

<報文>

口蹄疫埋却地周辺水質調査について*

赤崎いずみ**・中山能久**・三坂淳一**・溝添光洋**・坂元勇太**・坂本祥子**・島田玲子**
 中村公生**・阿波野祥司**・山田亨**・津曲洋明**・福留智子**・萩平敦朗**・元明秀成**

キーワード ①口蹄疫埋却地 ②地下水 ③臭気 ④全有機炭素(TOC)

要 旨

平成22年4月に宮崎県で発生した口蹄疫では、約30万頭の家畜が殺処分・埋却され、埋却地周辺環境への影響が懸念された。埋却地が周辺地下水へ与える影響を確認するため、口蹄疫埋却地周辺水質調査を実施した。これまでの調査で、埋却地からの影響を受けていると推定された地点は4地点であった。調査開始当初は、下水のような臭気が強く、有機物量を示すTOCが高い値であった。また、水質は4地点とも大きく変動し、水質が悪化している時期と比較的良好な時期を繰り返しており、その変動は降水量に左右されていることがわかった。ただし、埋却から約2年経過後、水質は比較的良好な状態が継続しており、埋却地からの影響が落ち着いてきたものと考えられた。

1. はじめに

平成22年4月に宮崎県で発生した口蹄疫では、我が国においてこれまでに例のない規模となる約30万頭の家畜が殺処分・埋却された。最終的に埋却地は268地点、その総面積は約0.98km²（東京ドーム約20個分）にも及び、中には埋却地が集中した地域もあった。このようなことから、これらの埋却地周辺環境への影響が懸念されたため、県では、埋却直後から関係市町の協力を得ながら地下水等の定期モニタリング調査を実施（当初275地点）した。また、埋却地から地下水等への影響が疑われた場合には、当研究所で水質の詳細調査を行うこととした。これまでに、数地点において詳細調査を行い、この中で埋却地からの影響を受けていると推定された4地点については、継続して詳細調査を実施した。ここでは、その詳細調査の概要や水質の変動等について報告する。

2. 調査方法

2.1 調査地点概要

継続して詳細調査を実施した地点の概要を表1に示す。どの調査地点も埋却地から近く、高台にある埋却地の下手に位置する。

2.2 調査期間および調査頻度

2.2.1 地点A

表1 調査地点概要

| 調査地点 | 調査開始日 | 媒体 | 埋却規模 | 埋却地からの距離 |
|------|-----------|-----------|---------------|---|
| A | H22.7.8 | 湧水 | 牛 約1000頭 | 直線距離で約40m |
| B | H22.10.12 | 井戸水 | 牛 約50頭 | 直線距離で約80m |
| C | H23.7.2 | 井戸水 湧水 | 牛 約1000頭 | 井戸は直線距離で約150m 湧水1は直線距離で約90m 湧水2は直線距離で約60m |
| D | H23.10.7 | 湧水 | 牛・豚 約1000頭 | 直線距離で約100m |

平成22年7月～8月 1回/週

平成22年9月～平成23年12月 2回/月

平成24年1月～平成27年3月 1回/月

2.2.2 地点B

平成22年10月～11月 1回/週

平成22年12月～平成27年3月 1回/月

2.2.3 地点C

平成23年7月 1回/週

平成23年8月～平成27年3月 1回/月

2.2.4 地点D

平成23年10月 2回/月

平成23年11月～平成27年3月 1回/月

（湧水が出ていない期間は実施せず）

2.3 調査項目

*Investigation into quality of the water around foot-and-mouth disease burying place

**Izumi AKAZAKI, Yoshihisa NAKAYAMA, Junichi MISAKA, Mitsuhiro MIZOZOE, Yuta SAKAMOTO, Sachiko SAKAMOTO, Reiko SHIMADA, Kimio NAKAMURA, Shoji AWANO, Tohru YAMADA, Hiroaki TSUMAGARI, Tomoko FUKUDOME, Atsuroh HAGIHARA, Hidenari GANMYO (宮崎県衛生環境研究所) Miyazaki Prefectural Institute for Public Health and Environment

詳細調査を実施するにあたり、調査項目の選定を行った。

定期モニタリング調査では、飲用井戸の調査を想定し、水道水質基準の省略不可能項目（一般細菌、大腸菌、塩化物イオン、全有機炭素(TOC)、pH、臭気、色度、濁度、外観(味の代わり))に硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素と、使用された消毒剤（消石灰、ペルオキソー硫酸水素カリウム含有製剤）の影響をみるための項目（電気伝導率、カルシウムイオン、硫酸イオン）を加えた13項目とした。

詳細調査では前記の13項目にBOD、アンモニア性窒素、窒素含有量、りん含有量、揮発性有機化合物、ノルマルヘキサン抽出物質、金属類および溶存酸素(DO)を追加した。

3. 結果および考察

3.1 埋却地からの影響の有無の確認結果

3.1.1 地点Aの調査結果

調査地点（湧水）と埋却地の位置関係を図1に示す。ここは、埋却から約1カ月半経過した頃に、埋却地の近くから異臭のする水が湧き出ていると住民から情報が寄せられた地点である。調査結果の一部を表2に示す。

湧水は臭気が強く下水のような腐敗臭がした。その他、一般細菌数、大腸菌、有機物量を示すTOCおよび濁度が水道水質基準を超えて検出された。消毒の影響を確認するために測定した電気伝導率、カルシウムイオンおよび硫酸イオンは特段高い値は示さず、この湧水の過去のデータがないため影響の有無については判断できなかった。この13項目以外については、アンモニア性窒素、マンガンおよび鉄がそれぞれ2mg/L検出され、埋却による影響により検出された可能性も考えられた。また、検体が白濁していたので、埋却した家畜の脂肪分等が含まれている可能性を考え、ノルマルヘキサン抽出物質を測定したが検出されなかった。その後の調査で、白濁物質は生物相の塊であると推察された。その他、酢酸が検出され、有機物の分解産物として検出された可能性も示唆された¹⁾。また、臭気が強く確認されたため、揮発性有機化合物を測定したところトルエンが検出されたが、この原因は不明であった。

これらの調査結果から、この湧水の特徴は有機物量を示すTOCが高く、さらに下水のような臭気が強いことが挙げられる。湧水は埋却地から直線距離で約40m、高台にある埋却地の下手に位置しており、湧水と埋却地との位置関係やその水質の特徴から、この湧水は埋却地からの影響を受けているものと推定された。なお、この湧水への影響を確認した直後、近隣の井戸水等への影響についても調査したが、影響は確認されなかった。

3.1.2 地点Bの調査結果

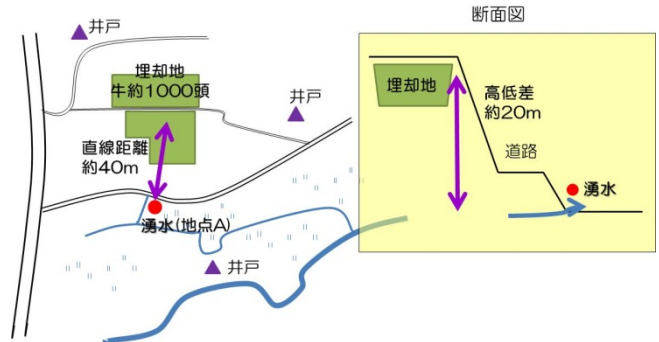


図1 地点Aの位置図（●は調査地点を示す）

表2 地点Aの調査結果

| 項目 採水日 | 一般細菌数 | 大腸菌 | 硝酸態窒素 及び 亜硝酸態窒素 | 塩化物 イオン | TOC | pH | 臭気 |
|------------|---------------|-----------|-----------------------|------------|------|---------|-----------|
| | | | mg/L | mg/L | mg/L | | |
| H22.7.8 | 740 | 検出 | 2.3 | 15 | 6.5 | 6.0 | 下水臭 |
| 水道水質 基準 | 100個 以下/ml | 検出 しない | 10以下 | 200以下 | 3以下 | 5.8-8.6 | 異常 でない |

| 項目 採水日 | 色度 | 濁度 | 外観 | 電気 伝導率 | カルシウ ムイオン | 硫酸 イオン |
|------------|-----|-----|-----------|-----------|--------------|-----------|
| | | | | μS/cm | mg/L | mg/L |
| H22.7.8 | <1 | 25 | 白濁 | 210 | 14 | 10 |
| 水道水質 基準 | 5以下 | 2以下 | 異常 でない | - | - | - |



図2 地点Bの位置図（●は調査地点を示す）

表3 地点Bの調査結果

| 項目 採水日 | 一般細菌数 | 大腸菌 | 硝酸態窒素 及び 亜硝酸態窒素 | 塩化物 イオン | TOC | pH | 臭気 |
|------------|---------------|-----------|-----------------------|------------|------|---------|-----------------|
| | | | mg/L | mg/L | mg/L | | |
| H22.10.12 | 1,000 | 検出 しない | <0.1 | 11 | 5.6 | 6.0 | 異臭あり (強くにおう) |
| 水道水質 基準 | 100個 以下/ml | 検出 しない | 10以下 | 200以下 | 3以下 | 5.8-8.6 | 異常 でない |

| 項目 採水日 | 色度 | 濁度 | 外観 | 電気 伝導率 | カルシウ ムイオン | 硫酸 イオン |
|------------|-----|-----|-----------|-----------|--------------|-----------|
| | | | | μS/cm | mg/L | mg/L |
| H22.10.12 | <1 | 9.5 | 異常なし | 190 | 15 | 33 |
| 水道水質 基準 | 5以下 | 2以下 | 異常 でない | - | - | - |

調査地点と埋却地の位置関係を図2に示す。ここは、定期モニタリング調査を実施している井戸であり、埋却から約5カ月経過後、所有者から突然異臭が確認されたと情

報が寄せられた地点である。調査結果の一部を表3に示す。

井戸水から臭気が強く確認された。その他、一般細菌数、有機物量を示すTOCおよび濁度が水道水質基準を超えて検出された。埋却直後に実施した定期モニタリング調査では、pHが低いことを除きすべて基準値内であり、埋却後に何らかの汚染で水質が悪化していることが確認された。消毒の影響を確認する電気伝導率、カルシウムイオンおよび硫酸イオンの内、電気伝導率およびカルシウムイオンは埋却直後の定期モニタリング調査のデータと比較すると高めの値で検出された。13項目以外については、鉄、マンガンおよび酢酸が検出された。

これらの調査結果から、この井戸水もTOCが高く、臭気強いことが特徴として挙げられる。井戸水は埋却地から直線距離で約80m、高台にある埋却地の下手に位置しており、井戸水と埋却地との位置関係やその水質の特徴から、この井戸水は埋却地からの影響を受けているものと推定された。なお、この井戸水への影響を確認した直後、近隣の井戸水への影響についても調査したが、影響は確認されなかった。

3.1.3 地点Cの調査結果

調査地点と埋却地の位置関係を図3に示す。ここは、埋却から約1年経過後に井戸水から異臭が確認され濁りがあると情報が寄せられた地点である。また、同時に高台にある埋却地の法面から赤さび色の水が2カ所から湧き出しており、この湧水もあわせて調査を実施した。調査結果の一部を表4に示す。

井戸水から土臭が確認された。TOCは水道水質基準以下であったが、黄色い着色がみられ、一般細菌数、大腸菌、色度および濁度が基準を超えて検出された。13項目以外では、鉄およびマンガンが高く、D0が1.4mg/Lと低い値であった。湧水1および湧水2ともに臭気は確認されず、TOCは湧水1のみが基準を超過した。湧水1、湧水2ともに黄色い着色がみられ、一般細菌数、大腸菌、色度および濁度が基準を超えて検出された。13項目以外では、アンモニア性窒素、鉄およびマンガンが高い濃度で検出された。

この地点の井戸水および湧水は、地点Aの湧水および地点Bの井戸水と比較し強い臭気は確認されず、TOCも高い値は示さなかった。ただし、高台にある埋却地の下手に位置し、埋却前には着色や臭気は確認されていなかったことから、埋却地の影響を否定することは困難であった。なお、この周辺には他の井戸がないことを確認している。

3.1.4 地点Dの調査結果

調査地点と埋却地の位置関係を図4に示す。ここは、埋却から約1年5カ月経過後に埋却地の近くから異臭のする水が湧き出ていると住民から情報が寄せられた地点である。調査結果の一部を表5に示す。

湧水は、臭気が強く下水のような腐敗臭がした。その

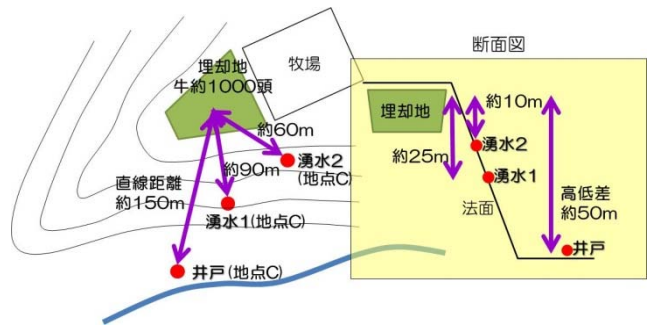


図3 地点Cの位置図 (●は調査地点を示す)

表4 地点Cの調査結果

| 調査地点 | 項目 採水日 | 一般細菌数 | 大腸菌 | 硝酸態窒素 及び 亜硝酸態窒素 | 塩化物イオン | TOC | pH |
|--------|-----------|-----------|-------|-----------------------|--------|------|---------|
| | | | | mg/L | mg/L | mg/L | |
| 井戸 | H23.7.2 | 3,500 | 検出 | <0.1 | 15 | 1.9 | 6.4 |
| 湧水1 | H23.7.2 | 34,000 | 検出 | 0.1 | 21 | 4.0 | 7.8 |
| 湧水2 | H23.7.2 | 2,800 | 検出 | 0.5 | 11 | 1.1 | 7.6 |
| 水道水質基準 | | 100個以下/ml | 検出しない | 10以下 | 200以下 | 3以下 | 5.8-8.6 |

| 調査地点 | 臭気 | 色度 | 濁度 | 外観 | 電気伝導率 | カルシウムイオン | 硫酸イオン |
|--------|-------|-----|-----|-------|-------|----------|-------|
| | | | | | μS/cm | mg/L | mg/L |
| 井戸 | 土臭 | 64 | 12 | 黄色 | 220 | 18 | 8.9 |
| 湧水1 | 異常なし | 19 | 4.8 | 微黄色 | 600 | 47 | 2.6 |
| 湧水2 | 異常なし | 45 | 6.5 | 黄色 | 290 | 20 | 4.6 |
| 水道水質基準 | 異常でない | 5以下 | 2以下 | 異常でない | - | - | - |

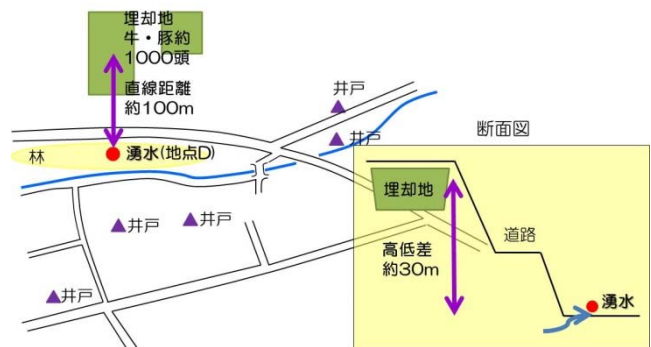


図4 地点Dの位置図 (●は調査地点を示す)

表5 地点Dの調査結果

| 項目 採水日 | 一般細菌数 | 大腸菌 | 硝酸態窒素 及び 亜硝酸態窒素 | 塩化物イオン | TOC | pH | 臭気 |
|-----------|-----------|-------|-----------------------|--------|------|---------|-------|
| | | | mg/L | mg/L | mg/L | | |
| H23.10.7 | 660 | 検出しない | 0.2 | 20 | 38 | 6.3 | 下水臭 |
| 水道水質基準 | 100個以下/ml | 検出しない | 10以下 | 200以下 | 3以下 | 5.8-8.6 | 異常でない |

| 項目 採水日 | 色度 | 濁度 | 外観 | 電気伝導率 | カルシウムイオン | 硫酸イオン |
|-----------|-----|-----|---------|-------|----------|-------|
| | | | | μS/cm | mg/L | mg/L |
| H23.10.7 | 5 | 5.4 | 微白濁物質あり | 500 | 32 | 14 |
| 水道水質基準 | 5以下 | 2以下 | 異常でない | - | - | - |

他、白濁物質が確認され、一般細菌数、有機物量を示すTOCおよび濁度が水道水質基準を超えて検出された。13項目以外は、BOD、アンモニア性窒素、鉄、マンガン、酢酸およびトルエンが高い濃度で検出された。

これらの調査結果から、この湧水はTOCが高く、下水のような臭気強いことが特徴として挙げられる。湧水は埋却地から直線距離で約100m、高台にある埋却地の下手に位置しており、湧水と埋却地との位置関係やその水質の特徴から、この湧水は埋却地からの影響を受けているものと推定された。なお、この湧水への影響を確認した直後、近隣の井戸水への影響についても調査したが、影響は確認されなかった。

3.2 水質の変動

地点AからD（Cについては井戸水のみ）のTOCの経時変化を図5に示す。いずれの地点も調査開始当初はTOCが大きく変動した。TOCが高い時は強い臭気確認され、TOCが低い時には臭気も弱くなる傾向にあった。調査開始後1年から2年経過すると、TOCはおおむね低い値で推移し、臭気については確認されないか、かすかに感じられる程度となった。

最も調査回数の多い地点Aを例に、DOおよび一般細菌数の経時変化をTOCとあわせて図6に示す。一般細菌数は対数表示で示した。一般細菌数およびDOはどちらも調査開始から大きく変動を繰り返している。TOCは調査開始から1年半経過後はおおむね低い値で推移しているものの若干高くなる時があり、わずかにTOCが高くなった時には一般細菌数も多く検出された。TOCが高くなると一般細菌が増殖し、それに伴いDOが消費され低くなるということを繰り返している。ただし、調査開始から約3年経過後は、一般細菌数およびDOの変動の幅は減少傾向にあった。

地点Aの窒素およびりんの変時変化を図7に示す。窒素については、調査開始から大きく変動しており、中でもアンモニア性窒素はTOCが高い時に検出され、アンモニア性窒素が高い時には硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素は低くなる傾向にあった。りんについても調査開始から大きく変動しており、アンモニア性窒素が検出される時に同様に検出される傾向にあった。

水質の変動をみると、いずれの地点も水質が悪化している時期と比較的水質が良好な時期を繰り返していることがわかった。地点AおよびDのTOCと、この地域における

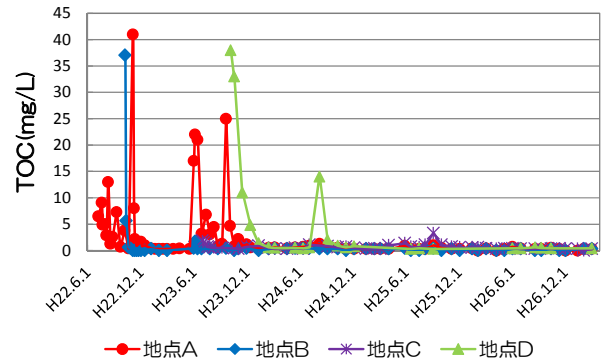


図5 TOCの経時変化

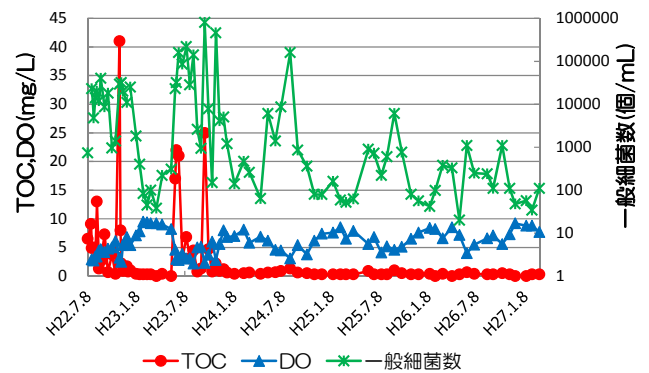


図6 地点AのTOC, DOおよび一般細菌数の経時変化

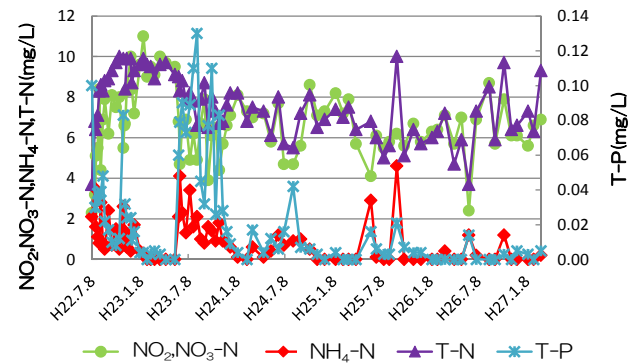


図7 地点Aの窒素およびりんの経時変化

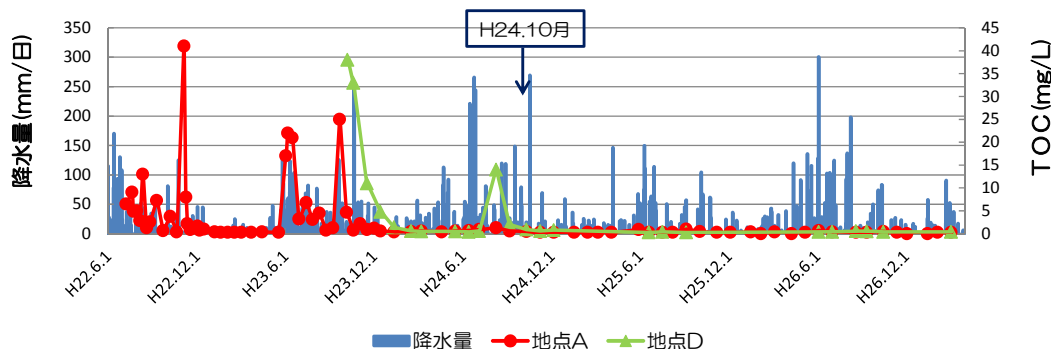


図8 地点A, DのTOCおよび一日降水量の経時変化

一日降水量の経時変化を図8に示す。地点A, Dともに降水量が多い時にTOCが高くなる傾向にあった。TOCと同様臭気についても、豊水期の夏場には強い臭気が確認され、渇水期の冬場には臭気が確認されなかった。これらのことから、TOCおよび臭気は降水量に大きく影響を受けていると考えられた。ただし、埋却後約2年が経過した平成24年10月以降は、夏場に降水量が多くなると臭気が確認されるもののその臭気は比較的弱く、また、年間を通してTOCは低い値で推移しており、埋却地からの影響が落ち着いてきたものと考えられた。

一方、埋却における動物の分解は、温度や湿度、埋却の深さや土壌の種類など様々な要因に左右され、分解が長期にわたるといふ報告もある²⁾。今回の埋却地においても埋却した家畜がまだまだ完全分解されていない可能性もあり、今後も周辺水質について注視していく必要があると考えられる。

3.3 指標項目の探索

海外における家畜埋却処分に関する調査研究によると、埋却した家畜浸出液の平均値としてTOCが71,000mg/L、アンモニア性窒素が12,600mg/L、塩化物イオンが2,600mg/L、ナトリウムが1,800mg/L、カリウムが2,300mg/L、りんが1,500mg/L、硫黄が1,200mg/L検出されたという報告がある³⁾。今回調査した4地点のデータは、それらの値と比較するといずれの項目もかなり低い値であった。今回、口蹄疫の埋却地では埋却溝にブルーシートが設置されており、家畜の体液や分解液等の浸出液は、そのまま流出しにくい構造となっているが、何らかの影響で一部流出した浸出液が地下水や雨水で希釈され、さらに土壌等に吸着され、TOC等の濃度が薄くなっているものと推察された。そこで、埋却地からの影響を受けているかの判断を補完するため、TOCおよび下水のような臭気以外に埋却地の影響を現す指標項目がないか探索を試みた。

指標項目の探索のため、これまでの調査で得られたデータを用い各項目間の相関を求めた。TOCと各項目との相関係数を表6に示す。TOCとの強い相関がみられたのは酢酸であった(BODを除く)。TOCと酢酸の相関を図9に示す。TOCが高い時には酢酸も高くなる傾向にあることがわかった。有機物の嫌気性分解では分解途中に酢酸が生成されることもあり¹⁾、酢酸は、埋却された家畜の分解により検出された可能性が高いと考えられた。

また、トルエン、マンガン、鉄、アンモニア性窒素、電気伝導率およびりんもTOCとの相関がみられた。トルエンは、地点Aおよび地点Dの湧水から測定開始後約2年間検出された。トルエンについては、調査した2地点から検出されており、またTOCとの相関も高いことから埋却地由来と考えられたが、その発生経路は不明であり、今回の調査で検出されたトルエンは公共用水域における要監視項

表6 TOCとの相関係数

| 項目 | 相関係数 | 項目 | 相関係数 |
|----------------------|--------|--|--------|
| 1 酢酸 | 0.946 | 13 Mg | 0.259 |
| 2 BOD | 0.804 | 14 K | 0.234 |
| 3 トルエン | 0.536 | 15 T-N | 0.189 |
| 4 Mn | 0.526 | 16 Na | 0.187 |
| 5 Fe | 0.514 | 17 濁度 | 0.173 |
| 6 NH ₄ -N | 0.435 | 18 SO ₄ ²⁻ | -0.145 |
| 7 電気伝導率 | 0.408 | 19 S | -0.099 |
| 8 T-P | 0.406 | 20 NO ₂ ,NO ₃ -N | -0.093 |
| 9 Cl ⁻ | 0.333 | 21 色度 | 0.082 |
| 10 Ca | 0.302 | 22 Al | 0.079 |
| 11 一般細菌数 | 0.299 | 23 pH | 0.036 |
| 12 DO | -0.286 | 24 Si | -0.035 |

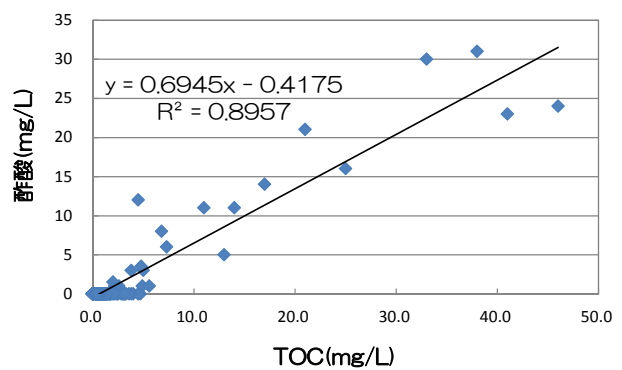


図9 TOCと酢酸の相関

目の指針値(トルエン 0.6mg/L以下)と比較し低い濃度であった。

マンガンおよび鉄については、埋却地から流れ出ている可能性も考えられるが、地点Cおよび地点Dにおいては地点Aおよび地点Bと比較し高い濃度で検出されており、検出濃度に地域差がみられることから、埋却地周辺土壌の影響を受けている可能性が考えられた。

アンモニア性窒素およびりんについては、埋却した家畜の分解により高い濃度で検出されることが報告されている^{2)~5)}が、畜産関係の排水や堆肥等による影響でも検出されるため、その影響を排除できない。

以上のことから、TOCおよび下水のような臭気に加え酢酸が埋却地の影響を現す指標項目として有効であると考えられた。

4. まとめ

口蹄疫埋却地周辺の水質調査を実施したところ次のことが明らかになった。

- 1) 口蹄疫の埋却地が地下水等に影響を及ぼしていると推定される地点が4地点あった。ただし、その影響は局所的であった。
- 2) 水質の変動が大きく、埋却地が周辺水質に与える影響は降水量に依存していた。

3) 埋却地の影響を現す指標項目としては、TOC、下水のような臭気に加え、酢酸が有効であると考えられた。現在は、埋却地が周辺水質に与える影響は落ち着いており水質が安定している。今後、水質が悪化するとは考えにくいですが、降雨量の多い時期には臭気等が現れないか調査することが望ましいと考えられる。

謝辞

本研究は、「埋却地周辺地下水等調査事業」の一環として行われました。調査にご協力いただいた関係町役場、保健所、農林振興局の皆様に深謝いたします。

5. 参考文献

- 1) 須藤隆一：水環境保全のための生物学（第3版）
pp. 141-165, 産業用水調査会, 東京, 2009
- 2) National Agricultural Biosecurity Center Consortium USDA APHIS Cooperative Agreement Project Carcass Disposal Working Group : Carcass Disposal: A Comprehensive Review , Chapter 1, pp. 43-53, 2004
- 3) Dyan Lindsay Pratt : Environmental Impact of Livestock Mortalities Burial. Master of Science University of Saskatchewan, Saskatoon, SK, 2009
- 4) Qi Yuan, Daniel D. Snow, Shannon L. Bartelt-Hunt : Potential water quality impacts originating from land burial of cattle carcasses. Science of The Total Environment, **456-457**, pp. 246-253, 2013
- 5) 関戸知雄, 土手裕, 森田哲夫, 稲垣仁根, 鈴木祥広 : 模擬カラム実験による家畜埋却処分地からの初期浸出液性状に関する研究. 第22回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, pp. 423-424, 2011