

地下水の無機汚染の実態と問題点

永井 茂¹⁾

1. はじめに

近年、地下水汚染とりわけトリクロロエチレンなど有機塩素化合物汚染（以下、有機汚染という）が大きな社会問題になっている。筆者は有機汚染に関連した水文化学的調査を数多くの地域で実施しているが、有機汚染を生じている地下水は大なり小なり、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、Ca など、明らかに地表起源と考えられる無機成分の増加（以下、無機汚染とする）していることが分かった。

無機汚染の実態をみると、一部地域ではすでに硝酸性窒素が飲料水の水質基準である 10 mg/l を大きく上回っており、公共上水道や自家用井戸に依存する人達にとっては大きな問題となっている。有機汚染は汚染地域も局部的であり、汚染源を限定しやすく、また煮沸や曝気によって除去することが可能である。一方、硝酸性窒素による汚染は、農業や畜産などの人間の活動と深く関係しており、今後ますます拡大し、進行することが予想される。しかも、今のところ有効な除去方法が存在しないため、無機汚染の問題は有機汚染より一層深刻である。なお、この硝酸性窒素は、血液異常をもたらし、乳幼児の皮膚が紫色になるチアノーゼの原因になるということで、飲料水の水質基準が上述のとおり設定されている。

硝酸性窒素を中心とする無機汚染は、今まで有機汚染の陰にかくれて問題にされていなかったが、後で述べる地質調査所の調査結果が引金となり、現在は大きな社会問題となっている。第1図は共同通信取材によって全国各地の地方新聞に掲載された記事の一例である。

現在、地質調査所では環境庁予算による産業公害対策総合研究「先端技術産業に係る環境汚染物質の拡散予測とモニタリング手法の開発に関する研究」の中で、「深層地下水の汚染・拡散機構の解明」（1989-93年）の研究テーマを受持ち、有機汚染の未然防止を目的に、無機汚染の実態把握と汚染機構の解明の研究を進めつつある。

無機汚染は有機汚染とともに水文地質、井戸の構造、土地利用形態などと密接な関係のあることがこれまでの



第1図 岐阜新聞に掲載された地下水の無機汚染の記事 (1989年12月16日)。

調査で明らかになった。以下では、筆者の調査例を紹介する。本稿が今後の地下水汚染研究に少しでも役立てば幸甚と考えている。

2. 水質と水文化学の概要

水質調査の目的は二つあり、一つは利用目的に対する

1) 地質調査所 環境地質部

適否の判定のために実施するものである。すなわち、水道用であれば飲料水の水質基準に合致しているか否か、工業用であればその用途に適しているか否かということ、必要な成分だけを分析する。また、地下水の塩水化では塩分のみが問題になり、水質汚染では特定の有害成分だけを分析し、基準値を超えているかどうかを水質調査の中心課題となる。

他の一つは、水質を調査手法として地下水の起源、流動機構、地表からの浸透機構などを明らかにするためのものであり、この場合には主成分を含む多数の成分について分析し、水質の解析を行う。ただし、水文化学は水質を解析手段の柱とし、水文学の諸知識を加味して地下水の動きを解明するものである。後述する水文化学の解析例をより理解しやすくするために、基本となる水質表示と解析法などについて最初に簡単に説明する。

2.1 水質表示と解析法

水質の解析にあたっては、多くの場合分かりやすいダイアグラムを作成する。筆者は常にヘキサダイアグラムとキーダイアグラムを使用するので、まずその説明をする。なお、両ダイアグラムとも濃度単位 (mg/l) でなく当量単位 (me/l) を用い、mg/l から me/l への換算係数表を用いて各成分の当量値を求める。この場合、当量値での全陽イオン量 (Na+K+Ca+Mg) と全陰イオン量 (HCO₃⁻+Cl⁻+SO₄²⁻+NO₃⁻) の値はほぼ等しくなければならず、両者の差が大きい (例えば5%以上) 場合には分析値の再検討が当然必要である。

ヘキサダイアグラムは、第2図左上段のような成分配

置で、各成分の当量値を横軸上にプロットし、各点を結んで作成する。なお、NO₃⁻については無機汚染の指標であるため、黒く塗潰して存在をアピールしている。筆者は原図の作成にあたっては方眼紙を用い、縦軸に成分を0.5cm間隔、横軸には1me/lを1cmとしてプロットし、濃度が極端に高い場合を除いては同一スケールで表示する。ヘキサダイアグラムの利点は、1)作図が簡単である、2)図の形状から水質組成が分かる、3)図の大小から溶存成分量が分かる、4)図形が単純であり、比較や分類が容易である、5)地図上の採取地点、あるいはそれと対応させて表示できる、6)ダイアグラムの余白を利用して、必要事項(深度、水温、特定成分など)を記入することで、分析表なしで水質の大略が分かることなどである。一方、欠点としては、1)2成分系の混合など、他水系との間の微妙な差異が分からない、2)溶存成分量の差が大きい場合、横軸が長くなり過ぎて同一スケールで書けない、3)温・鉱泉や塩水化した地下水など、特定の成分が極端に多い場合の作図が難しいことなどである。

なお、この図において右上の横軸の Fe+Mn はほとんどゼロの場合が多いため、この軸を Mg、中間の軸を Ca にすることも可能であるが、Ca+Mg は硬度を示し、両者を同一軸にとった方が水質組成を見る場合分かりやすい。筆者の場合、最近はこの図に加えて右上の横軸に Mg、中間の軸に Ca をプロットし、破線で結んで区別している(第2図のA, B, C)。

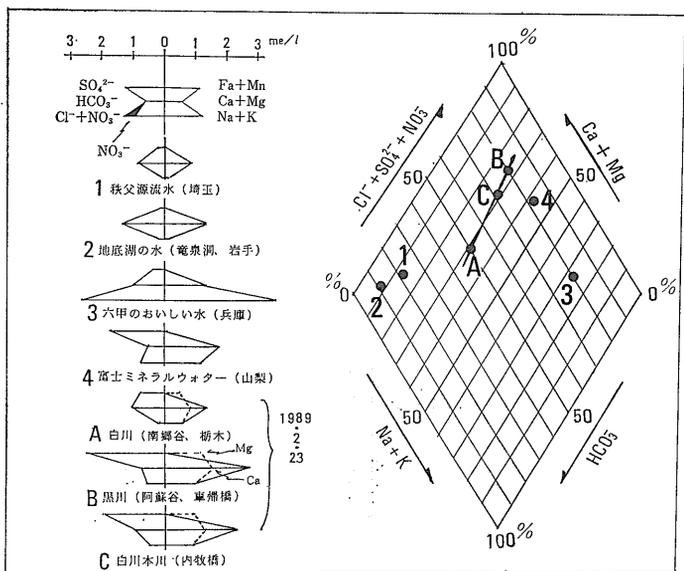
次に、キーダイアグラムは第2図のように簡略化した図を用いる。従来は NO₃⁻ が微量のため無視できたが、最近では主成分の一つとなったため、Cl⁻+SO₄²⁻ の項に加えている。このダイアグラムでは各試料ごとにまず次の計算を行う。

$$[\text{HCO}_3^-]\% = \frac{\text{HCO}_3^-}{\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-} \times 100$$

$$[\text{Ca} + \text{Mg}]\% = \frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}} \times 100$$

さらにこの二つの値を用い、[HCO₃⁻]軸と [Ca+Mg]軸の交点にそれぞれをプロットする。

キーダイアグラムの利点は、1)プロットされた位置で水質組成が分かる、2)グループングが容易である、3)異質の水の混合など、グループ間の相互関係が分かる、4)溶存成分量の多少に関係なく、多数の試料を扱えることなどである。一方、欠点としては、1)計算と作図が複雑である、2)量的関係が分からないことなどである。



第2図 ヘキサダイアグラム(左)とキーダイアグラム(右)による表示例。

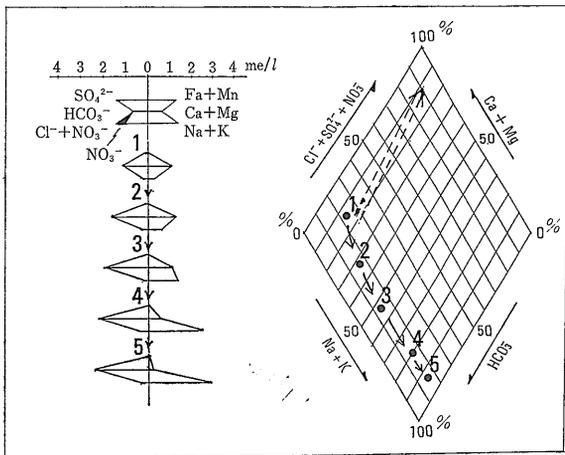
このようにそれぞれ長所短所があるが、二者を併用することによって水質解析の精度がより高まる。第2図左のヘキサダイアグラムには参考例として市販のミネラルウォーター(1~4)と、阿蘇カルデラ内の白川(A)、白川(B)と両河川合流後の白川本川(C)を示した。また第2図のキーダイアグラムにもそれぞれ対応するものをプロットしたが、A、B、Cは一直線上にプロットされ、2成分系の混合(3者)の関係が明瞭に分かる。

2.2 自然状態における地下水の水質

地下水の研究、とくに水質汚染を問題とする場合、その地域本来の水質との比較が重要である。そこで、水質汚染の生じていない自然状態における地下水の水質について簡単に説明する。

一般的に、地下水は地層中を流動する間に、1)地層からの成分溶出、2)酸化環境から還元環境への移行、3)粘土鉱物と間のイオン交換などによって、水質とその水質組成が系統的に変化して行く。杉崎・柴田(1961)はこの変化過程を“地下水の化学的進化”と呼んだ。第3図は、筆者がこの系統的な変化過程を模式化したもので、一般の地下水は矢印の方向に水質が移行する。以下では第3図を用いて説明する。

地下水の起源は雨水であり、ほぼ蒸留水に近い水質である。雨水が地層中に入ると雨水中に含まれる二酸化炭素の作用によって、地層中の炭酸塩鉱物が最初に溶解され、第3図の1のような水質になる。河川上流域において一旦地層中に入り、再流出した源流水はほぼこのような水質である。この地下水が地層中を流動する間に、地層からの成分溶出、有機物の分解などによって第3図の2、3のような水質に移行する。一般の被圧地下水はこの段階のものが多い。次の段階に進むと、水中のCa、



第3図 ヘキサダイアグラムとキーダイアグラムを用いた地下水の水質の系統的変化過程。

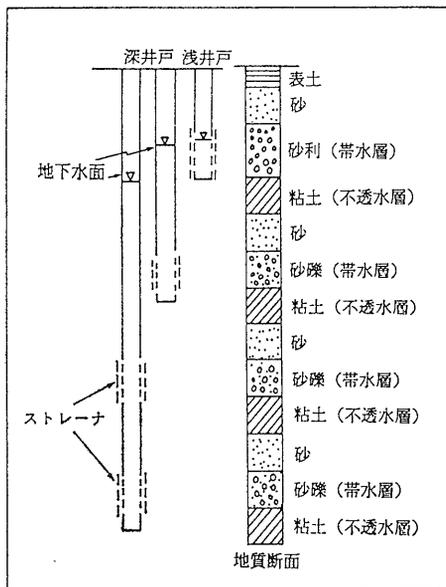
Mgと地層中の粘土鉱物中のNaとの間でイオン交換が生じ、Ca+Mgが減少し、Naが増加して第3図の4、5のような水質に移行する。このような水質は、沖積低地深部の地下水、第三紀層中の地下水に多く見られる。水質汚染が問題になるのは1及び2の段階で、3以下の段階ではほとんど生じない。

無機汚染の指標となる NO_3^- 、 SO_4^{2-} は、河川から涵養される伏流水を除くと、地下水中にはもともと少ない。たとえ存在しても地下水が地層中を流動する間に有機物の分解などで酸素が消費されて還元状態となり、 NO_3^- は NH_4^+ に、 SO_4^{2-} は H_2S に還元されるため、深部の地下水中には少量か、あるいはほとんど存在しない。それゆえに、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} の増大は地表からの供給、すなわち、無機汚染ということになる。第3図のキーダイアグラムにおいては、無機汚染による水質変化は破線の矢印方向へ移行する。

なお、実際の地下水調査ではこの“化学的進化”のラインから逸脱するケースがかなりある。その場合は1)地表水の混入(汚染)、2)火山、温泉、鉱山などの影響、3)塩水化、4)特殊な地質条件などが考えられ、その原因説明が地下水調査にとって重要となる。

2.3 浅井戸と深井戸の地下水の区別

地下水汚染の調査にあたっては、浅井戸の地下水か深井戸のそれかをきちんと理解しておく必要がある。第4図の井戸の模式図を用いて若干の説明を行う。一般的には、不透水層である粘土層に覆われない最上部の帯水層中の水を自由(不圧)地下水といい、ストレーナを通し



第4図 井戸における地質断面とストレーナの模式図。

てこれを汲み上げる井戸が浅井戸である。一方、粘土層に覆われる第2層以下の帯水層中の水を被圧地下水といい、これを汲み上げる井戸が深井戸である。

浅井戸は上部に粘土層が無い場合、地表からの汚染を生じやすい。これに対し深井戸の場合、厚い粘土層が上部にあれば地表からの汚染物質は下方の帯水層へ浸入し難い。しかし、深井戸でも浅井戸と同じ帯水層の自由地下水を揚水する場合には、地表からの汚染の認められる地下水を汲み上げることになる。汚染されやすさの目安として、井戸深度だけを問題にするケースが多いが、実際にはストレーナ深度、それも最上部のストレーナ深度が多くの場合重要である。

浅井戸と深井戸では水質が大きく違う。また、複数のストレーナを有する井戸においてはそれぞれに対応する帯水層の水質が異なり、水温も下部の帯水層ほど高くなる。水質汚染の調査では、特定の成分だけでなく、一般成分の分析と、採水時における水温の測定が重要である。

3. 水質汚染の実態

3.1 浅井戸（自由地下水）の水質汚染

2.3節で述べたように地表からの水質汚染は、浅井戸で最も生じやすい。しかも、浅井戸のほとんどは民家や農地周辺にあるため、大なり小なり無機汚染が発生しているといえる。第5図の右例は浅井戸の無機汚染の実例であるが、比較のため自然状態の源流水（雨水が一旦地下に浸透し、再流出したもの）の水質を左の列に併記した。

ここで、井戸の汚染状況を示すものとして、関東地方のある保健所による水質試験結果を第1表に示す。硝酸性窒素汚染による水質基準の超過件数は年々増加し、

第1表 水質試験結果からみた井戸水の不適数の増加

年次	検査件数	硝酸性・亜硝酸性窒素			
		不適数 (%)	平均値 mg/l	最高値 mg/l	最低値 mg/l
1986	67	27 (40.3)	10.5	26	0.5未満
1987	90	40 (44.4)	10.1	28	0.5〃
1988	81	48 (59.3)	12.8	29	0.5〃
1989	102	71 (69.6)	14.8	34	0.5〃

1989年は全体の70%、浅井戸だけに限れば90%を超え、これは全国的な傾向である。

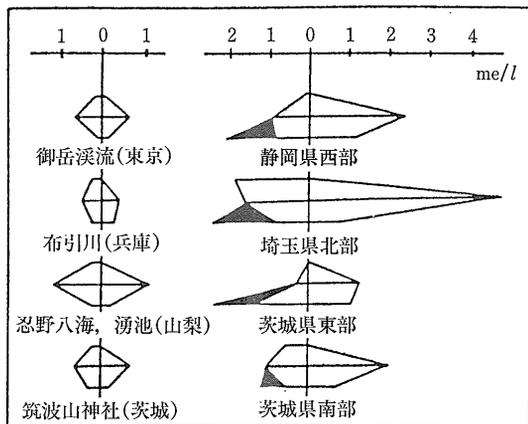
3.2 深井戸（被圧地下水）の水質の具体的な検討

深井戸の場合は浅井戸と異なり、帯水層の上部に原則として1～数層の不透水層があり、地表からの無機汚染はかなり制約される。ところが実際には、無機汚染の進んでいる深井戸があり、それらを詳しく検討すると以下の3点を指摘することができる。第1点は水文地質に関し、たとえば扇状地、低地（旧河道を含む）、火山山麓、石灰岩地帯などの不透水層が未発達あるいは不連続で、しかも主に礫層からなる地域とか、亀裂の多い岩石からなる地域の深井戸である。第2点は井戸の構造で、たとえば井戸が深く、幾層ものストレーナがあっても、最上部のストレーナが浅い場合とか、井戸管周囲の充填砂利がストレーナの位置より浅いところまで埋め込まれている場合、さらには井戸仕上げが悪くて浅部の井戸管継目に隙間が生じている場合である。第3点は土地利用形態に関し、たとえば無機汚染のより大きな畑作地帯の深井戸の場合である。なお、無機汚染の著しい地域をみると、上記3点のうち2点以上が重複しているケースが多い。

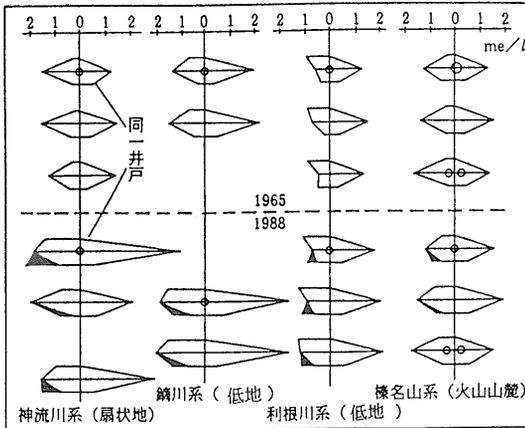
3.2.1 水文地質からの検討

筆者は、無機汚染のほとんど生じていない1965年前後に、水文地質条件の異なる利根川中流域の地下水調査を行い、水質から水系区分を行った（永井, 1968）。この地域について、20数年経過した1988年に再度水質調査を行い、同一井戸を含めて水系別に水質比較を行ったのが第6図である。

水質の変化は埼玉県北部の神流川系の扇状地で一番大きく、このことが筆者の地下水汚染に取り組むきっかけとなった。次いで鑄川系、利根川系の低地で大きい。水質変化の内容を見ると、いずれも陰イオンでは SO_4^{2-} と NO_3^- が、陽イオンでは Ca（実際には Ca+Mg であるが、以下単に Ca とする）が大きく増加している。これは化学肥料の硫酸の多用と、その結果生じた土壌の酸性化を中和するために用いた石灰に起因すると考えられる。榛名山系の火山山麓の水質変化はそれほど顕著ではないが、



第5図 無機汚染の進んだ浅井戸の水質例（永井, 1990 b）。



第6図 水文地質別の1965年と1988年における水質の比較 (永井, 1989).

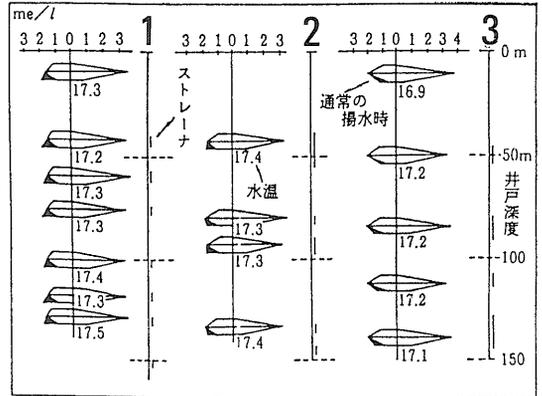
一部には同様の水質変化が認められる。これは土地利用形態と大きく関連し、赤城山麓での調査結果については後で詳しく述べる。なお、第6図には省略したが利根川左岸低地部(境町)の深井戸は、ストレーナの深度が約90mと深く、粘土層の厚いこともあって20数年前の水質とほとんど同じであった。

筆者は現在、全国的規模で水質調査を実施しているが、無機汚染の進んでいる地域の面積は扇状地が一番広く、次いで低地、火山山麓の順である。

3.2.2 井戸の構造からの検討

無機汚染の著しい神流川扇状地の深井戸において、どの深度まで汚染が進行しているかを調べるため、パッカーを用いてストレーナの上下を完全に遮断するようにして各層採水を行い、水質分析を行った。第7図は調査井の井戸構造とストレーナ別の水質である。その結果は3井とも上部から下部までほぼ同じ水温・水質で、No.1ではトリクロロエチレンが基準値を超え、同じ値が全深度にわたって測定された。すなわち、2,3節で述べた深度による水温・水質の変化傾向と明らかに矛盾する。以下ではその原因を考える。

一般の深井戸掘削工事においては、井戸管を入れた後、井戸管周囲に充填砂利を最上部のストレーナより5~10m上方まで詰める。続いて井戸管内の泥水を取り除いた後、最終的にはきれいな水になるまでポンプによって汲み上げる。この時のポンプの位置は最上部のストレーナより上にセットされるので、ストレーナのある帯水層の水量が豊富であれば、その層の水だけが揚水され、水量が確保されればそこで終了となる。当然2層目以下のストレーナのある帯水層は目詰まり状態で放置されてしまい、今回の調査のように各層採水をした場合、最上



第7図 各層採水によるストレーナ別の水質 (永井, 1990 a).

部の帯水層の汚染された地下水が井戸管周囲の充填砂利を通して汲み上げられ、各層とも同じ水温、水質を示すという結果になったことが考えられる。

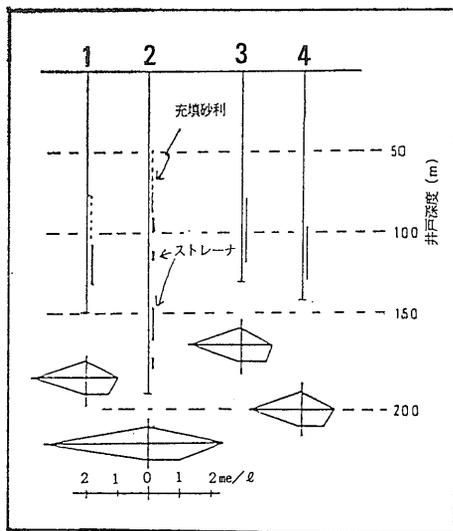
最上部のストレーナからの地下水が汚染されているので、そのストレーナを潰すとか、ポンプ位置を下部にあるストレーナまで下げる方法がいくつかの井戸で行われているが、何れの場合も失敗に終わっている。それは、2層目以下の帯水層が目詰まり状態のため、充填砂利を通して上部の汚染された水のみが汲み上げられるからである。

一般の揚水井は水量を確保するために井戸をより深く掘り、ストレーナを数多く設置しているものが多いが、第7図のように最上部のストレーナしか機能していないケースが非常に多い。

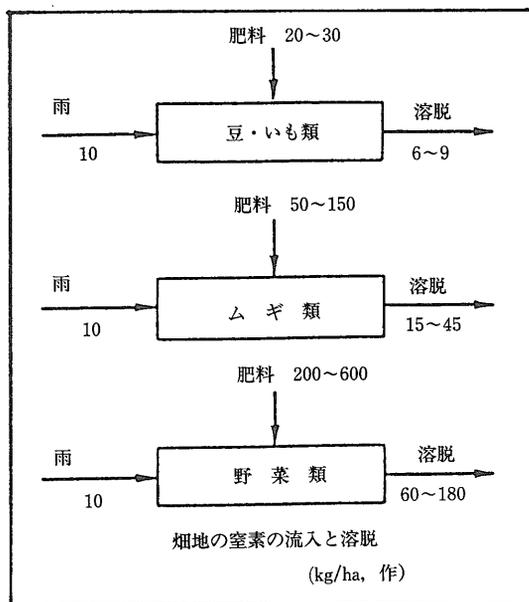
井戸の構造による別のケースとして、井戸管周囲の充填砂利の埋め戻し深度が著しく浅い場合がある。第8図は茨城県西部I町の深井戸の井戸構造の概略と水質を示したものである。ストレーナ深度はいずれも100m前後であり、No.1, 3, 4はほとんど同じ水質であるが、No.2だけは異質である。この井戸は新設井で、井戸柱状図に充填砂利の埋め戻し深度が記載されており、その上限は50mであった。電気検層図によると50m付近に有力な帯水層が存在していることから、この井戸は充填砂利を通して同帯水層の水を汲み上げるために水質が異なることが分かった。

このように、井戸の深度とストレーナの位置が明確であっても充填砂利の埋め戻し深度によっては、さらに上部の帯水層の地下水が汲み上げられている可能性がある。その帯水層の地下水が汚染されている場合には、深井戸全体が汚染されているという間違った結論になってしまう。

さらに井戸の構造に関連して、井戸管の破損の場合が



第8図 ストレーナ及び充填砂利の深度と水質の関係 (永井, 1990c).



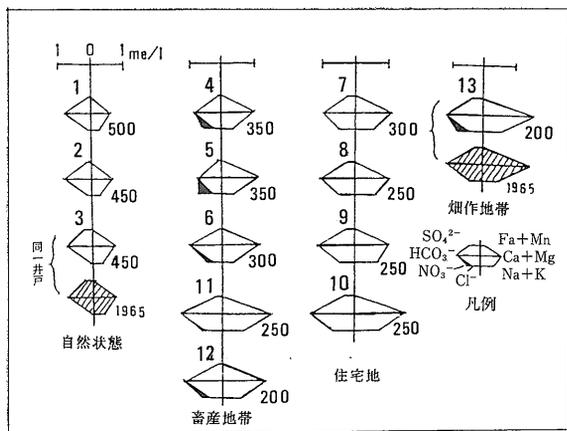
第9図 畑地における窒素の流入と溶脱 (田淵, 1989).

ある。井戸管は普通1本の長さが5.5mあり、連結は溶接で行われる。古い井戸の場合、溶接部が腐食することがあり、この腐食した溶接部から浅部の汚染された地下水が混入するものである。いずれの場合も、浅部地下水と深部地下水では水温、水質が異なるため、地下水汚染の調査においてはきちんとした水温測定と一般水質の分析が必要である。

3.2.3 土地利用形態からの検討

無機汚染のうちで硝酸性窒素は土地利用形態、とくに水田地帯か畑地帯かで大きく異なる。水田地帯では、1)地下への漏水を防ぐ遮水が施され、2)過剰な施肥は稲の倒伏を招くために使用量が抑えられ、3)かんがい期には湛水しているので土壌は還元状態にあり、窒素は NH_4^+ として土壌中に保持されることなどによって、硝酸性窒素汚染は生じ難い。一方、畑地帯とくに野菜、果樹、茶畑地帯では大量に肥料が使われて、酸化状態にあるため、窒素は NO_3^- となって容易に地下水中に溶脱することなどによって、硝酸性窒素汚染が進む。第9図は田淵(1989)による畑地における作物別窒素の溶脱量であるが、野菜類の溶脱量がとび抜けて大きい。また、畜産地帯も家畜の糞尿などが原因で、硝酸性窒素汚染が進んでいる。

土地利用と水質の関係を赤城山麓の深井戸で調査した結果を次に示す。第10図は土地利用形態別水質である。自然状態を除いた他の土地利用では硝酸性窒素汚染が進み、畜産・住宅地帯では標高の低下とともに汚染の進行がより顕著である。なお、土地利用での問題は、最近の



第10図 土地利用の形態別水質 (田口ほか, 1990), 各へキサダイアグラムの右横の数字は標高 (m) である。

ハウス栽培の普及で野菜類は1年1作から1年多作となり、それに伴う肥料の増加、さらには減反政策による水田から畑作への転換などによって、硝酸性窒素汚染はより一層の拡大と進行が予想される。

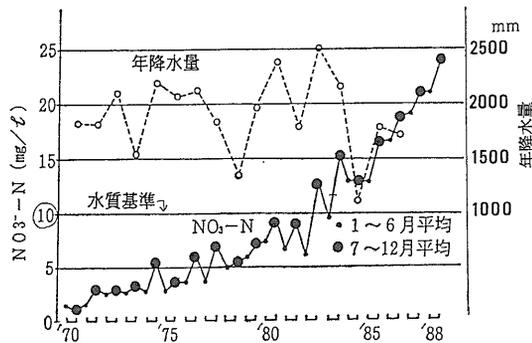
4. 無機汚染の実例

4.1 無機汚染の経年変化

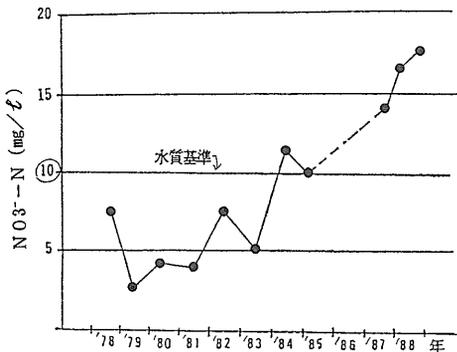
資料の比較的よく揃っている二つの深井戸に関する硝酸性窒素の経年変化を第11, 12図に示す。第11図の深井

戸は静岡県西部の礫層を主体とする洪積地上の茶畑地帯にあり、井戸の深度は90m、ストレーナの深度は55～87m(合計2層)である。1970年に硝酸性窒素量はわずか1mg/l程度であったが徐々に増加し、1982年に水質基準の10mg/lを超えた。その後増加傾向が強まり、わずか5年間で2倍の20mg/lとなり、さらに増加が続いている。この井戸で興味深いことは、毎年7月から12月に増加が大きくなり、渇水年の1987年と1984年にはほとんど増加しておらず、降水量の多い年に硝酸性窒素量が増加することである。第12図の深井戸は埼玉県北部の神流川扇状地にあり、井戸の深度は150m、ストレーナの深度は40～140m(合計7層)である。1984年に10mg/lを超え、その後の増加が著しい。

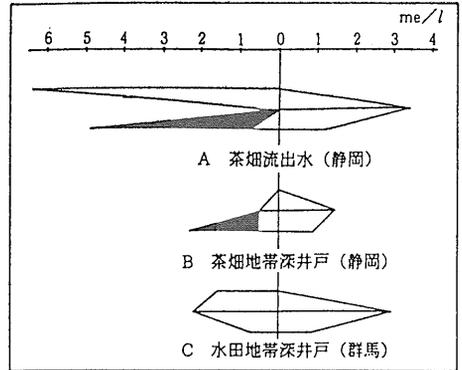
両井に共通していることは、硝酸性窒素量は1983年頃に境に急増し、水質基準値を大幅に超えていることである。それは化学肥料の施肥量の累積効果が表面に現れてきたためであると考えられる。また、3.2節で述べたように無機汚染を一層進行させるような土地利用状況に移行しているからである。



第11図 静岡県西部の洪積地における硝酸性窒素の経年変化(永井(1990b)の一部修正)



第12図 埼玉県北部の扇状地における硝酸性窒素の経年変化(永井, 1990c)



第13図 無機汚染の3タイプ(永井, 1990c)

4.2 無機汚染の3タイプ

肥料などに起因する無機汚染への水質変化は、陰イオンでは NO_3^- と SO_4^{2-} が、陽イオンでは Ca が増加するのが一般的である(Aタイプと呼ぶ)が、その後の調査で NO_3^- と Ca だけが増加し、 SO_4^{2-} がほとんど含まれないもの(Bタイプと呼ぶ)と、 SO_4^{2-} と Ca だけが増加し NO_3^- がほとんど含まれないもの(Cタイプと呼ぶ)との3タイプのあることが分かった。これは、土地利用形態あるいは使用する肥料に原因があると考えられる。

第13図に三つのタイプの代表例を示す。Aタイプの例は大雨の翌日、茶畑から側溝に流出していた水を分析したもので、pHは3.8、 SO_4^{2-} は300mg/l、 NO_3^- は250mg/lであった。これは肥料(農業の影響も考えられる)が硝酸性窒素汚染の原因である好例である。Bタイプの例は第11図の硝酸性窒素の経年変化を示した井戸で、同じ茶畑地帯でありながら SO_4^{2-} がほとんど含まれない。Cタイプの例は利根川右岸の高崎市にある深井戸で、周辺は水田地帯であり、 NO_3^- がほとんど含まれない。

無機汚染による水質変化の形態に違いがあるが、これらの成分は全て地表起源であり、筆者の調査では有機汚染を生じている地下水は、いずれもこの3タイプの一つに属していた。

5. 有機汚染調査への提言

最近、水質汚濁防止法が改正(1989年6月18日法律改正、10月1日施行)され、有害物質の地下浸透の禁止措置や自治体における常時監視に関する規定等が設けられた。

K市はこの水質汚濁防止法に基づいて、1990年度に市内の地下水について定期モニタリング調査と概況調査(500mメッシュごとに1井)を実施した。筆者はこの調査の検討委員会委員として参加したが、調査内容は有害成分だけであった。これではデータの解析もできかねるの

で、一般水質の分析も引き受けることにした。水質の分析結果と水文地質からK市の地下水を六つの地下水系に区分し、水系と水質汚染の関係を最終報告書において明らかにした。参考までにその一部を紹介する。

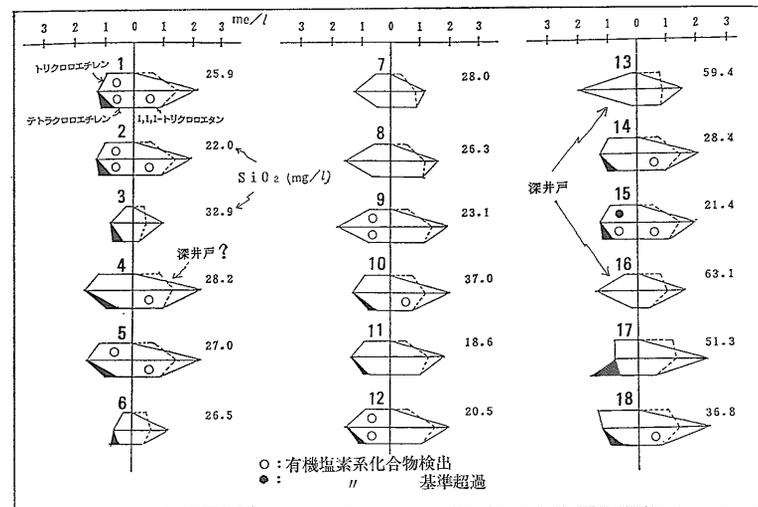
第3章 水質による水系区分と水質汚染についての考察

1. 調査井の水質 (省略)
2. 水系区分と水質 (省略)
3. 水質汚染

定期モニタリング調査、概況調査とも有機塩素系化合物汚染を生じている地域、地下水はかなり限定される。すなわち、区分Aの伏流水系と区分Dの第1地下水の一部である。検出井戸の水質はヘキサダイアグラムで分かるように、いずれも硫酸イオン、硝酸イオン、カルシウムが多く、これは化学肥料(硫安)と土壌中和剤(石灰)などに起因する地表からの無機汚染と考えられる。一方、有機汚染化合物の非検出井戸の水質も同じように無機汚染を生じている。この違いは有機塩素化合物による汚染はかなり局所的で、汚染源に近いところだけで汚染物質が検出されるため、無機汚染を生じている井戸は、汚染源があれば容易に汚染すると考えられる(以下省略)。

第14図は同報告書中の16井のヘキサダイアグラムに一部加筆編集したものである。No. 4, 13, 16は深井戸、それ以外は浅井戸、欄外の数値はSiO₂のmg/lである。SiO₂値を併記したのは、深井戸と浅井戸を区分する指標になるからであり、No. 4は深井戸(50m)に属するがヘキサダイアグラムの形、SiO₂の値からみて、水質からは浅井戸と同じ特徴を持つことが分かる。

第14図のように、有機汚染調査にあたっては、可能であれば一般成分の分析までを行い、無機汚染との関係を明



第14図 一般成分の分析によって明らかになった無機汚染の実例。永井・吉川(1991)の一部修正。

らかにする必要がある。それらの分析が無理であれば、最低限 NO₃⁻と SiO₂の分析を行い、また水質の上から浅井戸か深井戸のどちらに属するかを明らかにする必要がある。また、定期モニタリング調査では、既に無機汚染の発生している井戸を重点的に選定すべきである。

6. おわりに

地下水汚染の問題は行政との関わりが極めて大きく、資料及びその実態の公表が難しい。本稿においては地域名、井戸名、生データはできるだけ控え、共通的で基本的な事項にのみ絞って記述した。

一般に水質汚染とくに有機汚染は、非常にゆっくりとしたスピードで進行する。そして汚染物質は地下で希釈されながら拡散し、その負荷量が膨大なため、一旦汚染されてしまうと回復は困難で、手遅れの状態となる。そこで、より重要なことは汚染の未然防止であり、そのためには地表からの有機汚染の指標である無機汚染、とりわけ硝酸性窒素の実態を把握し、水質汚染の生じやすい水文地質条件を備えた地域を明らかにし、汚染物質の取扱いや管理を厳重にすることである。

筆者は有機汚染との関連で無機汚染に取り組んできたが、その結果は予想以上に深刻で、硝酸性窒素量が水質基準を大幅に超えているところが全国各地に出ている。しかも年々その増加の速度が加速され、面積も拡大している。国や自治体による実態調査を早急に実施し、一刻も早い対応策が強く望まれる。また、最近ゴルフ場の農業汚染が大きな社会問題になっているが、周辺民家の井戸で検出されてからでは既に手遅れである。対策としてはゴルフ場内に浅井戸を数本以上掘削し、定期的にその水質を調べる必要があると考えている。

文 献

永井 茂(1968): 水質による地下水系の解明(前橋, 高崎, 伊勢崎地区の地下水について). 工業用水, No. 114, 66-75.

永井 茂(1989): 無機汚染の実例と今後の問題. 日本地下水学会1989年度秋季講演会要旨, 22-25.

永井 茂(1990a): 井戸構造と地下水の水質. 日本工業用水協会 第25回研究発表会要旨, 58-61.

永井 茂(1990b): 地下水の汚染実態とその対策. 労働の科学, 45, No. 5, 8-12.

永井 茂 (1990c) : 地下水の無機汚染の実態と問題点. 水, **32**, No. 9, 18-25.

永井 茂・吉川清志 (1991) : 地下水汚染の水化学的研究(5). 日本地下水学会1991年度春季講演会要旨, 6-9.

杉崎隆一・柴田 賢 (1961) : 地下水の地球化学的研究(第2報) —濃尾平野における地下水と地質構造の関連性—. 地質学雑誌, **67**, 427-439.

田淵俊雄 (1989) : 霞ヶ浦の汚濁と農業活動. 日本地下水学会1989年度秋季講演会要旨, 80-83.

田口雄作・石井武政・安原正也・丸井敦尚・永井 茂・吉川清志・風早康平・遠藤秀典・内田利弘・高倉伸一 (1990) : 先端

技術産業に係る環境汚染物質の拡散予測とモニタリング手法の開発に関する研究(Ⅱ) 深層地下水の汚染・拡散機構の解明. 環境庁企画調整局環境研究技術課編, 平成元年度 環境保全研究成果集, 104-II, 1-23.

NAGAI Shigeru (1992) : The real state and issue of inorganic contamination for underground water in Japan.

<受付: 1991年5月24日>

1992年度地質調査所研究講演会

21世紀のエネルギー：地熱

わが国に豊富に賦存する地熱エネルギーの有効利用は着実に進められてきているが、その努力が真に開化するのは来世紀に入ってからになるだろう。地質調査所は早くからわが国の地熱資源に注目し、「サンシャイン計画」のもとで賦存状態を明らかにするための手法・探査技術開発に取り組んできた。ここでは、これまでの取り組みによって得られた結果をもとに、将来のエネルギー源として地熱を考える。

日時: 1992年6月12日(金) 11:00-16:45

会場: 三会堂ビル9F, 石垣記念ホール

東京都港区赤坂 1-9-13 Tel. 03-3582-7451

主催: 工業技術院地質調査所

(財)日本産業技術振興協会

問い合わせ先: 工業技術院地質調査所 業務課広報係

〒305 茨城県つくば市東 1-1-3

Tel. 0298-54-3520 Fax. 0298-54-3533

交通: 地下鉄丸ノ内線, 千代田線国会議事堂前駅下車徒歩6分, 地下鉄銀座線虎ノ門駅下車徒歩6分

参加費: 無料(ただし, テキスト代実費)

申込先: (財)日本産業技術振興協会

〒105 東京都虎ノ門 1-19-5 虎ノ門1丁目森ビル5階

申込方法: 参加申込用紙に参加者の氏名, 所属等をご記入の上, 申込先へお送り下さい。電話, Fax. での申込もお受け致します。

<プログラム>

司会 地質調査所 企画室長	
あいさつ	11:00-11:15
日本産業技術振興協会 専務理事	
地質調査所長 小川 克郎	
21世紀の資源・環境と地熱エネルギー	11:15-11:35
地質調査所長 小川 克郎	
地熱エネルギー開発利用への取り組み	11:35-12:00
地熱熱部長 長谷 紘和	
昼食	12:00-13:00
司会 地質調査所 地殻熱探査課長	
特別講演: 火山の恵み—その地熱との関わり	13:00-13:40
北海道大学理学部教授 荒牧 重雄	
熱水系の深部環境を地球化学データから予測する	13:40-14:20
北海道支所地域地質課長 茂野 博	
地熱調査における物理探査の現状と展望	14:20-15:00
地殻熱物性課長 川村 政和	
休憩	15:00-15:20
地球環境と地熱資源量評価	15:20-16:00
地殻熱探査課主任研究官 宮崎 芳徳	
特別講演: 米国 グレートバイズンおよびザ ガイザーズ・	
クリアレイク地域の地熱資源	16:00-16:40
ネバタ大学客員教授 陶山 淳治	
閉会のあいさつ	16:40-16:45
地質調査所次長 佐藤 壮郎	