

# 神栖町地下水汚染解析

20030155 周 慧萍 200335245 佐藤 健一郎 200430152 宮本 健太郎

指導教官 羽田野 祐子

## 概要

本稿では、平成 15 年 3 月に茨城県神栖町で起きた地下水汚染事件をとりあげ、地下水汚染解析を行い、汚染物質の移行と汚染源の推測、考察を行った。現段階までの調査結果から、調査の経緯、汚染原因、健康被害状況などを調べて、事件の背景を明確にし、得られた計測データより、最も被害があった A 地区の汚染源であると有力視されている箇所について検討を行った。その結果、単一の汚染源ではなく、複数の汚染源が存在するという結論に至った。

## 1 はじめに

### 1.1 目的

地下水汚染事件において、汚染物質の移行、汚染源、汚染範囲、汚染原因を予測、解析することは非常に重要になってくる。1 次、2 次被害の拡大防止、汚染地区の浄化などの対策はこのような解析に基づいて行われるからである。地下水汚染などの環境汚染の研究は 1950 年代から盛んに行なわれており、特に比較的狭い範囲での汚染物質の挙動については現在までにかなりの成功をおさめている。しかし長期かつ広域にわたる汚染に関しては、観測データの不足から予測が困難である。何故なら、環境汚染に関する広域・長期観測データが増えるにつれ従来のモデルではうまく表せない未知の現象があることがわかり、これらの現象は通常の移流拡散方程式ではあまりうまく表せない。そのためまったく新しいタイプの移流拡散方程式が提案され、実測データがより正確に再現されるようになってきた。

本演習では、身近な事例を取り上げて、実際に地下水汚染解析を行うことを目的とする。事例として、平成 15 年 3 月に茨城県神栖町で起きた旧日本軍製の毒ガス兵器が汚染原因が考えられる地下水汚染事件を取り上げる。しかし、本事例は未だ調査中であり、現段

階で全てが解明されているわけではない。環境省による調査が行われているが、今も汚染源の特定には至っていない。そこで、現段階で明らかになっているデータより、以下の手順で汚染源の解析、検討を行う。

1. 現段階までの調査結果から、調査の経緯、汚染原因、健康被害状況などを調べて、事件の背景を明確にする
2. 得られた計測データより、土壌及び地下水中の汚染物質分布図、水頭及び地下水流の流線図を作成する
3. 作成した図より、現行調査における汚染源推定の見解をふまえ、汚染源の解析、検討を行う

### 1.2 構成

本稿の構成として、第 2 節では事件の概要を、第 3,4 節では地下水汚染解析を行った結果と考察を説明し、第 5 節で結論をまとめる。

## 2 神栖町ヒ素汚染事件背景

### 2.1 事件の概要

茨城県の東南部の鹿島地域に位置する、人口約 44000 人の神栖町において、平成 15 年 3 月頃から神経症状等の被害が顕著化した。調査が進むにつれ、この被害は、通常自然界には存在しない有機ヒ素化合物であるジフェニルアルシン化合物を含む地下水を飲用したことで生じた水質汚染事件であることが判明した。検出されたジフェニルアルシン化合物は、旧日本軍が製造した嘔吐剤（くしゃみ剤）と呼ばれる毒ガスの成分であるジフェニルシアノアルシン及びジフェニルクロロアルシンの分解生成物であると見られ、過去に当該嘔吐剤が存在していたことが推定された。その後、原因究明のため、レーダー探査、磁気探査、ボーリング探査、水質検査を行った結果、汚染源は、飲用井戸から環境基準の 450 倍にあたる 4.5mg/リットルの高濃度ヒ素が検出された地区<sup>1</sup>と複数の井戸から環境基準の 18 ~ 43 倍にあたる高濃度ヒ素が検出された A 井戸から西に約 1 km に位置する地区<sup>2</sup>の周囲だと特定されたが、詳細な汚染源の位置は特定されておらず、化学弾、化学剤等は発見されていない。



図 1: 神栖町の位置

## 3 地下水汚染解析 1

現在、汚染源として有力なのが A 井戸から南東へ 90m ほど離れた No.124 地点周辺である。環境省による調査は、現段階では汚染範囲の把握に留まっており、

<sup>1</sup>この井戸を A 井戸、この地区を A 地区と呼ぶ

<sup>2</sup>この地区を B 地区と呼ぶ

汚染源がどこか、また汚染源が単独なのか複数なのか、まだ確証は得られていない。

解析を行うにあたって、現在の汚染分布により今後どのように汚染が広がっていくか、のシミュレーションも行うのが妥当であると思われるが、シミュレーションに用いるパラメータがまだ測定されておらず、困難である。そこで我々は以下の点において解析を試みた。

- No.124 は今回の事件の汚染源であるのか
- A 井戸周辺の汚染被害も No.124 が原因なのか

解析するにあたり、以下の考察を行った。

1. 土壌濃度の考察
2. 地下水流の流線の考察
3. 濃度データによる推測との比較
4. これらを総合した考察

範囲は A 地区南北約 105m 東西約 155m、深度 0m-30m であり、便宜上 A 井戸近傍を A<sub>1</sub> 地区、No.124 近傍を A<sub>2</sub> 地区とした。

今回使用したデータは、環境省によるボーリング調査の結果である。

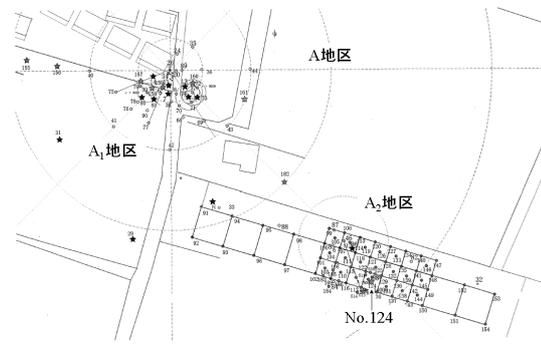


図 2: A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> 地区, No.124 の位置図

### 3.1 地下水汚染の拡散

汚染物質の広がりとは図 3 のようになると考えられる。汚染物質が流れ出した場合、地中を拡散しながら、地下水の流れに乗って広がって行く。DPAA は水よりも重いため、下方へと広がっていく。汚染の進行方向と各深度での濃度分布は大まかに図のようになると考えられる

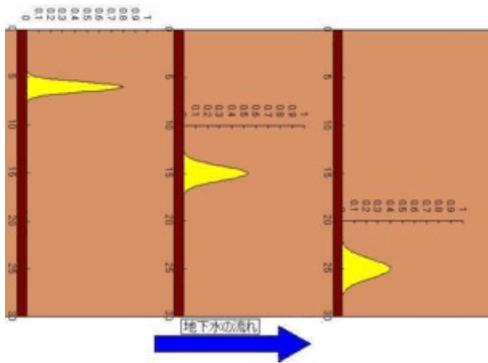


図 3: 地下汚染の広がり

### 3.2 土壌濃度

図 4 は、地下 2.5m における土壌中 DPAA 濃度である。

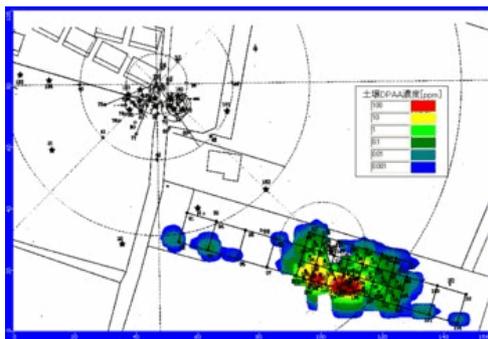


図 4: 地下 2.5m における土壌中 DPAA 濃度

地下水面は地下約 4m にあり、図 4 はそれよりも上の土壌の汚染の様子を表している。A<sub>2</sub> 地区では土壌汚染が広がっているが、A<sub>1</sub> 地区では汚染は見られない。A<sub>1</sub> 地区では地下水面よりも下において土壌汚染が広がっている。つまり、A<sub>1</sub> 地区の汚染は外部から地下水に乗って流れてきたものであると言える。A<sub>2</sub> 地区、特に No.124 地点では、地下水面の上下に対して汚染が広がっていることから、汚染は地下水を経由したのではなく、土壌中に汚染物質があったと推定される。したがって、我々は No.124 を汚染源の一つと考え、この近傍に何らかの汚染物質、本事例においては、旧軍のくしゃみ剤が埋まっているのではないかと考える。さらに、A<sub>1</sub> 地区の汚染が No.124 によるものなのか、を検討する。

### 3.3 地下水流の流線

図 5 に MODFLOW で求めた等水頭線および地下水流の流線を示す。データ点の不足により、所々流れが収束してしまっているが、これによると、大まかに地下水は南東から北西に向かう流れであることがわかる。

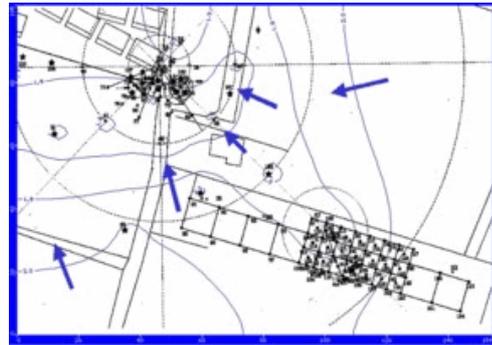


図 5: 水頭および地下水流の流線

### 3.4 地下水中 DPAA 濃度データからの推定

図 6 に地下 25m 地点での地下水 DPAA 濃度を示す。これによると、汚染は No.124 から北東に向かって進んでいると考えられる。この結果は 3.3 節とも矛盾せず、したがって汚染範囲は南東から北西に向かって広がっていると考えられる。

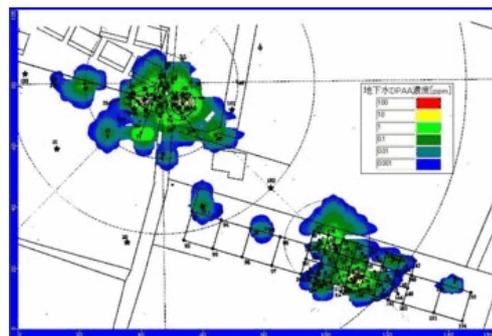


図 6: 地下 25m における地下水中 DPAA 濃度

次に A 地区の各深度での地下水中 DPAA 濃度の離散分布図を示す。

ここで No.124 を汚染源とし、地下水の流れにより A<sub>1</sub> 地区へ汚染が広がったと仮定する。A<sub>1</sub> 地区および A<sub>2</sub> 地区では高濃度の DPAA が検出されているのだ

が,2 点を結ぶ線上では,ほとんど DPAA は検出されていない事がある。もし, $A_2$  地区から,汚染が広がったのならば,その中間地点でも,DPAA は検出されるはずである。さらに 25m~30m の地下水中 DPAA 濃度分布をみると, $A_1$  地区と  $A_2$  地区では,ほぼ同等の高濃度 DPAA が検出されている。上記の仮定から考えると, $A_1$  地区では,もっと低い値の DPAA が検出されるはずである。

以上より,矛盾が生じ, $A_1$  地区の汚染源が No.124 と考えることは難しい。

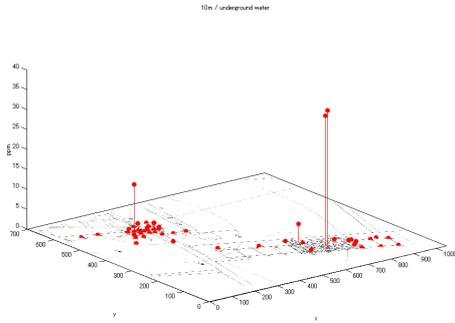


図 7: 地下 10m における地下水中 DPAA 濃度

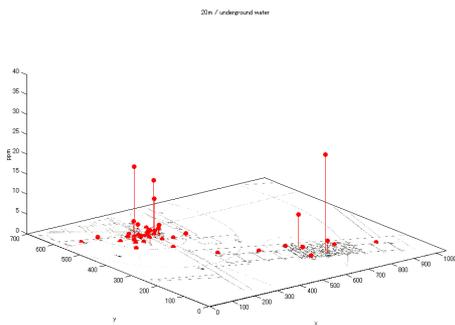


図 8: 地下 20m における地下水中 DPAA 濃度

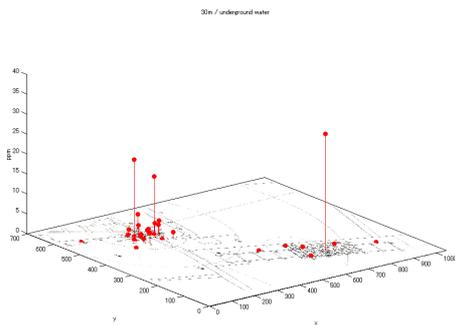


図 9: 地下 30m における地下水中 DPAA 濃度

## 4 地下水汚染解析 2

前節の検討結果より, $A_1$  地区の汚染源が No.124 と考えることは難しい。そこで, $A_1$  地区と  $A_2$  地区それぞれに対して,狭い範囲で DPAA 濃度分布と水頭及び地下水流データより汚染解析を行うことにする。今回は  $A_1$  地区についてのみ検討を行う。

### 4.1 DPAA 濃度データからの推定

図 7~9 より,No.37,39,124 の三つの高濃度地点があることがわかる。これら 3 点の地下水中 DPAA 濃度を表 1 に示す。また,No.37,39 の周辺の濃度をそれぞれ表 2, 3 に示す。

表 1: No.37,39,124 の地下水中 DPAA 濃度 [ppm]

観測井 No.	DPAA 濃度 [ppm]					
	6m	10m	15m	20m	25m	30m
37	/	1.393	7.432	13.256	11.962	/
39	2.103	12.283	15.545	17.950	18.609	19.635
124	110.840	34.651	34.556	32.334	3.055	14.328

表 2: No.37 周辺の地下水中 DPAA 濃度 [ppm]

観測井 No.	DPAA 濃度 [ppm]					
	6m	10m	15m	20m	25m	30m
13	/	0.001	0.001	0.004	0.010	/
71	0.008	0.912	2.626	2.689	2.635	3.637
72	0.022	1.167	5.074	8.333	11.484	13.921
73	0.011	0.012	0.080	1.409	2.017	2.234
74	0.017	0.015	0.013	0.036	0.053	0.054
160	0.015	0.013	0.015	0.193	0.828	0.559

た、濃度が高くなる深さが No.39 の方が No.14 よりも浅いことから、汚染の流れは No.39→ No.14 であると考えられる。No.14 において、地下水に濃度が現れない理由については、No.14 地点の土壌が他の地点よりも吸着性の高い土壌である、あるいは何らかの理由により吸着力が強い状態になっている、等が推測されるが、現時点で得られるデータからそれを裏付けることができず、また否定することもできないため、不明である。

表 3: No.39 周辺の地下水中 DPAA 濃度 [ppm]

観測井 No.	DPAA 濃度 [ppm]					
	6m	10m	15m	20m	25m	30m
14	/	0.027	0.016	0.034	0.363	1.158
78	0.004	0.002	0.002	0.003	0.006	0.078
79	0.080	0.085	0.147	0.223	0.369	0.653
80	0.003	0.003	0.002	0.003	0.005	0.010
81	0.001	0.003	0.213	0.699	0.892	1.060
158	0.002	0.017	0.016	0.024	0.019	0.024

以上の推定より汚染方向を図 10 に示す。

表 4: No.39 周囲の土壌中 DPAA 濃度 [ppm]

観測井 No.	DPAA 濃度 [ppm]			
	15.5m	20.5m	25.5m	31.5m
14	0.002	1.263	6.34	0.073
80	0	0.029	0.107	3.392
81	0	0.023	0.102	3.814
157	0	0.779	2.308	/
158	0	0.062	0.107	1.545
159	0	0.018	12.291	0.835

表 2 によると No.37 を取り囲む調査地点のうち、高濃度がでているのは No.37, No.71, No.72 の 3 地点であり、他の地点の濃度はさほど高くない。また、濃度は No.37>No.71, No.37>No.72 であり、最高濃度になる深さが No.37 が 20m なのに対して No.71, 72 は 30m である。したがって、汚染の流れは No.37→No.71, No.37→No.72 であると思われる。

表 3 を見ると、No.39 周囲の濃度はさほど高くなく、No.39 だけ突出している。この理由を考えるにあたって、我々は土壌中 DPAA 濃度に注目した。No.39 周囲の土壌中 DPAA 濃度を表 4 に示す。

表 4 によると、地下水には濃度が表れていなかった No.14 で土壌中に高濃度 DPAA が検出されている。ま

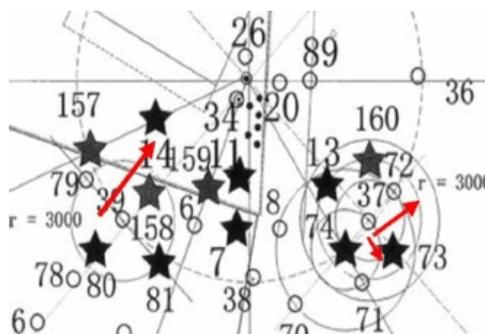


図 10: 濃度データによる汚染方向の推定

## 4.2 水頭データによる推定

A<sub>1</sub> 地区の水頭データを図 11 に示す.



図 11: A<sub>1</sub> 地区における水頭

図 11 によると, No.37→No.71, No.37→No.72 および No.39→No.14 に向かう地下水の流れが確認でき, 前小節の結果と一致する.

## 4.3 汚染源推定

4.2 節の結果から, No.39 周辺の汚染の進行方向は No.80,81 から No.14 方向であるが, No.80,81 とともに, 土壤地下 31.5m 地点を除き, 地下水および土壤に DPAA はほとんど検出されておらず, 汚染源は No.124 のみであると考え, そこから DPAA が流れていったと考えるとつじつまが合わない. また, 図??, 表 5 によると, No.124 から 2-3m ほど離れただけで総ヒ素濃度が 1/10 程度にまで低下している. A<sub>1</sub> 地区の高濃度汚染地点でさえ, 濃度は No.124 の 1/10 程度のオーダーである.

したがって, 我々は A<sub>1</sub> 地区と A<sub>2</sub> 地区の汚染は別の汚染源によるものである, と考える.

前小節より, 流れは 74→37→72, 80→39→14 と考えられるが, 74,80 とともに地下水中に DPAA がほぼ検出されていない. したがって, 74-37, 80-39 間に汚染源があるものと思われる. No.74-37-72, 80-39-14 の深度別濃度分布を図 12,13 に示す.

表 5: No.124 周辺の地下水中総ヒ素濃度 [ppm]

観測井 No.	総ヒ素濃度 [ppm]	
	6m	10m
121	0.688	0.913
122	1.739	3.902
123	60.098	56.839
124	116.689	124.057
125	19.469	15.005
128	7.536	6.006
129	14.981	15.373
130	1.705	2.669

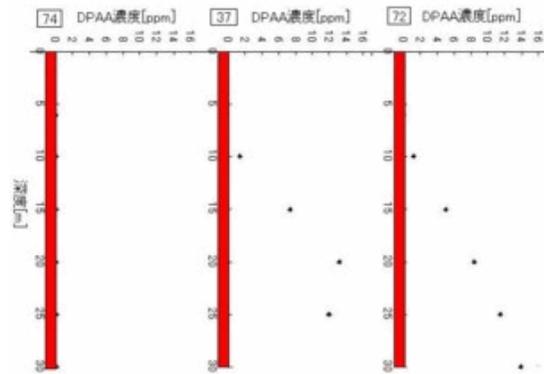


図 12: No.74-37-72 の深度別濃度分布

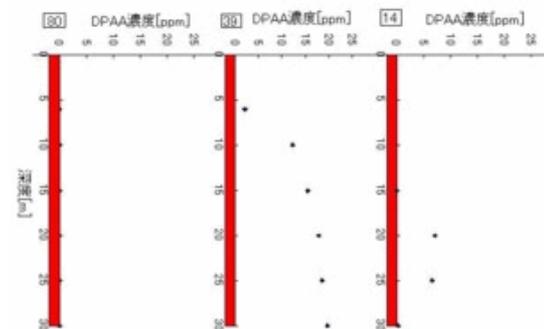


図 13: No.80-39-14 の深度別濃度分布

以上より A<sub>1</sub> 地区の汚染源推定位置を図 14 に示す。

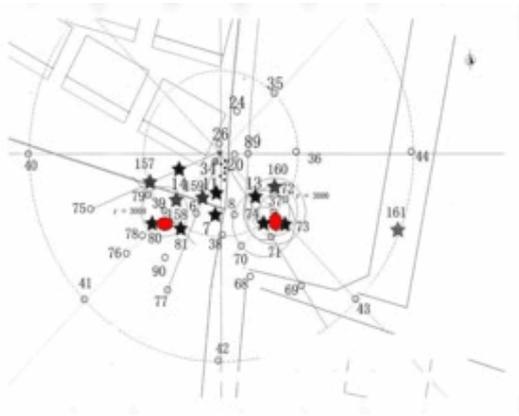


図 14: A<sub>1</sub> 地区汚染源推定位置

ただ、前述したように、何故 No.14 地点では地下水中に DPAA があまり検出されず、土壤中に検出されているのかが不明なため、80-39 間は 74-37 間よりも信頼性が低い。

#### 4.4 地質からの考察

ここで、3.3 節の A<sub>1</sub> 地区の汚染は外部から地下水に乗って流れてきたものである、という主張と 4.3 節との関係について述べる。

地質断面図によると、A<sub>1</sub> 地区の表層部分が砂層であるのに対し、A<sub>2</sub> 地区の表層部分は粘性土が多く分布している。砂と粘性土では、透水係数が 1/1000 程度のオーダーで異なり、粘性土は砂に比べて圧倒的に水を通さない。したがって、我々は以下のように考える。

A<sub>2</sub> 地区は表層に粘性土層があるため、そこに埋められた部分はあまり流出せず、60 年弱経過したであろう今も、まとまった量がそこに残っている。しかし、A<sub>1</sub> 地区は砂層であるために流れていってしまい、「汚染源」と呼べるほどのまとまった量が存在する箇所がなくなってしまっている。したがって、A<sub>1</sub> 地区の表層付近では汚染が検出されなかった。

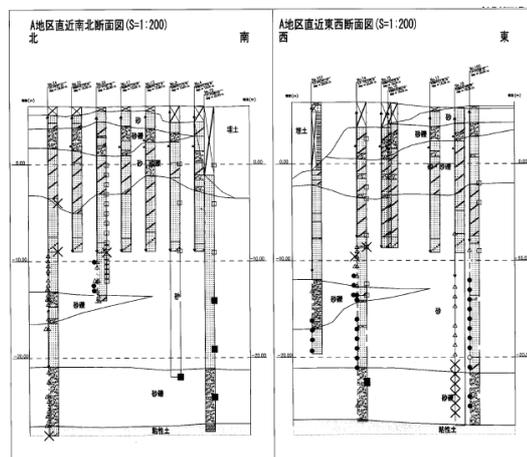


図 15: A<sub>1</sub> 地区の地層断面図

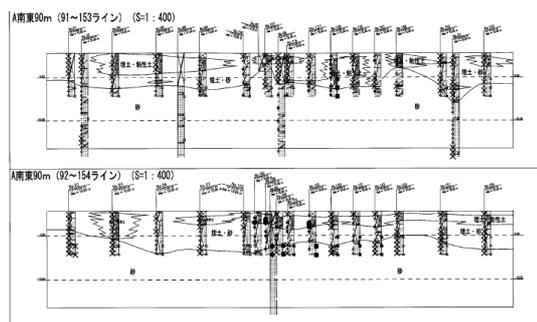


図 16: A<sub>2</sub> 地区の地層断面図

## 5 終わりに

### 5.1 考察と結論

以上より今回の地下水汚染解析についてまとめる.

- 土壌中の DPAA 濃度分布と地下水面の位置から判断し, 少なくとも, No.124 は  $A_2$  地区の汚染源の一つである.
- 地下水の流れの方向, 濃度の分布のどちらも汚染の進行方向は南東から北西である.
- 濃度分布から考えて, No.124 は  $A_1$  地区の汚染原因とは考えにくい
- $A_1$  地区の汚染と  $A_2$  地区の汚染は, 別の汚染源によるものである.
- $A_1$  地区の汚染源として, 2 点を提案した.

### 5.2 リスク工学との関連性

今回取り上げた神栖町の事例と同様に, 旧軍の毒ガス兵器が水質汚染の原因と考えられている地区, また今後起きうる可能性のある地区は, 日本中に多く存在している。(添付資料参考) 幸いにも, 神栖町ほどの大きな被害はでていないものの, 早期の汚染源特定と解決は望まれる. そこで, 他の事例にも, 本稿の推定方法を応用することで, 未然の被害の拡大を防止でき, そのことが, リスクの持つ不確実性, 人に与える被害(損失)の軽減につながると考えることができる.

### 5.3 総括

今回は限られた情報量の中で汚染解析を行ったため, 推測の範囲での考察結果が多く, 信頼性に欠けている. より解析的な立証が必要となってくる.

さらに, 過去の神栖町の地図と考察結果を照らし合わせ, 汚染源の妥当性を検討する必要である.

## 参考文献

[1] C.W.Fetter, Applied Hydrogeology Fourth Edition, Prentice Hall, 2001

- [2] Keenan Lee, C.W.Fetter, Hydrogeology laboratory manual, Macmillan Publishing Company, 1994
- [3] 丸山利輔, 三野徹 編, 地域環境水文学, 朝倉書店, 1999
- [4] 水収支研究グループ 編, 地下水資源・環境論 -その理論と実践-, 共立出版株式会社, 1998
- [5] 環境省 HP, <http://www.env.go.jp/>
- [6] 茨城県庁 HP, <http://www.pref.ibaraki.jp/>
- [7] 神栖町 HP, <http://business2.plala.or.jp/kamisu/>
- [8] 茨城県潮来保健所 HP, <http://www.pref.ibaraki.jp/bukyoku/hoken/itakohc/index.htm>

### 添付資料

- 神栖町地下水汚染事件について
  - － 汚染の発覚
  - － 茨城県による行政調査
  - － 環境省によるボーリング調査
  - － 嘔吐剤(くしゃみ剤)について
  - － ジフェニルアルシン酸について
  - － 神栖町の対応
  - － 被害者について
  - － 他の旧軍毒ガス弾による汚染の危険性
- 調査地図
  - － A,B 地区の位置
  - － A 地区ボーリング調査位置図
  - －  $A_1$  地区ボーリング調査位置図(A 井戸周辺)
  - －  $A_2$  地区ボーリング調査位置図