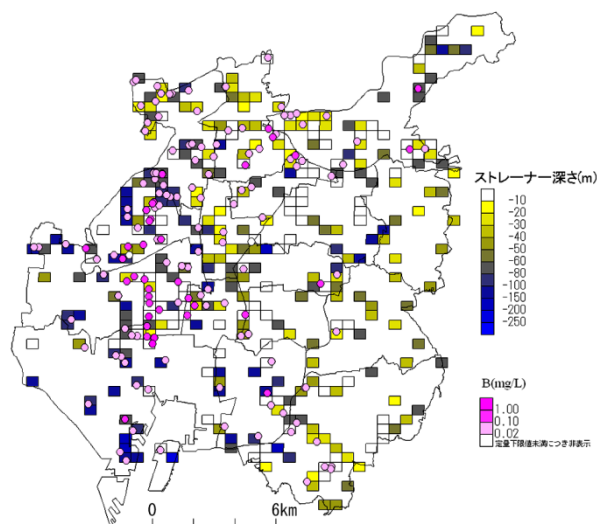


Fig.3b ほう素濃度とストレーナー上部の深さ

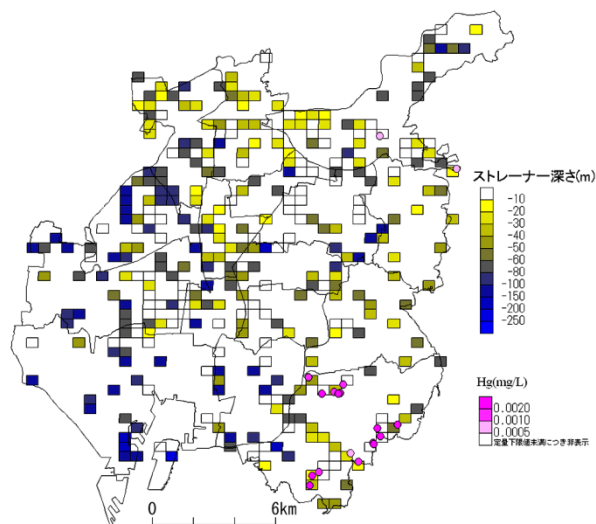


Fig.4b 水銀濃度とストレーナー上部の深さ

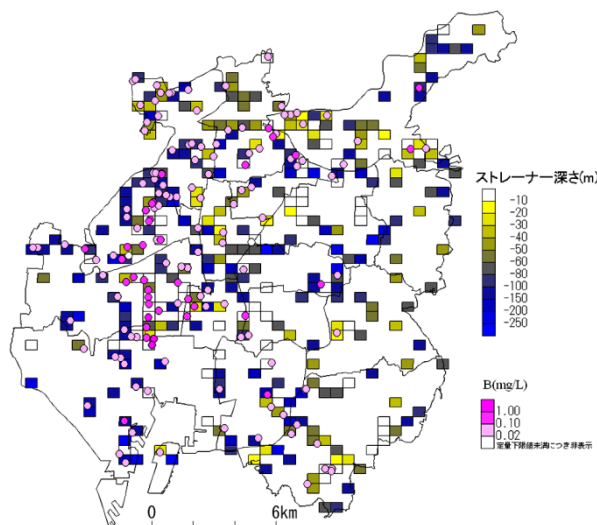


Fig.3c ほう素濃度とストレーナー下部の深さ

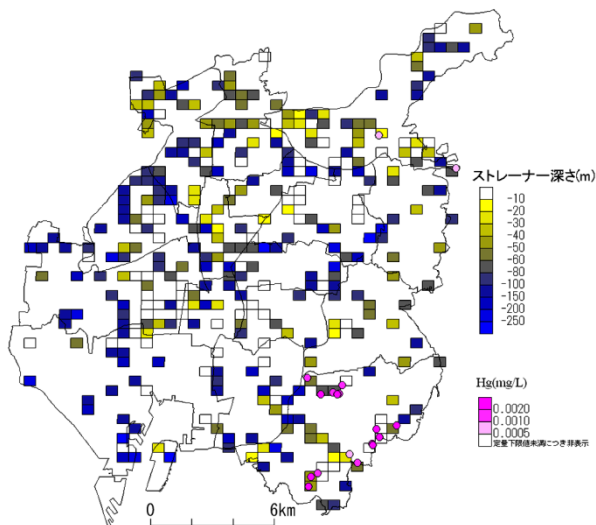


Fig.4c 水銀濃度とストレーナー下部の深さ

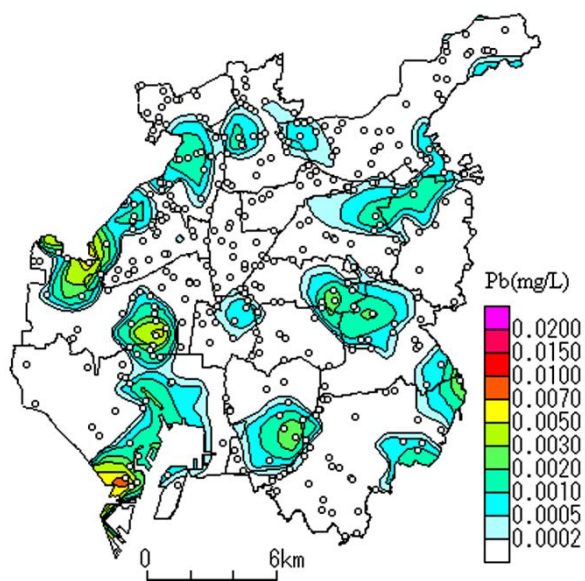


Fig.5a 鉛の平面分布

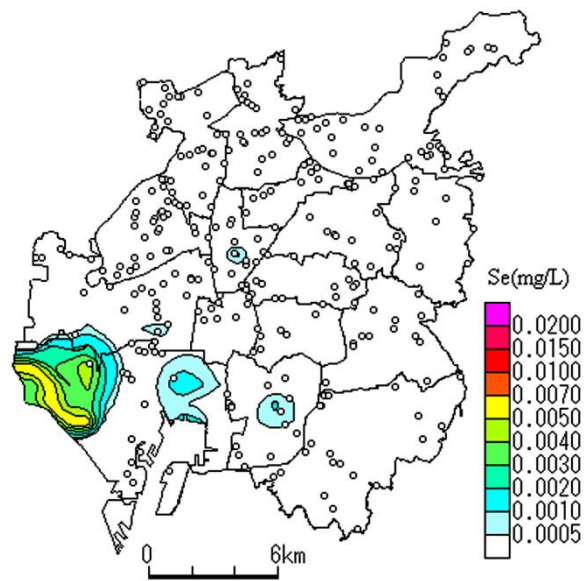


Fig.6a セレンの平面分布

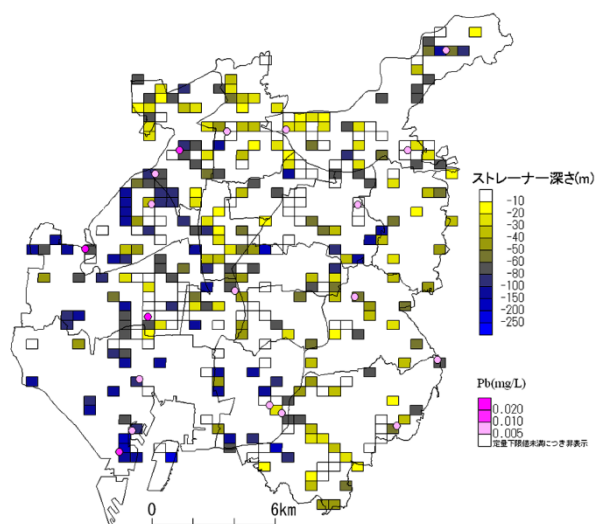


Fig.5b 鉛濃度とストレーナー上部の深さ

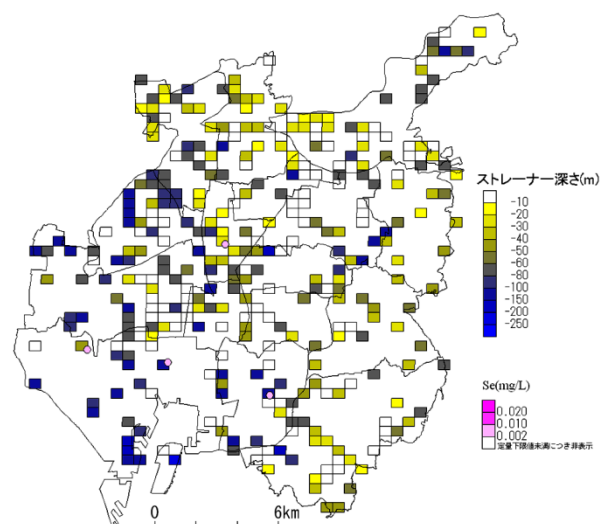


Fig.6b セレン濃度とストレーナー上部の深さ

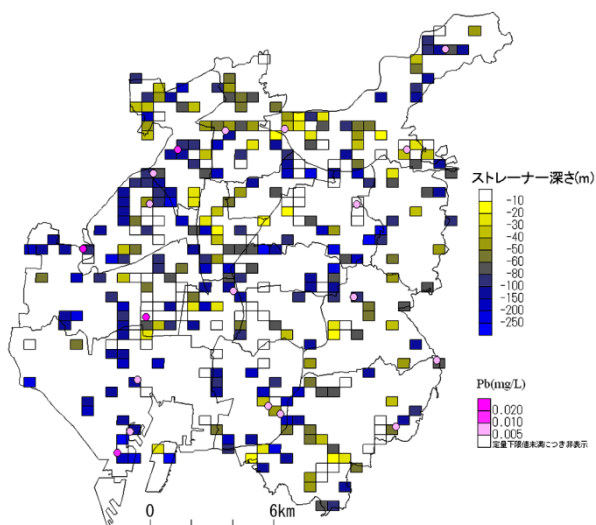


Fig.5c 鉛濃度とストレーナー下部の深さ

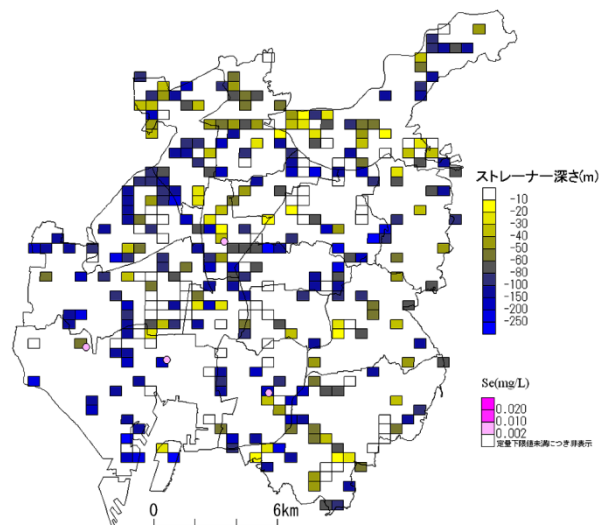


Fig.6c セレン濃度とストレーナー下部の深さ

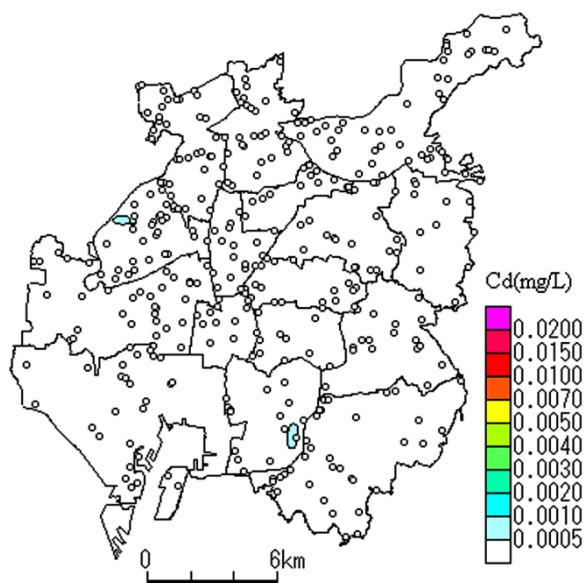


Fig.7a カドミウムの平面分布

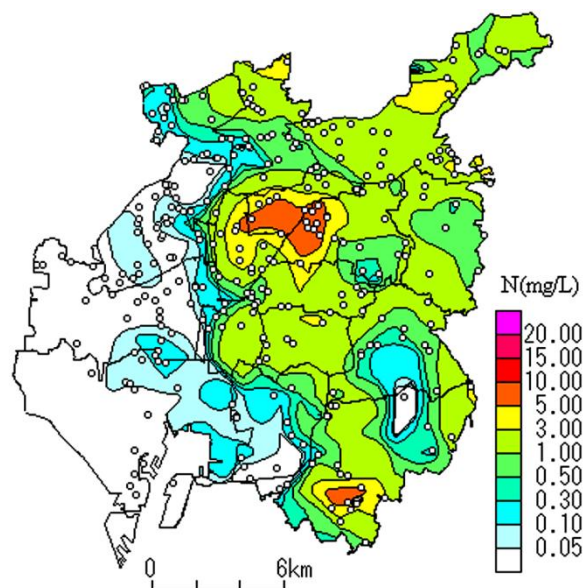


Fig.8a 硝酸性窒素の平面分布

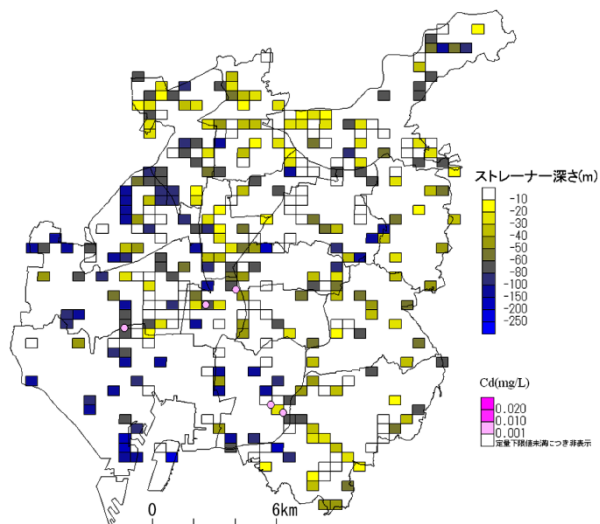


Fig.7b カドミウム濃度とストレーナー上部の深さ

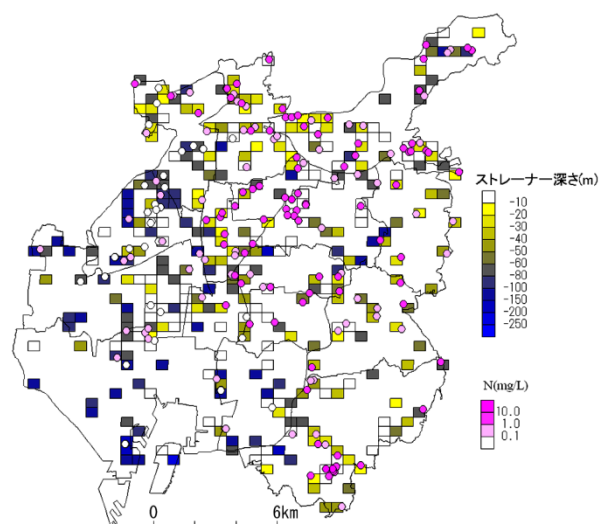


Fig.8b 硝酸性窒素濃度とストレーナー上部の深さ

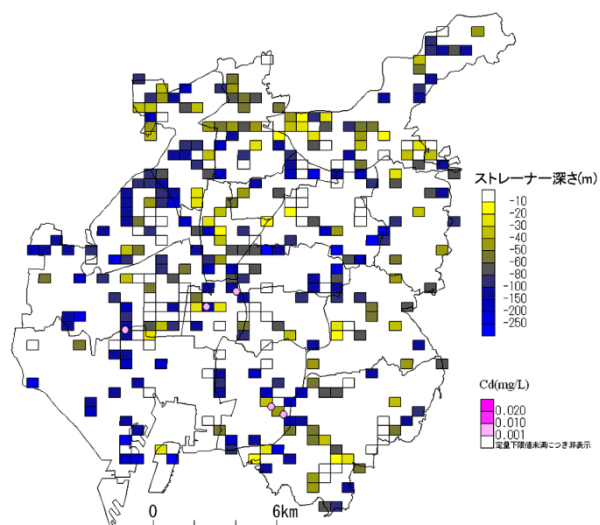


Fig.7c カドミウム濃度とストレーナー下部の深さ

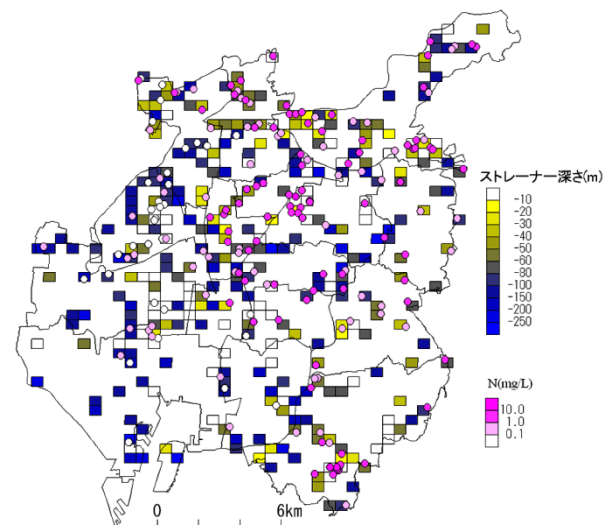


Fig.8c 硝酸性窒素濃度とストレーナー下部の深さ

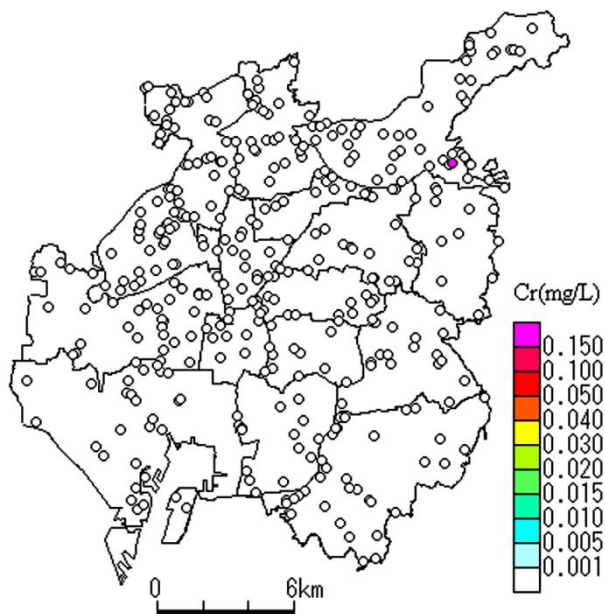


Fig.9a 六価クロムの平面分布



Fig.11 名古屋市区分図 (参考)

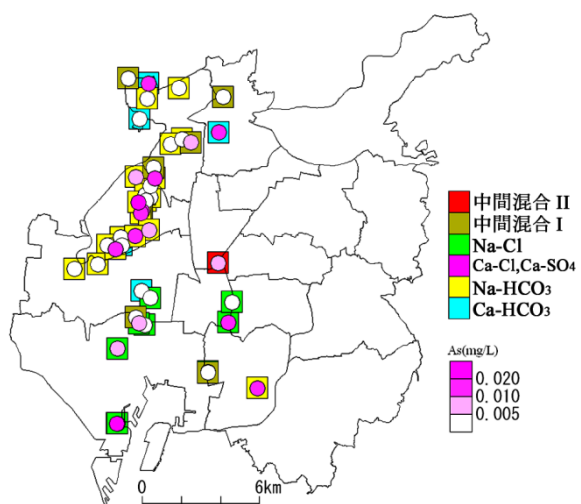


Fig.10 砒素濃度とハイパーダイヤグラムの関係