

広島県尾道市因島の硝酸性窒素による地下水汚染

妹尾 護・宮地 佑典

倉敷芸術科学大学生命科学部

(2007 年 10 月 10 日 受理)

1. はじめに

平成 19 年版「環境白書」によれば¹⁾, 硝酸性窒素 (以下, NO_3^- -N と略す) は, ヒ素, フッ素, 鉛ならびにトリクロロエチレンやテトラクロロエチレンなどの揮発性有機化合物とともに高頻度で地下水から検出される物質である。 NO_3^- -N の健康影響に関する研究では²⁾, NO_3^- -N を多く含む水を長期間飲用した場合, メトヘモグロビン血症や発ガンの可能性があるとして指摘されており, 地下水の NO_3^- -N による汚染は, 飲料水を地下水に依存する割合の高い欧米では深刻な事態となっている³⁾。日本においても, 環境省による地下水調査結果では⁴⁾, NO_3^- -N は最も検出率の高い物質であり, 環境基準 (NO_3^- -N および NO_2^- -N (亜硝酸性窒素): 10mg/L 以下⁵⁾) に対する超過率は平成 17 年度で全調査数 4691 本の井戸の 4.2% に達している (一部, NO_2^- -N を含む)。しかし, この調査は, 国および地方自治体が水質汚濁防止法に基づいて実施した地下水質の測定結果をとりまとめたものであり, 全国に多数存在する未調査の井戸においても, NO_3^- -N による地下水汚染が進行している可能性は高い。また, 環境省による汚染井戸周辺地区調査では, 周辺井戸の環境基準超過率が約 35% を超えており⁴⁾, 汚染が比較的広範囲に及んでいることを示している。 NO_3^- -N の汚染源としては, 農業系, 畜産系, 生活排水系, 大気汚染—降水系など⁶⁾, その汚染原因は多岐にわたるが, 場合によってはそれらが複合していることも考えられる。したがって, 環境基準を超える高い NO_3^- -N 濃度が地下水から検出される地域については, 地下水汚染の現状を把握するとともに, その汚染源を特定することが汚染源対策を講じる上でも必要となってくる。

私たちは岡山県の南部地域や西南部の瀬戸内海の島々の地下水調査を進めているが, その過程で水質基準値を超える高い NO_3^- -N 濃度の井戸水の存在を報告し, 果樹園や畑地に施肥された硫酸などの化学肥料がその汚染源であることを指摘した^{7,8)}。この点を踏まえて, 現在も「ミカンの島」として知られている広島県尾道市の因島を調査対象地域に選び, NO_3^- -N による地下水汚染状況を調べることを研究目的とした。その結果, 高濃度の NO_3^- -N を含む井戸水が多数確認された。そこで, 同島の NO_3^- -N による地下水汚染の現状とその原因, また他の水質上の特徴についても検討を行ったのでここに報告する。

2. 因島の概要

因島は広島県の東南部に位置しており、北東には向島、南西は生口島、そして南には愛媛県の弓削島などの島々に囲まれた総面積 39.6 km²の島である。この島は、室町時代から戦国時代にかけて、村上水軍の根拠地として、また江戸時代には廻船業で繁栄してきた。明治時代になると、造船業が発展し、現在でも造船および関連産業が基幹産業となっている。気候は温暖な海洋性気候で、ミカンをはじめとした柑橘類の栽培が盛んで、長く「造船とミカンの島」として繁栄してきた。因島では、江戸時代以降、人口が増加し、生活に必要な飲料水は地下水（井戸水）に依存していた。そのため、現在でも井戸が多数存在し、飲料用に使っている民家も多い。なお、2006年1月には因島市と尾道市が合併し、現在は尾道市因島となっている。

3. 地下水試料

因島の地下水の水質特徴を明らかにするために、島内から9試料を採取した（図1）。採取時期は2005年11月である。

因島は、花崗岩類（中生代白亜紀、広島花崗岩類）、粘板岩・砂岩・チャート（古生代後期）および沖積層（礫、砂および粘土）から構成されるが⁹⁾、本研究で採取された

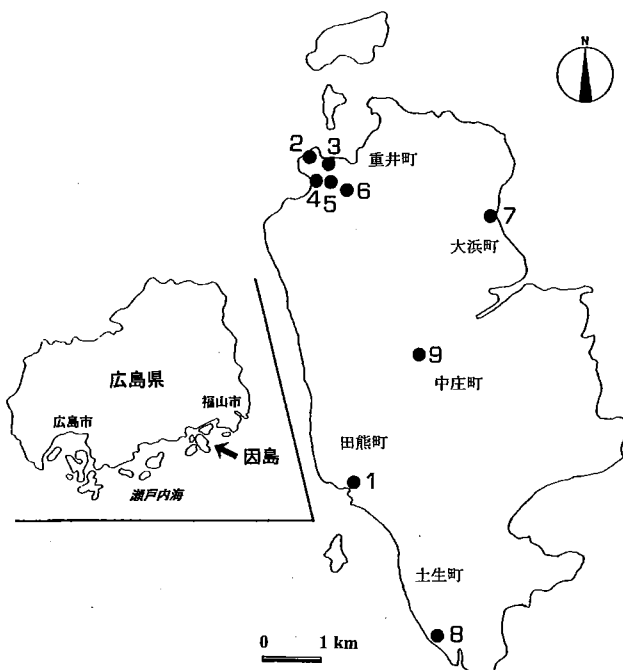


図1 地下水試料の採取地点
図中の数字は試料番号をさす。

地下水はすべて花崗岩類の分布地域からのものである。以下に試料採取地点を示す。

- No.1（回熊町）ガソリンスタンド（浅井戸），飲料用に未使用，海岸沿い，民家が多い。
- No.2（重井町）民家（浅井戸），飲料用に使用，周辺に畑。
- No.3（重井町）民家（浅井戸），飲料用に使用，周辺に畑。
- No.4（重井町）民家（浅井戸），飲料用に使用，周辺に畑。
- No.5（重井町）民家（浅井戸），飲料用に使用，周辺に畑。
- No.6（重井町）民家（浅井戸），飲料用に使用，周辺に畑。
- No.7（大浜町）民家（浅井戸），飲料用に未使用，海岸沿い，民家が多い。
- No.8（土生町）民家（浅井戸），飲料用に未使用，海岸沿い。

No.9 (中庄町) 民家 (深井戸, 約 70m), 飲料用に使用, 周辺に畑。

4. 分析方法

地下水採取時に, pH (携帯用 pH メーター, HANNA 製), 導電率 (携帯用 EC メーター, 堀場製作所) を測定し, 250ml のポリ瓶に分析用試料を入れて実験室に持ち帰った。採取した地下水試料は固形物を含む場合があるので, メンブレンフィルター ($0.45 \mu\text{m}$) でろ過した後, イオンクロマトグラフ (DIONEX 製, DX-120) を用いて, 陽イオン (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) と陰イオン (F^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}) 濃度を測定した。分析に際しては, 陽イオンは 20mM のメタンスルホン酸溶液, 陰イオンでは 0.3mM の炭酸水素ナトリウムと 2.7mM の炭酸ナトリウム溶液の混合液を溶離液として使用した。また, 硫酸滴定によって, pH4.8 アルカリ度を求め, その値から HCO_3^- 濃度を計算した。

5. 分析結果

因島の地下水の水質分析結果を表 1 に示す。以下, 各分析項目についての特徴を述べる。

表 1 地下水の水質分析結果

Sample	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
pH	6.7	6.6	7.4	6.4	6.2	6.4	6.8	6.9	6.1
EC (mS/cm)	0.39	0.31	1.01	0.34	0.36	0.32	0.41	0.24	0.36
Na (mg/L)	42.95	26.08	154.71	24.86	27.94	22.34	40.40	29.38	24.71
K	3.51	6.93	15.14	13.43	7.34	6.79	10.29	5.45	2.81
Mg	9.70	7.06	20.43	9.78	10.27	9.75	11.78	3.70	10.85
Ca	45.77	30.09	24.75	37.61	39.43	38.61	46.24	20.29	47.93
F	0.40	0.45	4.75	0.51	0.40	0.36	0.51	0.26	0.67
Cl	28.15	24.33	286.06	25.20	19.65	15.08	23.02	24.30	16.26
NO_2^- -N	-	-	0.17	-	-	-	-	-	-
Br	0.06	-	0.88	-	-	-	-	-	-
NO_3^- -N	2.61	7.35	9.56	9.24	14.41	12.31	5.37	0.35	15.49
PO_4	0.50	1.74	-	2.70	-	0.64	0.86	0.43	-
SO_4	59.02	57.72	127.16	69.23	84.88	77.32	82.01	18.78	86.84
HCO_3	160.3	46.4	93.3	26.4	24.5	20.4	86.5	99.7	18.0
硬度 (mg/L)	154.2	104.2	145.6	134.1	140.7	136.5	163.9	65.9	164.3

- : 検出限界以下

(1) pH

pH 値は, No.3 の試料 (pH:7.4) を除いて, 他はすべて酸性を示す (pH:6.1~6.9)。その中で, pH 値が特に低い試料は No.9 の 6.1 であった。この値は酸性雨の定義である pH5.6 以上である。

(2) 導電率 (EC)

導電率は水中に含まれる溶存イオンの量を反映しており, 最も導電率の高い試料は No.3 の 1.01mS/cm である。逆に, 最も導電率の低い試料は No.8 の 0.24mS/cm であった。

(3) 陽イオン

Na^+ 濃度は試料 No.3 のみ約 155mg/L と極めて高い値を示すが (水道水質基準値:

200mg/L 以下)⁵⁾、他は 22.3～43.0mg/L の範囲であった。 K^+ 濃度は 2.8～15.1mg/L で、 Na^+ と同様に試料 No.3 が最高値を示した。 Mg^{2+} 濃度は 3.7～20.4mg/L の範囲で、試料 No.3 は他と比べて圧倒的にその値が高い。 Ca^{2+} 濃度については、試料 No.9 が最も高い値を示し、その値は約 47.9mg/L であった。一方、最も低い Ca^{2+} 濃度は試料 No.8 の約 20.3mg/L である。全般的に、因島の地下水の Ca^{2+} 濃度は高い値を示している。陽イオンの中で、地下水に含まれることが多い NH_4^+ は今回の分析ではすべて検出限界以下であった。

(4) 陰イオン

Cl^- 濃度は、ほとんどの試料で 30mg/L 以下であるが、No.3 のみ約 290mg/L の高い値を示す。なお、水道水質基準値は 200mg/L 以下⁵⁾である。既述のように、この試料は Na^+ 濃度も極めて高く、それらイオンは地下水中に $NaCl$ として多く含まれているものとみられる。 NO_3^-N 濃度は 0.35～15.49mg/L で、その濃度範囲は広い。水道水質基準では⁵⁾、 NO_3^-N および NO_2^-N の値が 10mg/L 以下と規定されており、今回の分析では、3 試料 (No.5:14.4mg/L, No.6:12.3mg/L, No.9:15.5mg/L) が基準値を超えている。また、基準値を超えないにしても、基準値に近い試料も存在する (No.3:9.6mg/L, No.4:9.2mg/L)。図 2 には各試料の NO_3^-N 濃度を示した。 SO_4^{2-} 濃度については、

No.3 が約 130mg/L と、最も高い値を示したが、他の試料も全体的にその濃度は高い (18.8～86.8mg/L)。 HCO_3^- 濃度は 20.4～160.3mg/L の範囲で、試料 No.1 が最高値を、試料 No.5 が最低値を示した。 HCO_3^- 濃度は Ca^{2+} 濃度と相関を

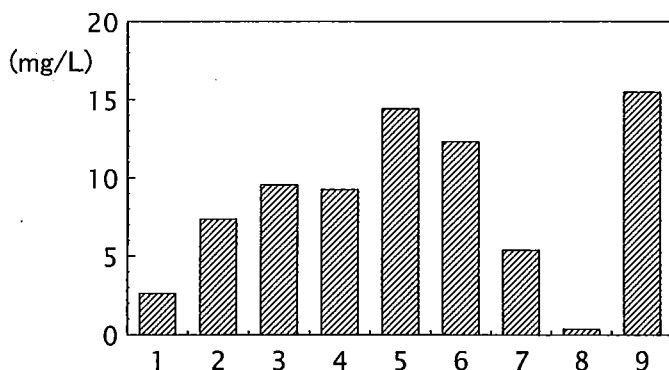


図2 地下水の NO_3^-N 濃度
図中の数字は試料番号をさす。

もつ場合が一般的であるが¹⁰⁾、本研究ではそれらの間に明瞭な関係は認められなかった。その他の陰イオンとして、 F^- 濃度は 0.26～4.75mg/L で、試料 No.3 のみが水質基準値 (0.8mg/L 以下)⁵⁾ を大きく超えて 4.75mg/L であった。 PO_4^{3-} は 6 試料で検出されており、その濃度は 0.43～2.7mg/L の範囲である。なお、試料 No.3 においては、 NO_2^-N (0.17mg/L), Br^- (0.88mg/L) が、また試料 No.1 でも Br^- が少量検出された (0.06mg/L)。

(5) 硬度

水質分析結果をもとに、 Mg^{2+} と Ca^{2+} 濃度から硬度を計算した (表 1)。これはアメリカ式硬度表示で、次式の計算式による。

$$\text{硬度 (mg/L)} : \text{Mg}^{2+} \times 4.12 + \text{Ca}^{2+} \times 2.50 \quad (1)$$

得られた値は試料 No.8 (65.9mg/L) を除き、他は100mg/L以上の硬水であった。その中で、特に試料 No.7と No.9は、約160mg/Lと高い値を示す。なお、日本の水道水の水質基準値では300mg/L以下と規定されている⁵⁾。図3には各試料の硬度を示した。

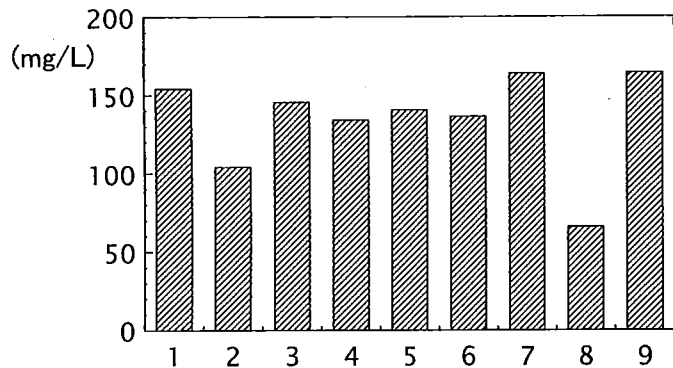


図3 地下水の硬度
図中の数字は試料番号をさす。

(6) 水質組成

分析された主溶存成分をもとに、ヘキサダイアグラムとしてパターン化し、図4に水質組成図を示した。このヘキサダイアグラムから、各地下水試料の水質組成は次のようにまとめることができる。

No.1 : Ca-HCO₃・Ca-SO₄ 中間型, No.2 : Ca-SO₄, No.3 : Na-Cl, No.4 : Ca-SO₄, No.5 : Ca-SO₄, No.6 : Ca-SO₄, No.7 : Ca-SO₄・Ca-HCO₃ 中間型, No.8 : Na-HCO₃・Ca-HCO₃ 中間型, No.9 : Ca-SO₄

したがって、今回分析された因島の地下水は、No.2, No.4, No.5, No.6 および No.9 の5試料が類似したパ

ターンをもつ Ca-SO₄ タイプで、他は、Na-Cl, Ca-HCO₃・Ca-SO₄ および Na-HCO₃・Ca-HCO₃ の中間タイプの水質組成であるといえる。

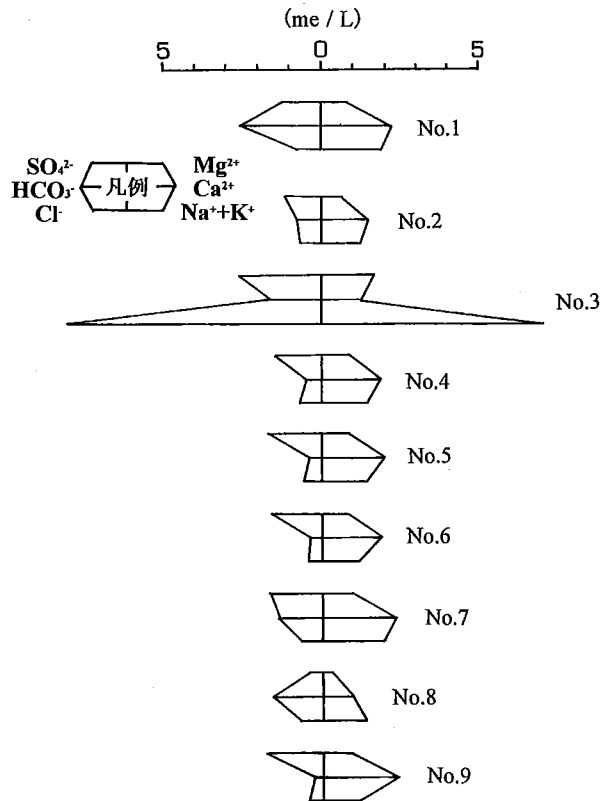


図4 水質組成図
図中の数字は試料番号をさす。

6. 考察およびまとめ

(1) 海水の影響

因島は周囲を海で囲まれているため、地下水への海水の混入など、地下水の水質組成に海水の影響が現れている可能性が考えられる。ここでは、海水の影響について考察を行う。

分析結果で述べたように、分析を行った因島の地下水では、試料 No.3 が他試料と大きく異なる特徴を示している。特に、 Na^+ と Cl^- 濃度が著しく高く、ヘキサダイアグラムでは Na-Cl タイプの水質組成を示している。図 5 はそれぞれの地下水組成を Na^+-Cl^- 図にプロットしたもので、試料 No.3 が海水の組成比 ($\text{Na}^+ : \text{Cl}^- = 0.553 : 1$)^{11, 12)} を表す直線に近い場所に位置していることがみてとれる。また、海水中に多く含まれる Br^- の濃度が高く (0.88mg/L)、 Br^-/Cl^- 比が 0.0031 で、海水のその値 (Br^-/Cl^- 比 : 0.0034)^{11, 12)} に極めて近い値をもつ。これらの事実は、試料 No.3 の地下水が海水の混入の影響を強く受けていることを示

している。一般的に、海水の pH 値は 8.2 程度であることから¹¹⁾、試料 No.3 が今回の分析値の中で唯一 pH 7.4 の弱アルカリ性を呈することも海水の影響の現れと考えられる。一方、他の地下水は、図 5 において海水の組成比を表す直線よりも離れてプロットされてお

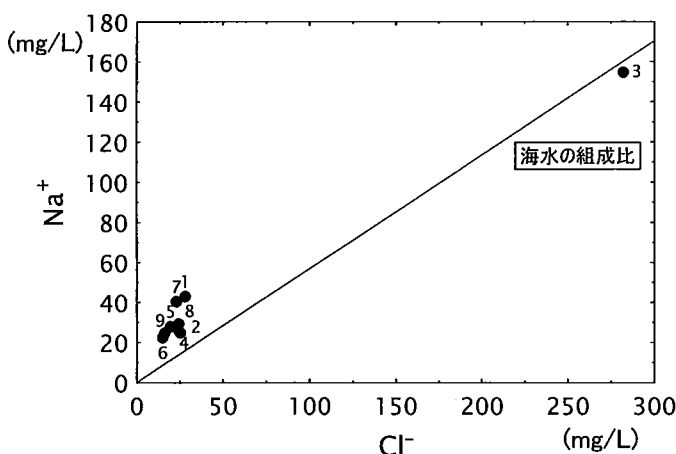


図5 Na^+ と Cl^- 濃度の関係
図中の数字は試料番号をさす。

り、また、 Na^+ および Cl^- 濃度も全体的に低いことから、地下水への海水の影響は小さいものと推定される。

(2) 水質汚染

因島の地下水の特徴は、 NO_3^--N および SO_4^{2-} 濃度の高い試料が多いことである。特に、 NO_3^--N 濃度は最高で約 15.5mg/L と、水質基準値を大きく超えている。飲料水中に NO_3^--N が多量に含まれていると、乳児では体内でそれがバクテリアによって容易に NO_2^--N に還元されて血液中のヘモグロビンと結合し、メトヘモグロビン血症を引き起こすことが知られている⁶⁾。このために、日本では水質基準値として NO_3^--N および NO_2^--N とともに 10mg/L 以下と規定されている⁵⁾。既に述べたように、本研究では、5 試料が水質基準値を超えているか、あるいはその値に近い (試料 No.3, No.4, No.5, No.6, No.9)。なお、これら地下水は現在でも飲料用に使用されている。では、 NO_3^- が地下水

中に多く含まれるようになった原因は何であろうか。

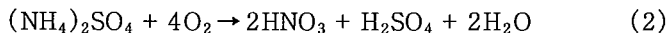
地下水中の NO_3^- -N の汚染源として、次の要因が指摘されている⁶⁾。①生活排水系、②畜産系(糞尿の土壌・畑地還元、畜舎排水など)、③施肥系(化学肥料、有機肥料など)、④大気汚染-降水系(自動車排ガス、事業所排ガスなど)。この中で、本調査地域では畜産農家は存在しないため、畜舎排水や家畜糞尿の影響は無視できる。また、大気汚染-降水系については、酸性雨を特徴づける成分である NO_3^- と SO_4^{2-} が多く含まれる地下水が存在するため、その可能性も考えられないこともないが、 NO_3^- と SO_4^{2-} の両者の濃度が低い地下水も存在する点を考慮すると、降水による直接的な影響よりも、むしろ降水が地中へ浸透していく過程でそれら濃度が高くなったと考えた方が自然である。

一方、因島は柑橘系の果樹栽培が盛んな地域で、土地利用の点では果樹園が圧倒的の多くを占めている。果樹栽培では、高生産性と高品質物を得るために、施肥が一般的である(例えば、廣畑ら¹³⁾)。したがって、化学肥料などの影響が地下水に現れている可能性が高い。

また、同島では、下水道の設備が十分に整備されておらず、家庭排水の地下水への混入も考えられる。以下、これらの点について詳しく検討することにする。

図6は地下水の SO_4^{2-} と NO_3^- -N 濃度の関係図である。この図には窒素肥料として一般的に用いられる硫酸[硫酸アンモニウム: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$]が、

次式のように土壤中で酸化されて NO_3^- と SO_4^{2-} に変化する場合の両者の化学量論的な関係を示した(図中の直線)。



この図では、各分析値の SO_4^{2-} と NO_3^- -N 濃度の間に正の相関が認められるが、細かくみると、図中の直線とはほぼ平行なグループ(試料 No.2, No.4, No.6, No.5 および No.9)と NO_3^- -N に対して SO_4^{2-} 濃度の勾配が大きいグループ(試料 No.8, No.1, No.7, No.3)の2つに分けることができる(それぞれ、グループAおよびグループBとする)。これら各グループの水質特徴としては、グループAが図4のヘキサダイアグラムで類似のパターンを示す Ca-SO_4 タイプの水質組成であり、一方、グループBは HCO_3^- 濃度が高く(約 90~160mg/L)、水質上は、 Na-Cl タイプ、 Ca-HCO_3 と Ca-SO_4 および Na-HCO_3 と

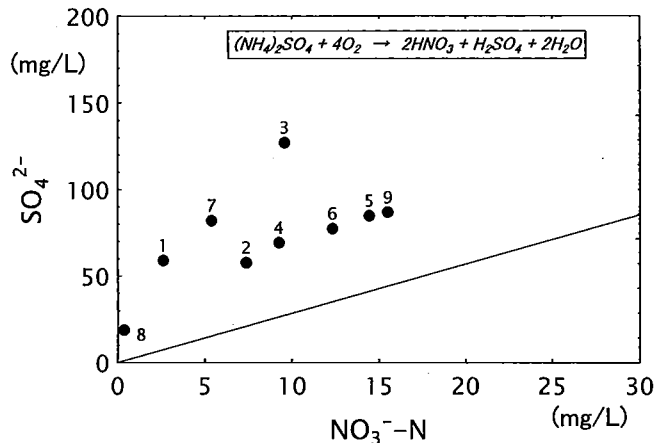


図6 SO_4^{2-} と NO_3^- -N 濃度の関係
図中の数字は試料番号をさす。

Ca-HCO₃ タイプの中間型である。

図6において、グループA（試料No.2, No.4, No.6, No.5およびNo.9）のトレンドは図中の直線上には位置しないが、ほぼ平行とみることができる。これは、SO₄²⁻とNO₃⁻-N濃度の間に(2)式による化学量論的な関係が成り立っていることを示している。また、これら地下水は、周辺に畑（果樹園など）が広がっている地点から採取したものであることから、果樹園などに施肥された硫酸の影響が地下水中のNO₃⁻-NとSO₄²⁻濃度に現れているものとみてよい。ただし、それらは硫酸から生じるNO₃⁻-NとSO₄²⁻の理論値よりもSO₄²⁻が多い領域に位置する。同様な傾向は、岡山県倉敷市の柑橘類の栽培が盛んな連島地域においても報告されている⁷⁾。この原因としては、一部であるが土壌や地下水でのアンモニア揮散や硝酸の脱窒^{14,15)}、硫酸カリウムなどの硫酸塩を含む他の化学肥料の影響、また地下水に混入した生活排水に起因するSO₄²⁻の影響などが考えられる。

硫酸などの化学肥料の施肥に伴う地下水の水質変化の一つにpHの低下がある¹⁶⁾。これは(2)式から明らかなように、化学肥料の土壌中での酸化によってNO₃⁻やSO₄²⁻が生ずるためである。平田⁶⁾によれば、NO₃⁻-NやSO₄²⁻による汚染が進んだ井戸では、pHが6.0以下、あるいは井戸によってはpH5.0に近く、水質基準値(pH5.8~8.6)⁵⁾よりも低いpH値が報告されている。本研究においても、pHとSO₄²⁻の関係図では(図7)、化学肥料の影響を受けていると考えられる地下水試料No.2, No.4, No.6, No.5およびNo.9は、SO₄²⁻濃度の増加とともにpH値が急激に低下する傾向を示している。

グループAの地下水では、NO₃⁻-N濃度とMg²⁺およびCa²⁺濃度に相関がみとれる(表1)。これは、(2)式で示したように、化学肥料の施肥によって土壌が酸性化するために、苦土石灰などが土壌中和剤として用いられた結果であろう。同様な例は、硫酸の多用によってNO₃⁻-Nによ

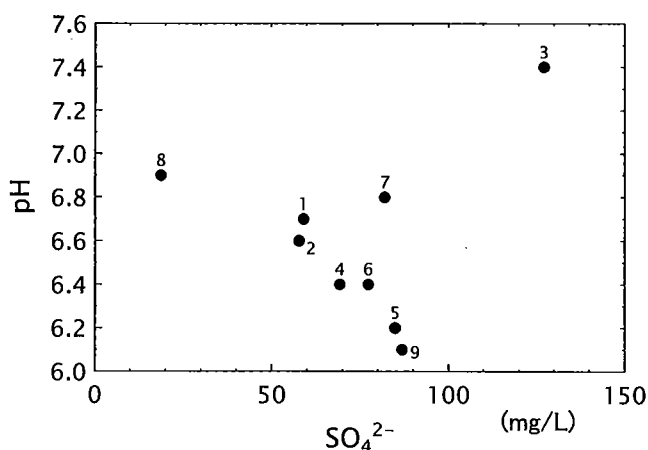


図7 pHとSO₄²⁻濃度の関係
図中の数字は試料番号をさす。

る地下水汚染が起こった岐阜県各務原台地においても報告されている⁶⁾。したがって、土壌中和剤を起源とするMg²⁺とCa²⁺の両者が地下水に移行することによって、結果的に地下水の硬度がより高くなったものと推定される。

それに対して、グループBの試料では(No.8, No.1, No.7およびNo.3)、試料No.8の

各イオンの濃度が今回の分析結果の中では際立って低く、 NO_3^- -N および SO_4^{2-} 濃度はそれぞれ 0.35mg/L, 18.8mg/L である。特に、 NO_3^- -N は他の地下水と比較して、その濃度は著しく低い (図 2)。また、試料 No.8 の硬度は低く、100mg/L 以下の軟水である (約 66mg/L)。これらのことから、この地下水は水質汚染をほとんど受けていないものとみてよい。それに対して、試料 No.3 は海水の混入を受けた地下水であることは既に述べたが、海水中では一般的に少量である、 NO_3^- -N の濃度 (約 0.5mg/L 以下)¹⁷⁾ がこの地下水では高いことを考慮すると (9.6mg/L)、化学肥料の影響を受けたと考えられるグループ A のような地下水と海水が混合して形成された水質であると推定される。さらに、試料 No.1 と No.7 については、特に Cl^- に対する Na^+ 濃度が高く、図 6 では海水の組成比を表す直線から大きく離れている。また、 NO_3^- -N 濃度が比較的低い割には Mg^{2+} および Ca^{2+} 濃度が高い。これら地下水は、因島の海岸沿いの民家密集地で採取されたものであることから、生活排水の影響が現れている可能性が高い。

引用文献

- 1) 環境省編：環境・循環型社会白書 平成19年版，ぎょうせい，413p (2007)。
- 2) 米国環境保護庁：飲料水中の各種化学物質の健康影響評価—健康に関する勧告集—。(水問題研究会訳)，日本水道協会，388-399 (1988)。
- 3) British Geological Survey：The groundwater nitrate problem. BGS Hydrological Report, 86/2, 95p (1986)。
- 4) 環境省：平成17年度地下水質測定調査，76p (2006)。
- 5) 日本環境管理学会編：水道水質基準ガイドブック。丸善，295p (2004)。
- 6) 平田健正編：土壌・地下水汚染と対策。日本環境測定分析協会，304p (1996)。
- 7) 妹尾 護，浅野理恵：倉敷市連島地域の硝酸性窒素による地下水汚染。倉敷芸術科学大学紀要，8，123-134 (2003)。
- 8) 妹尾 護，永世真司：岡山県笠岡市真鍋島の硝酸性窒素による地下水汚染。倉敷芸術科学大学紀要，9，111-121 (2004)。
- 9) 建設省中国地方建設局：中国地方土地地質図 (20万分の1) および同解説書，412p (1984)。
- 10) H. D. ホランド：大気・河川・海洋の化学—環境科学特論一。(山県 登訳)，産業図書，318p (1979)。
- 11) 半谷高久，小倉紀雄：水質調査法 (第3版)。丸善，336p (1995)。
- 12) 北野 康：水の科学。NHKブックス，日本放送出版協会，254p (1995)。
- 13) 廣畑昌章，小笹康人，杉崎達哉，藤田一城，杉田良三，渡辺征紀：熊本県U町の硝酸性窒素による地下水汚染機構。地下水学会誌，41，291-306 (1999)。
- 14) 平田健正：硝酸性窒素による地下水汚染。水環境学会誌，19，950-955 (1996)。
- 15) 近藤洋正，田瀬則雄，平田健正：沖縄県宮古島における地下水中の硝酸性窒素の窒素安定同位体比について。地下水学会誌，39，1-15 (1997)。
- 16) 松尾 宏，笹尾敦子，重江伸也，永淵 修，桜木健治：茶園を集水域とするため池の酸性化現象について。用水と廃水，34，120-125 (1992)。
- 17) Drever, J. I. : The Geochemistry of Natural Waters (2nd edition). Prentice-Hall, 437p (1988)。

Groundwater Pollution by Nitrate-Nitrogen at Innoshima Island in Onomichi City, Hiroshima Prefecture

Mamoru SENO, Yusuke MIYACHI

College of Life Science

Kurashiki University of Science and the Arts

2640 Nishinoura, Tsurajima-cho, Kurashiki-shi, Okayama 712-8505, Japan

(Received October 10, 2007)

The groundwater quality of Innoshima Island in Onomichi City, Hiroshima Prefecture, was investigated. As a result, groundwaters with high concentration of nitrate-nitrogen (NO_3^- -N) were found out.

Groundwaters can be classified into two groups on the water quality (group A and group B, respectively). Group A is characterized by high concentration of NO_3^- -N and SO_4^{2-} . Some of them show much higher concentration of NO_3^- -N whose values exceed water quality criteria (10mg/L). From hexadiagram, it is clear that the water quality of group A is Ca- SO_4 type. In addition, there is an intimate relationship between the concentration of NO_3^- -N and SO_4^{2-} , which satisfies stoichiometric relation on oxidation reaction of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. It follows, therefore, that the high concentration of NO_3^- -N and SO_4^{2-} in groundwater originated mainly from ammonium sulfate used as chemical fertilizer.

On the other hand, the water quality of groundwaters of group B are Na-Cl type and intermediate type of Ca- HCO_3 and Ca- SO_4 or Na- HCO_3 and Ca- HCO_3 . The groundwater of Na-Cl type enriches extremely in Na^+ and Cl^- . The ratio of Na^+/Cl^- is very similar to that of seawater. It seems that the groundwater is partly mixing with seawater. The groundwater of intermediate type of Ca- HCO_3 and Ca- SO_4 has high concentration of Na^+ relative to Cl^- . Furthermore, both Mg^{2+} and Ca^{2+} are much higher in concentration, irrespective of low concentration of NO_3^- -N.

As the groundwaters were sampled from heavily populated area, the water quality of them may be responsible for domestic waste water. The groundwater of intermediate type of Na- HCO_3 and Ca- HCO_3 is characteristic of significantly lower concentration of main dissolved components. The groundwater is considered to be hardly affected by water pollution.