

神栖町汚染事件解析

指導教官 羽田野 祐子

200335245 佐藤 健一郎

200430152 宮本 健太郎

200430155 周 慧萍

発表の流れ

- 一. グループ演習の目的
- 二. 神栖町汚染事件の経緯
- 三. 地下水汚染解析(1)
- 四. 地下水汚染解析(2)
- 五. まとめ

演習の目的

- 現段階までの調査結果から、事件の経緯と汚染原因、健康被害状況などを調べ、事件の背景を明確する。
- 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、水頭及び地下水流線モデルを作成する。
- 作成したモデルより、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。

神栖町について経緯

✓位置: 茨城県の東南部の鹿島地域に位置し、東は太平洋の鹿島灘、西は利根川を経つ。

✓人口: 約44000人

✓地理特徴: 気候は海洋性を示し、四季を通じて雨量が少なく寒暖差の少ない比較的温暖な地である。地勢は、平坦地、沖積低地と砂質土壤からなり、かつては日本4大砂丘の1つに数えられた孤立した鹿島砂丘が標高30m程度の高さで点在していた。



2. 汚染事件に関する調査



発覚

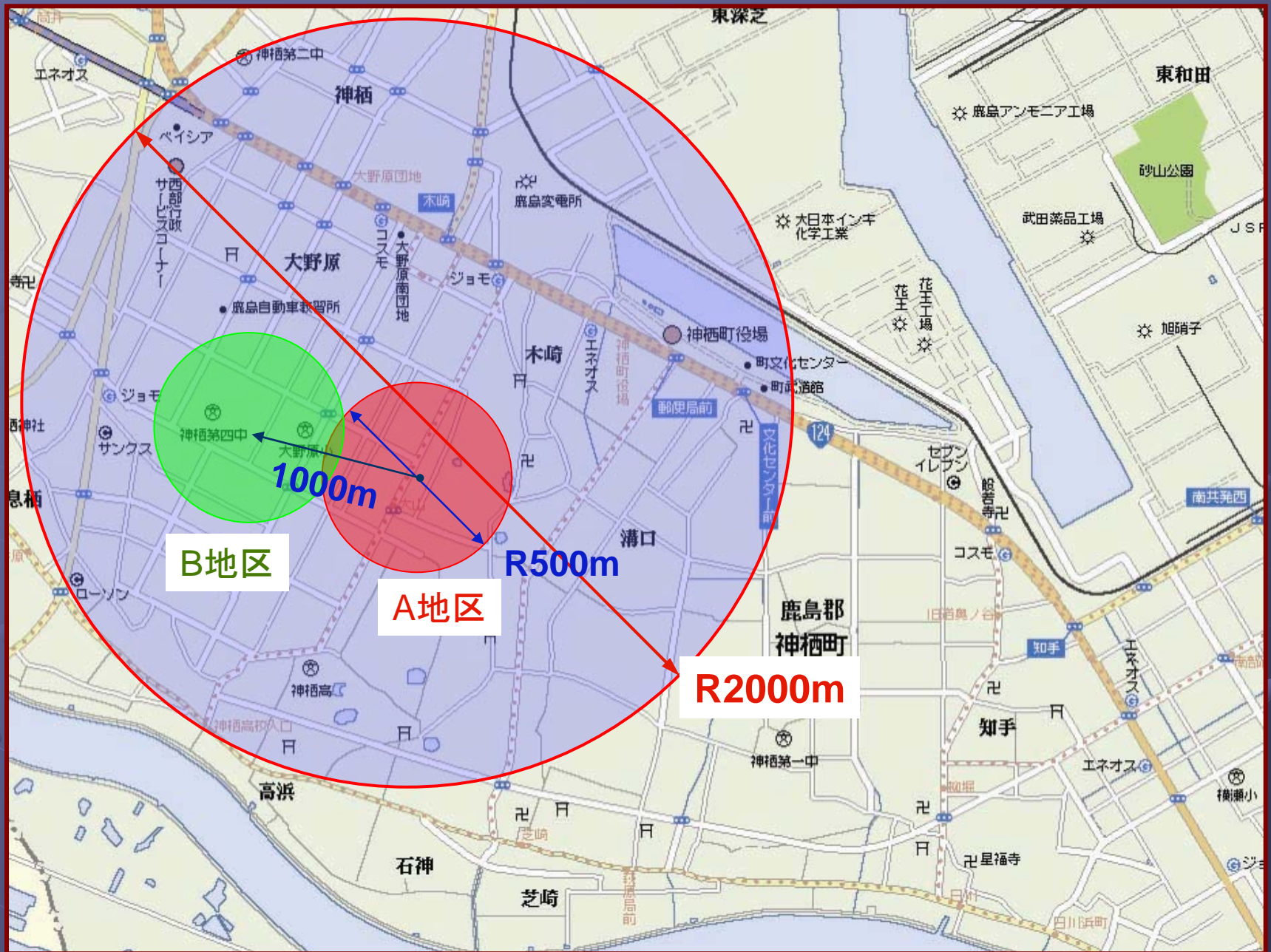
平成15年3月まで、神栖町に住む数名の患者が
*手足のふるえ、ろれつが回らない、歩行障害*など
同じ症状を現れていた。

飲用水の汚染

筑波大学附属病院の石井医師は症状により、
「*飲用水の水質汚染*」の疑問を取り上げた。

水質調査

同じ症状を有する居住者が共用する飲用井戸
(*A井戸とB井戸*)に水質検査を行った。



水質調査におけるAとB地区の位置

2. 汚染事件に関する調査(続き)



高濃度ヒ素検出

A井戸:水道水質基準0.01mg/lの450倍のヒ素を検出
B井戸:水道水質基準18~43倍のヒ素を検出.

問題点

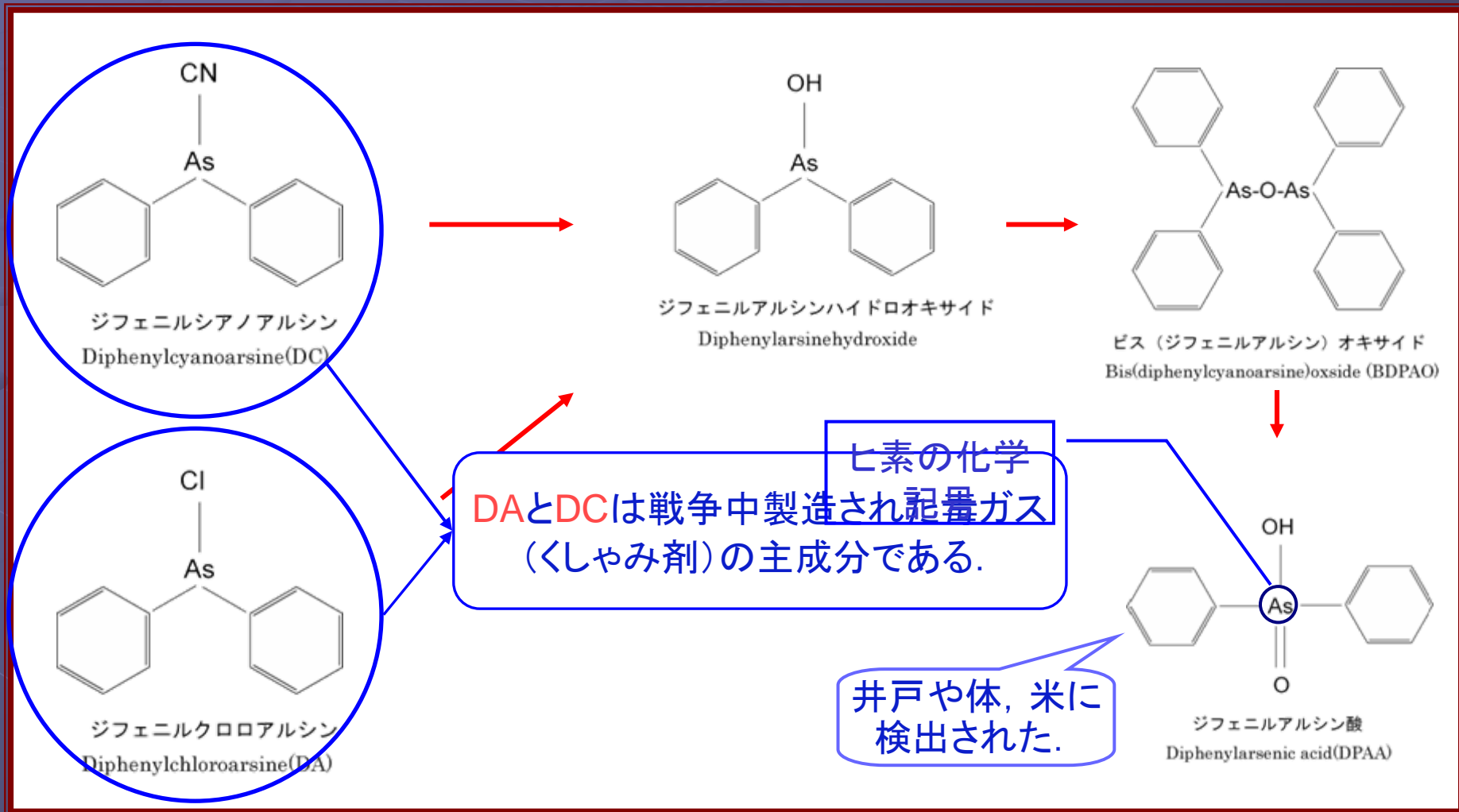
ヒ素による水汚染が症状に完全に説明できなかった.

ジフェニルアルシン酸の検出

(財)化学物質評価研究機構から,高濃度ヒ素に係る有機ヒ素化合物のジフェニルアルシン酸が検出された.

ジフェニルシナル酸 (DPAA) について

➤ ジフェニルアルシン酸 (DPAA) の存在



ジフェニルシリアル酸 (DPAA) について

- ジフェニルアルシン酸 (DPAA) の存在
- ジフェニルシアノアルシン (DC) とジフェニルクロロアルシン (DA) の特性

- 性質

	DC	DA
性状	無色の結晶性固体	無色固体
臭気	靴みがきの臭い	ニンニク, 苦味のある アーモンドの臭い
比重	1.4	1.3
毒性	目や粘膜の刺激, 鼻汁, くしゃみ, 咳, 頭痛, 胸 部圧迫感, 吐気, 不快 感	目や粘膜の刺激, 鼻汁, くしゃみ, 咳, 頭痛, 胸 部圧迫感, 吐気, 不快 感 (毒性より強い)

ジフェニルシリアル酸 (DPAA) について (続き)

✓ ジフェニルアルシン系ヒ素化合物兵器について

- 自然界に存在しない有機化合物
- 空気中で, $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ で有効といわれる.
- ジフェニルアルシン系兵器はドイツで開発され, クラーク (CLARK) と呼ばれていた. 実用されたジフェニルアルシン系ヒ素化合物は 4種類といわれる.

- クラーク1 (CLARK1) くしゃみ剤
- クラーク2 (CLARK2) くしゃみ剤
- アダムシテ (ADAMSITE) くしゃみ剤
- プフェフェクス (PFIFFIKUS) 糜爛剤, 皮膚障害を起こされる兵器

2. 汚染事件に関する調査(続き)



旧日本軍の関与

戦時中の神栖町に旧日本軍の施設が存在していたことや混成部隊が駐屯していたことなどから、旧日本軍と関連が強いものと推測された。

ボーリング
調査

平成15年4月16日、茨城県知事により環境大臣などに対し、原因究明などの要望がだされ、それを受け、環境省は同年5月29日からレーダー探査とボーリング調査が開始された。

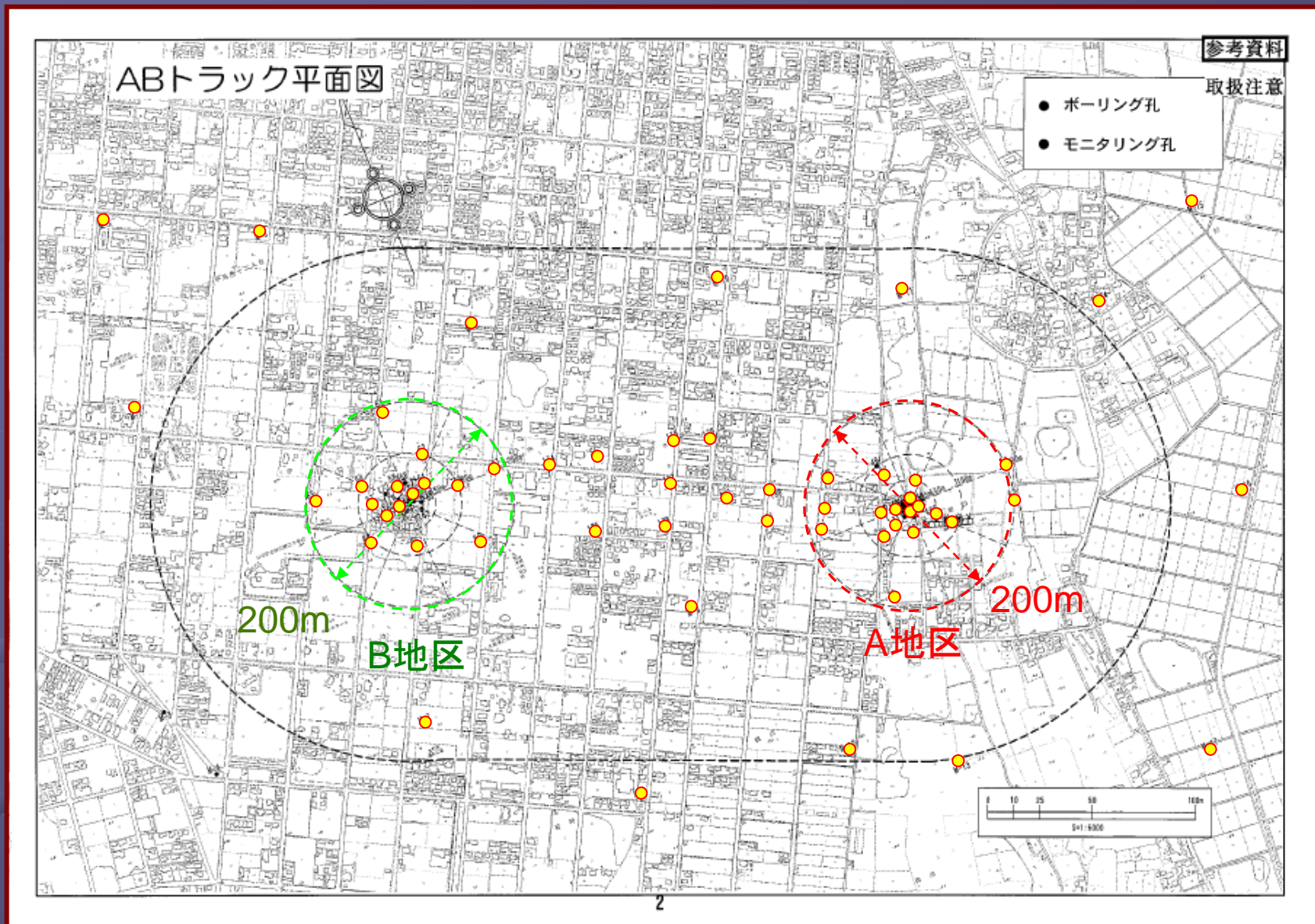
第1段階：平成15年5月29日～平成15年7月29日

第2段階：平成15年8月1日～平成15年9月12日

第3段階：平成15年9月16日～平成15年10月17日

第4段階：平成15年10月20日～平成16年1月23日

ボーリング調査について



2. 汚染事件に関する調査(続き)



対策

```
graph TD; A[対策] --> B[他の旧軍毒ガスの調査];
```

➤ 神栖町

- 浄水器の設置
- 水道の加入
- 町営の入浴施設の無料開放

➤ 国

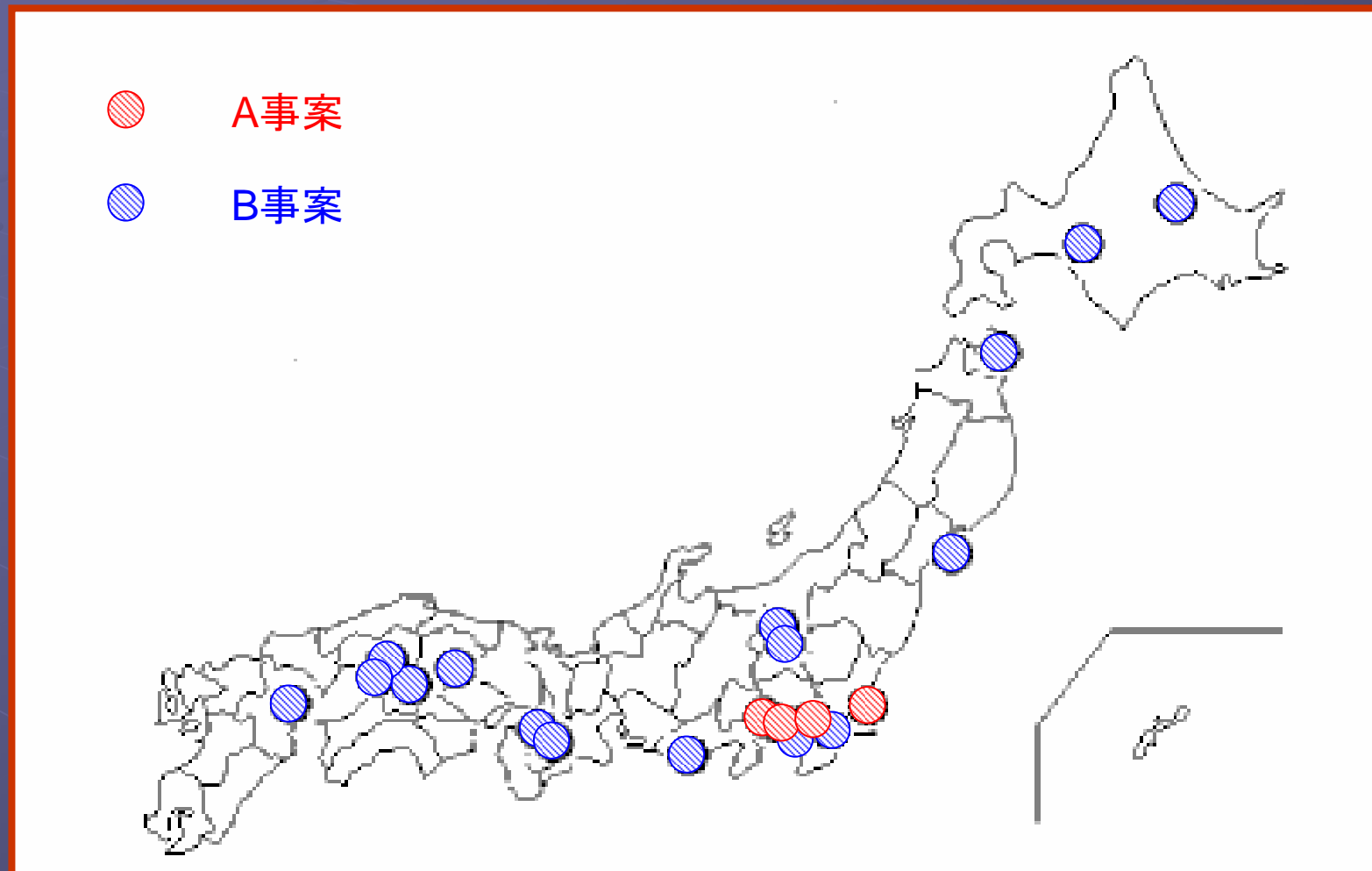
- 「健康管理調査協力金」の支給
- 調査研究費の支給

他の旧軍毒ガスの調査

フォローアップ調査に基づき、4つの類型に分けられた。

- A 毒ガス等の存在に関する情報の**確実性が高く**、且つ、**地域も特定されている事案** (4例)
- B 毒ガス等の存在に関する情報の**確実性が高く**、且つ、**地域が特定されていない事案** (16例)
- C 地域は特定されているものの、毒ガス弾などの存在に関する情報の確実性は不十分である事案 (21例)
- D 前記以外の事案 (73例)

A, B事案の位置



3. 汚染事件のまとめ

地域	茨城県神栖町
発覚時期	平成15年3月
汚染成分	有機ヒ素化合物ジフェニルアルシン酸 (DPAA)
汚染物質	くしゃみ剤(推定)
調査方法	ボーリング調査など
汚染源	(調査中) ★



現在まで汚染源を確定できないため、汚染源を推定するという目的として、ボーリング調査データに基づき、MODFLOWとMATLABを用い、地下水の解析、考察を行う。

2. 解析の目的

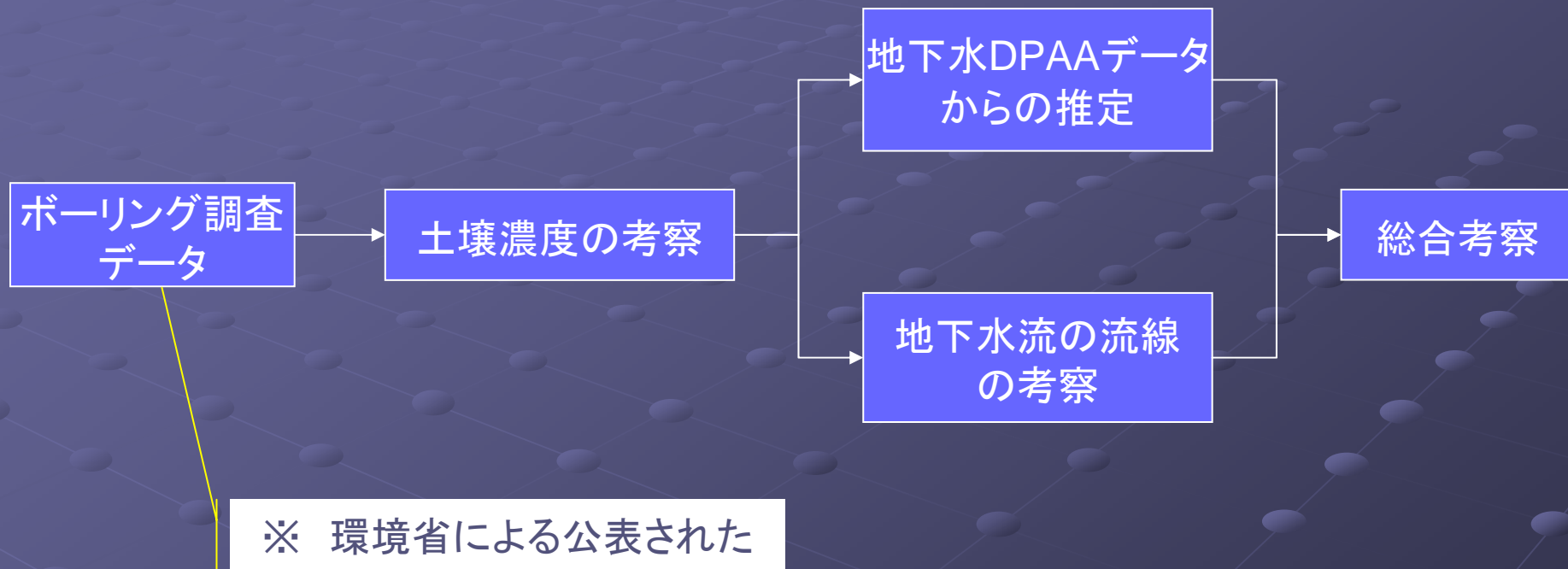
➤ 目的

- 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

➤ 考察

- 土壌濃度の考察
- 地下水の流線の考察
- 濃度データによる推測との比較
- これらを総合した考察

2. 解析手順



3. 解析手法

➤ MODFLOW

- Waterloo Hydrogeologic社により地下水解析ソフトウェア (Ver.2.8.2.48 Student Version)
- 二次元分布図の描写

➤ MatLab

- 三次元分布図の描写

MODFLOWについて

➤ 原理式

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -V \frac{\partial C}{\partial X} + D \frac{\partial^2 C}{\partial X^2}$$

C: 汚染物質の地下水の濃度 [g/l]

V: 地下水の平均流速 [m/s]

D: 拡散係数

t: 経過時間 [s]

➤ 関連法則

- Fickの法則

$$J = -D \frac{\partial C}{\partial x}$$

J: フラックス

- ダルシーの法則

$$Q = KA \frac{\Delta h}{L}$$

Q: 流量 (単位時間あたりに流れる水の体積)

K: 透水係数 (地質媒体に依存)

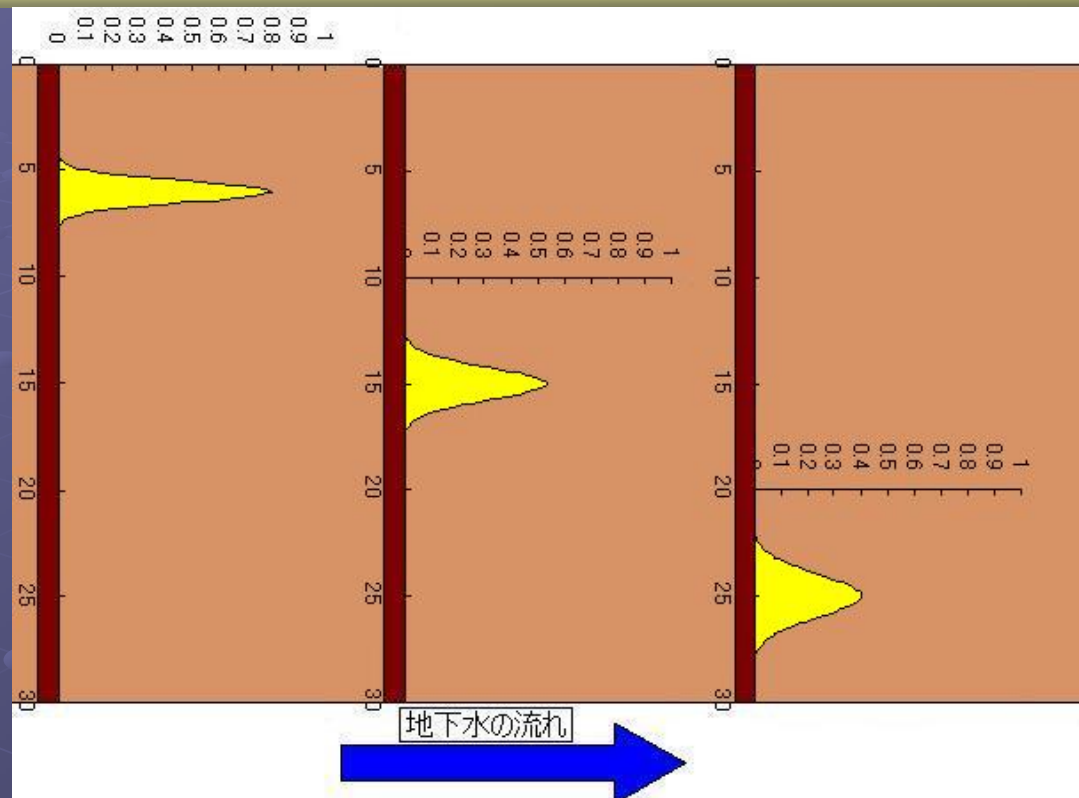
Δh: 水頭差 (入り口と出口の水位の差)

A: 管の断面積

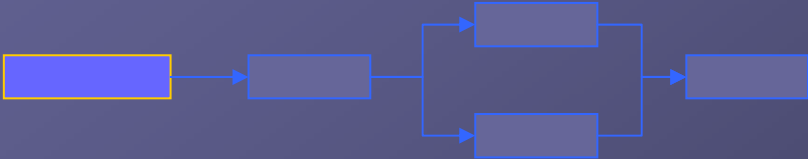
L: 管の長さ

4. 地下水汚染の拡散

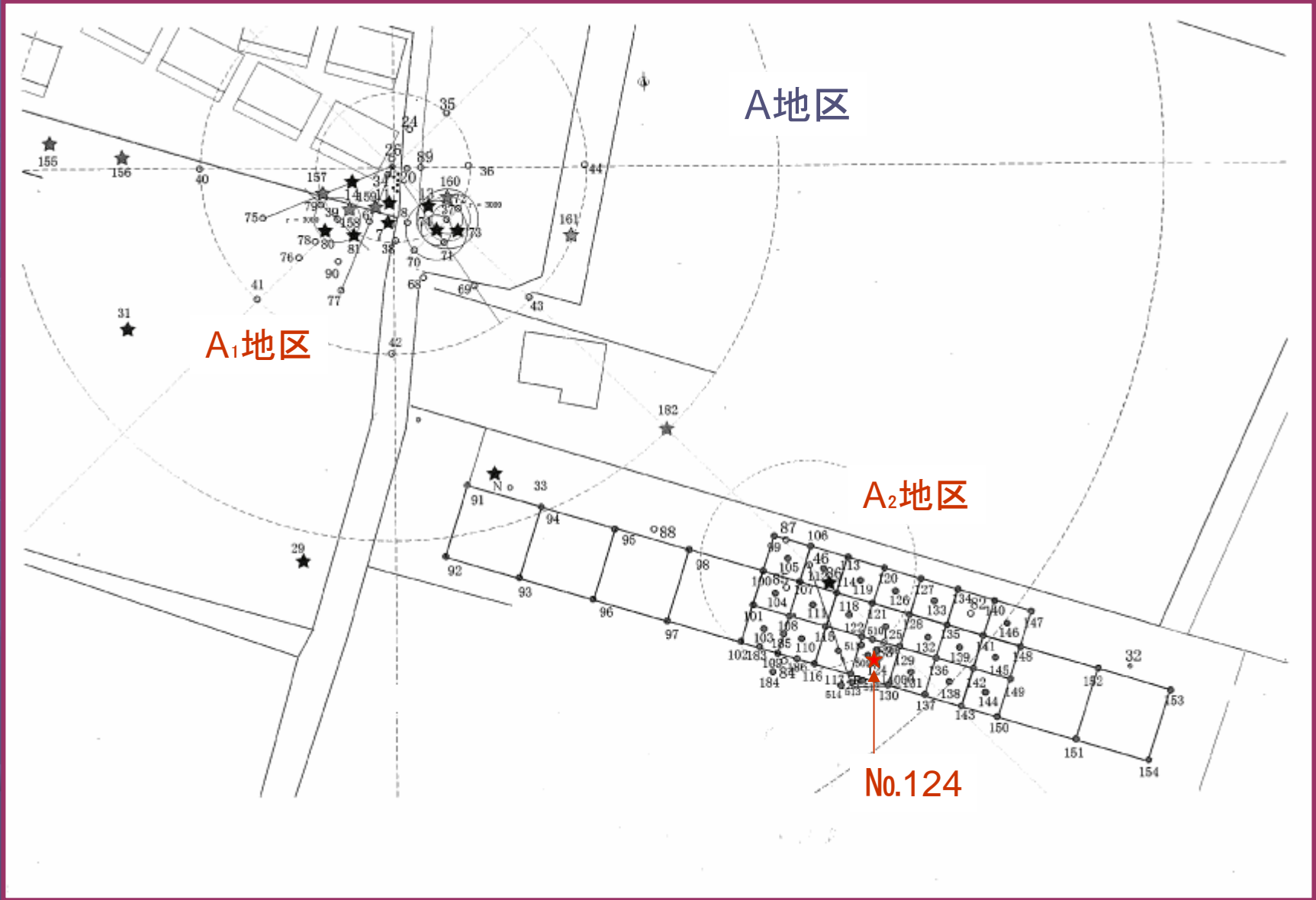
➤ イメージ図

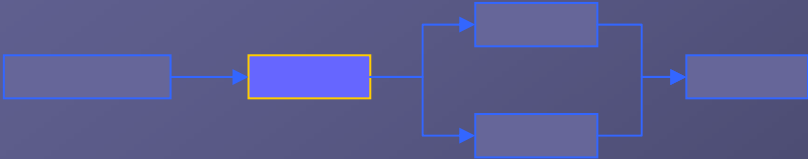


- 汚染物質の広がりには上のイメージ図のようになると思われる。
 - ✓ 汚染物質が流れ出した場合、地中を拡散しながら、地下水の流れに乗って広がっていく。
 - ✓ DPAAは水より重いため、下方へと広がっていく。



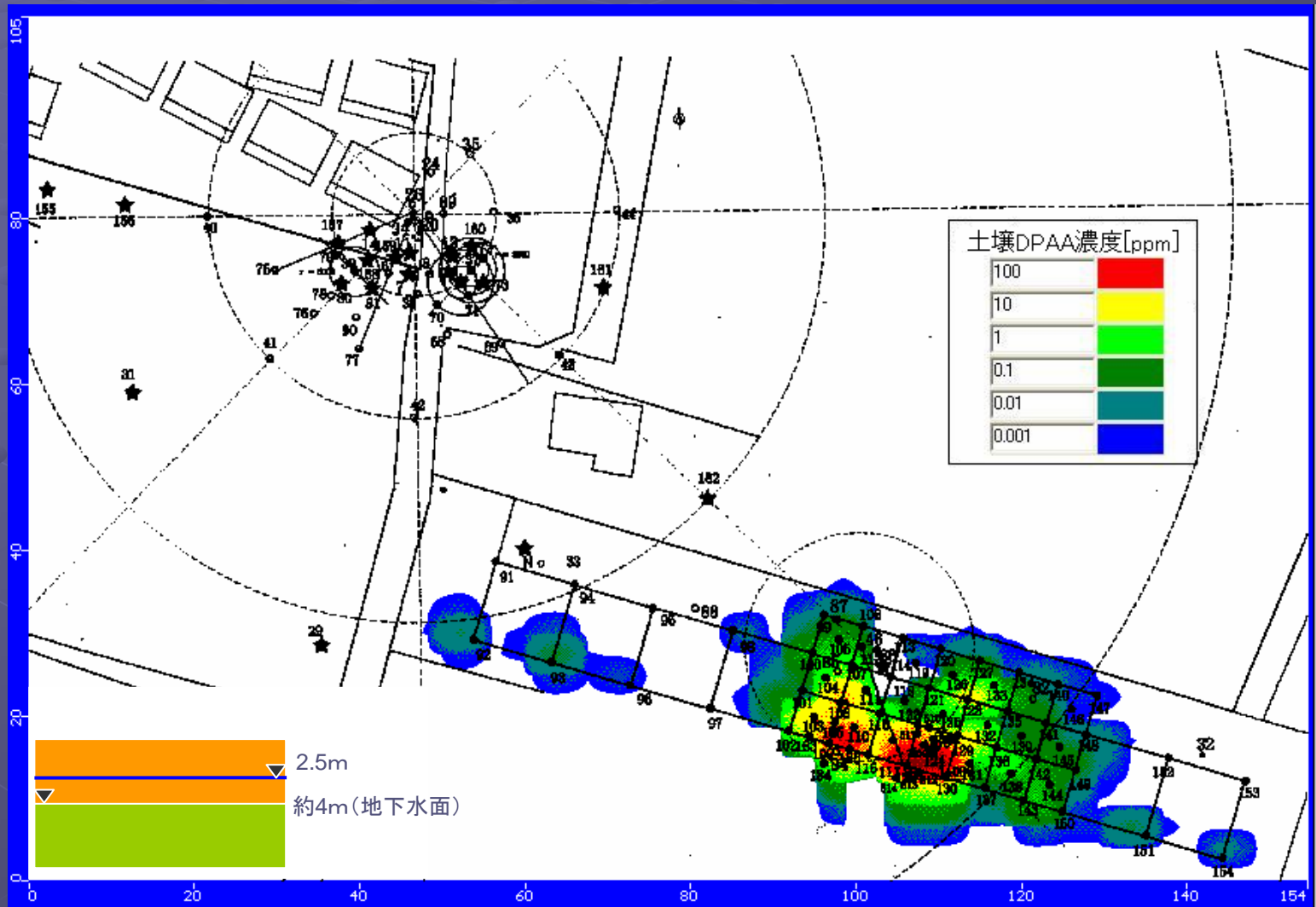
5. ボーリングデータ





6. 土壌DPAA濃度の考察

➤ 土壌中DPAA濃度—地下2.5m



6. 土壌DPAA濃度の考察

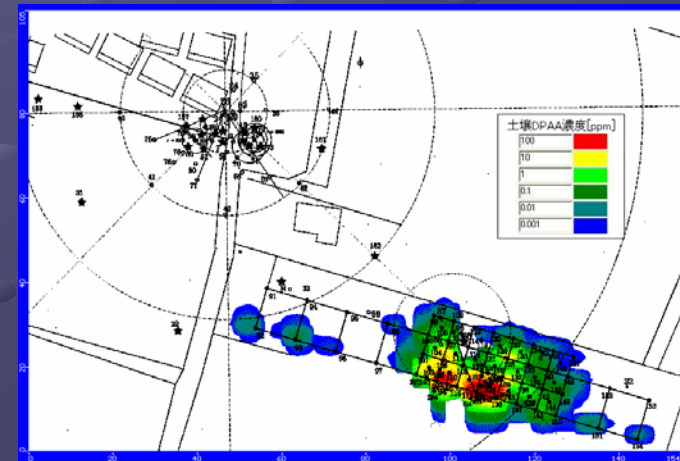
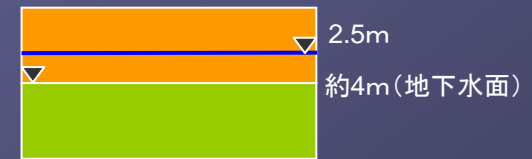
- 土壌中DPAA濃度
- 考察

✓ DPAA濃度の比較

2.5mの位置において、A₂地区では土壌中にDPAAが検出されているが、A₁地区では検出されていない。A₁地区で土壌中にDPAAが最初に検出されるのはNo.13,14で15.0mである。A₁地区では地下水面より下において土壌汚染が広がっている。

A₁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える。

A₂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。



6. 土壌DPAA濃度の考察

➤ 土壌中DPAA濃度

➤ 考察

➤ 推定

✓ No.124を汚染源の一つと考える.

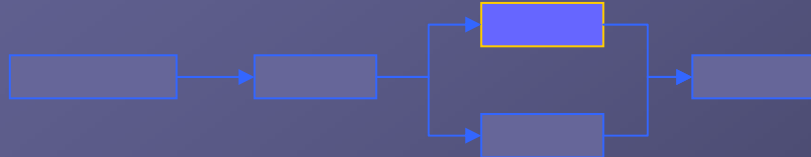
✓ 本事例において、旧軍のくしゃみ剤が埋まっているのではないかと考える.



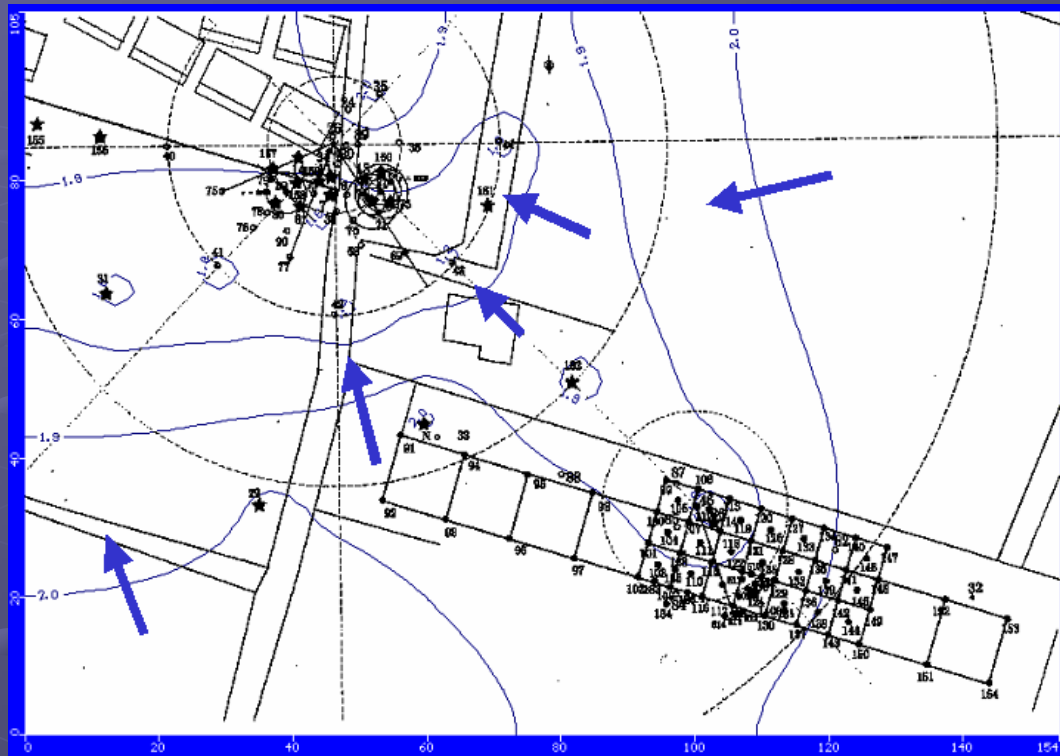
次の考察へ

A₁地区の汚染がNo.124によるものなのか？

7. 地下水流の流線の考察

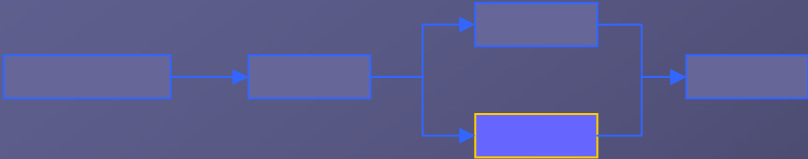


➤ 水頭及び地下水流の流線



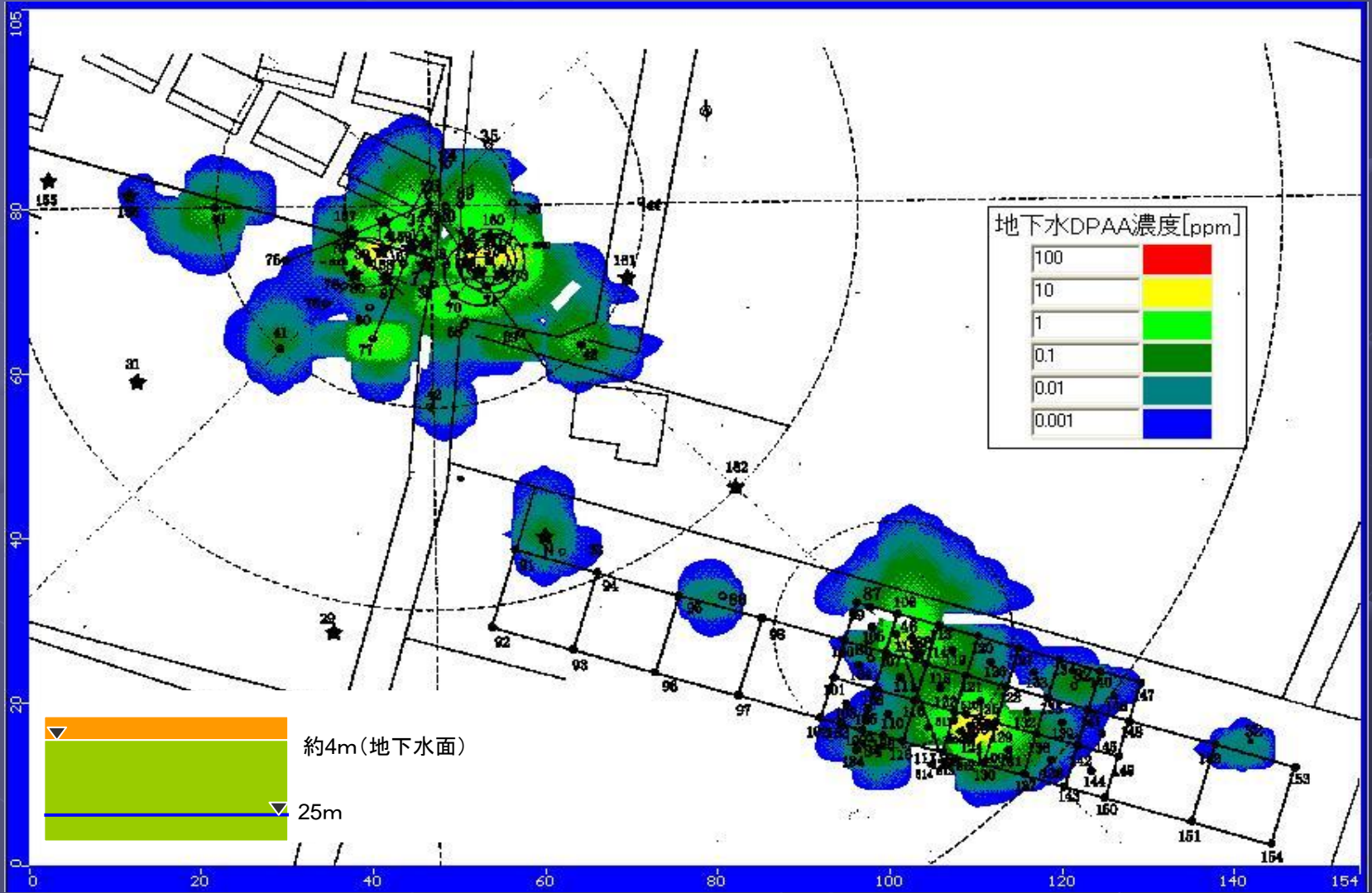
➤ 考察

- ✓ 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分かる。



8. 地下水DPAA濃度の考察(1)

➤ 地下25mにおける地下水中DPAA濃度



8. 地下水DPAA濃度の考察(1)

➤ 地下25m地点での地下水DPAA濃度

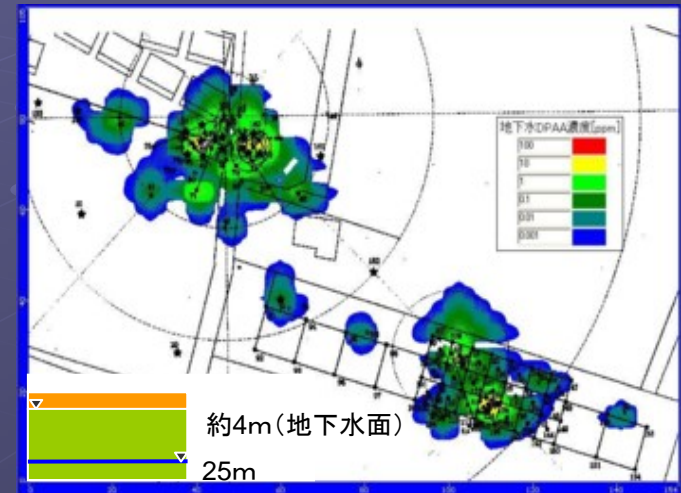
➤ 考察

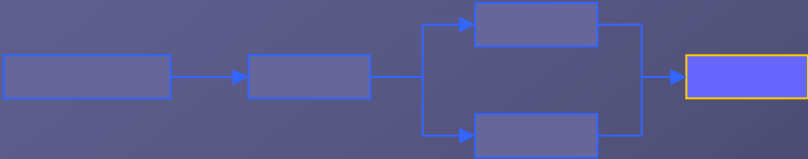
- ✓ 汚染はNo.124から北東に向かって進んでいると考えられる。この結果は地下水流の流線における考察とも矛盾しない。

地下水流の流線における考察：
「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分かる。」

➤ 推定

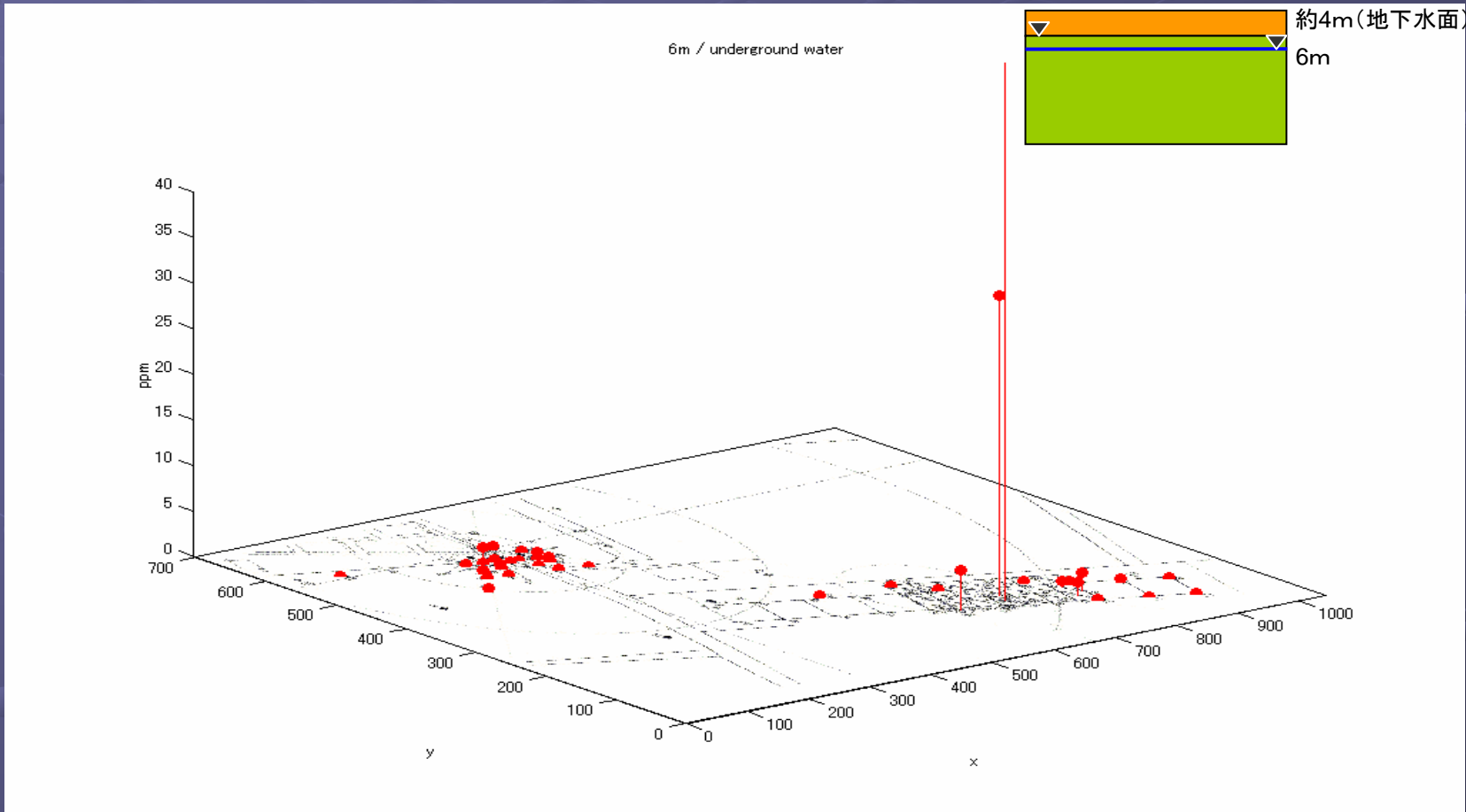
- ✓ 汚染範囲は南東から北西に向かって広がっていると考えられる。





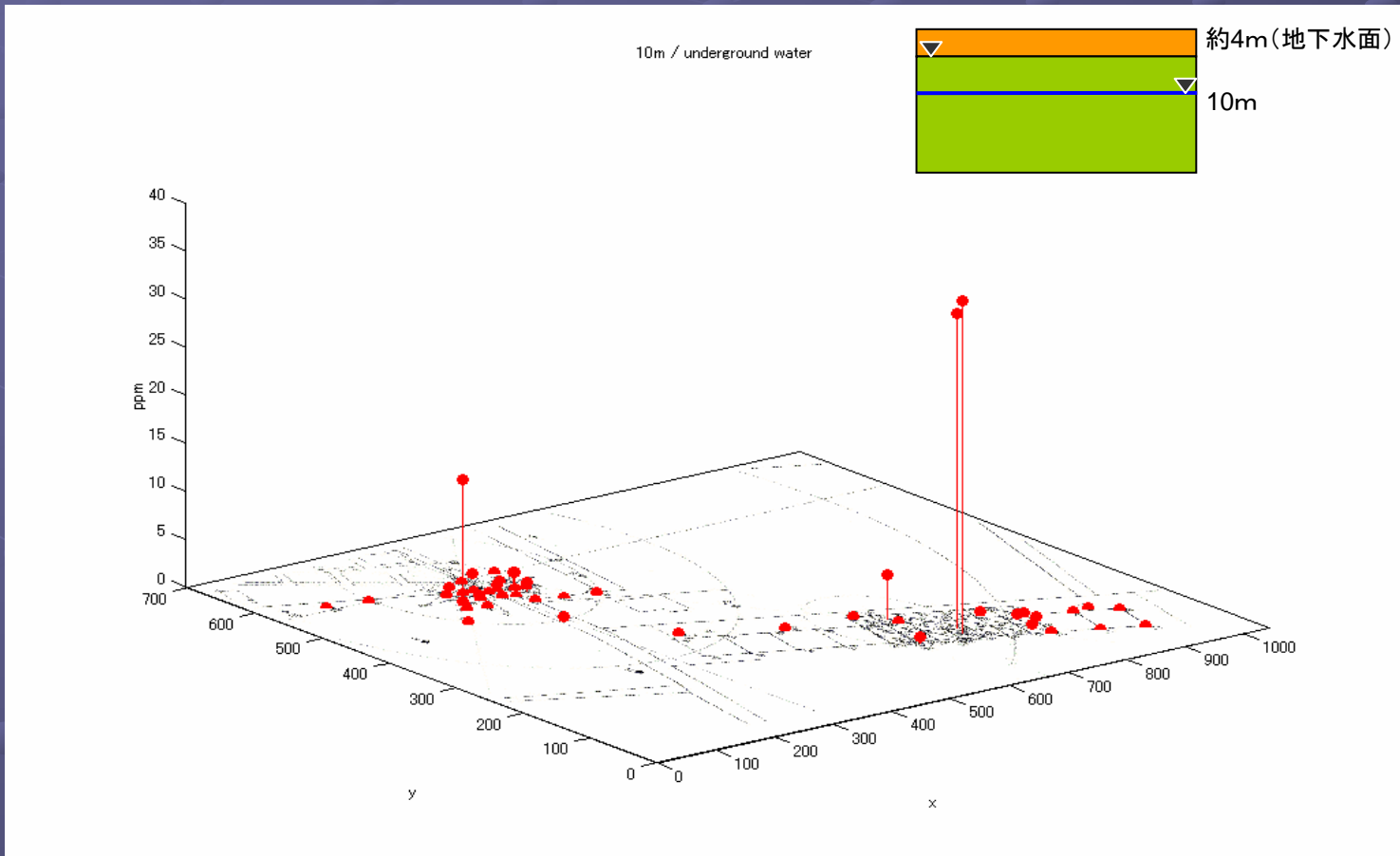
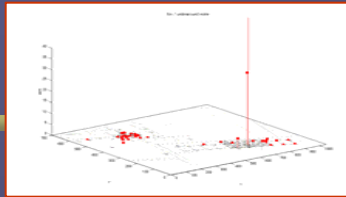
8. 地下水DPAA濃度の考察(2)

- A地区の各深度での地下水中DPAA濃度の3次元離散分布
 - ✓ 地下6mにおける地下水中DPAA濃度



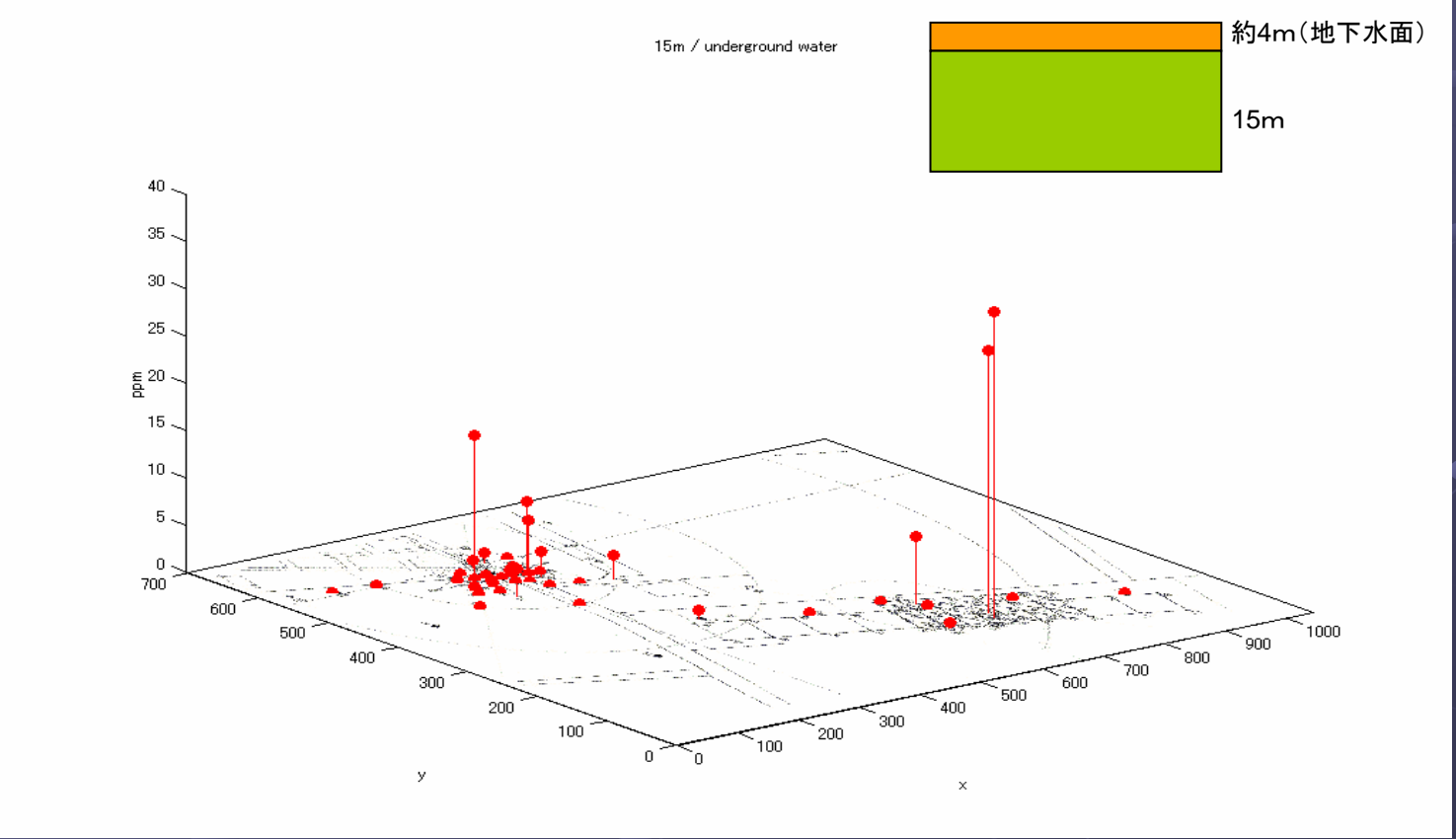
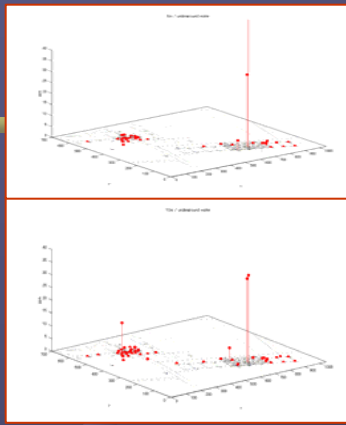
8. 地下水DPAA濃度の考察(2)

- A地区の各深度での地下水中DPAA濃度の3次元離散分布
- ✓ 地下10mにおける地下水中DPAA濃度



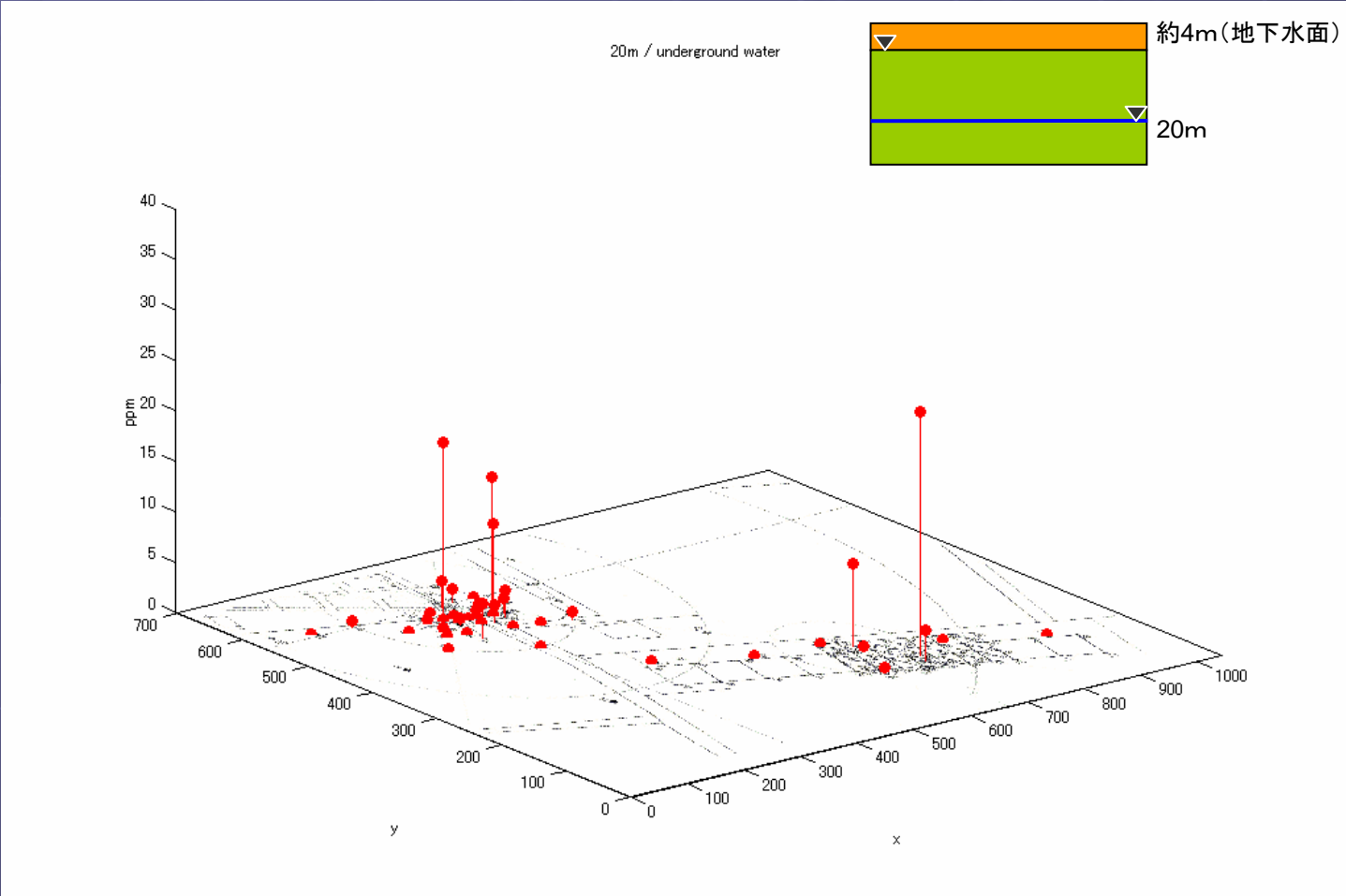
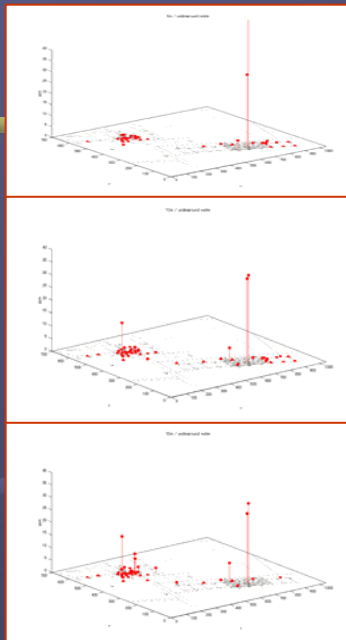
8. 地下水DPAA濃度の考察(2)

- A地区の各深度での地下水中DPAA濃度の3次元離散分布
 - ✓ 地下15mにおける地下水中DPAA濃度



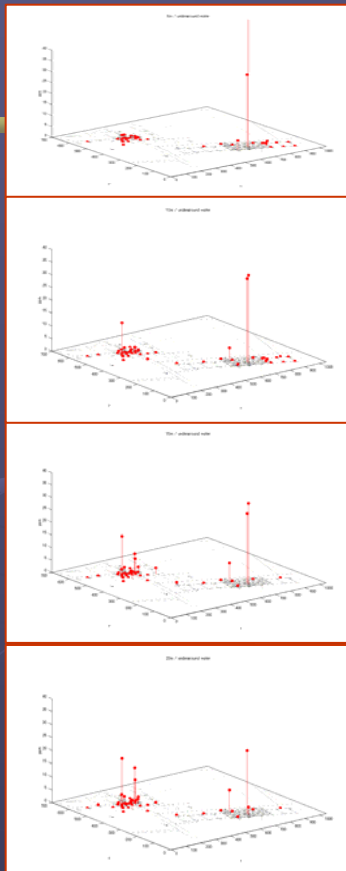
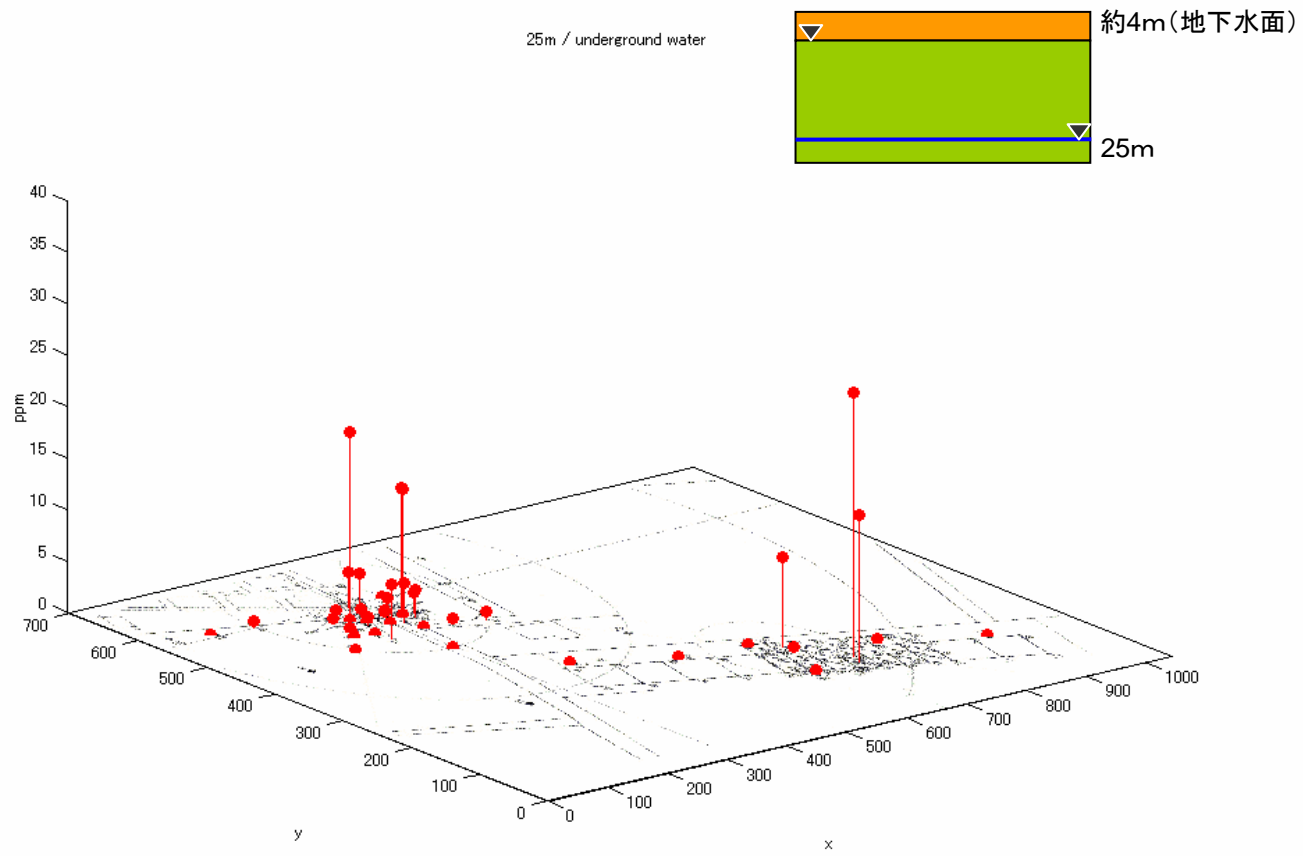
8. 地下水DPAA濃度の考察(2)

- A地区の各深度での地下水中DPAA濃度の3次元離散分布
 - ✓ 地下20mにおける地下水中DPAA濃度



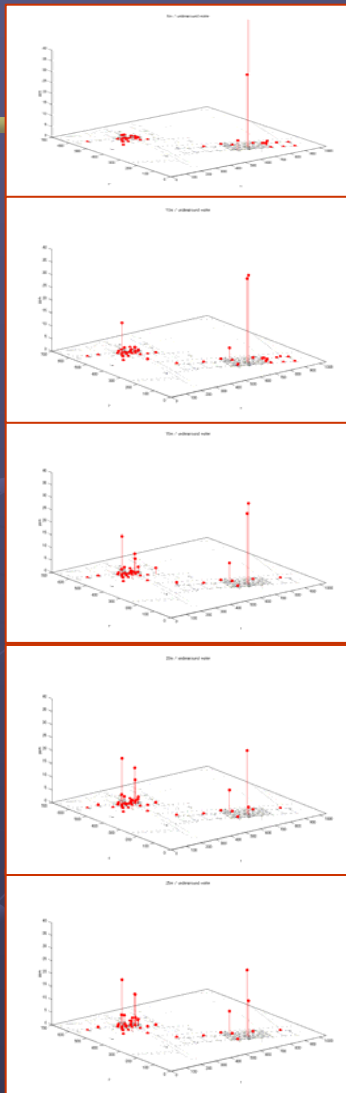
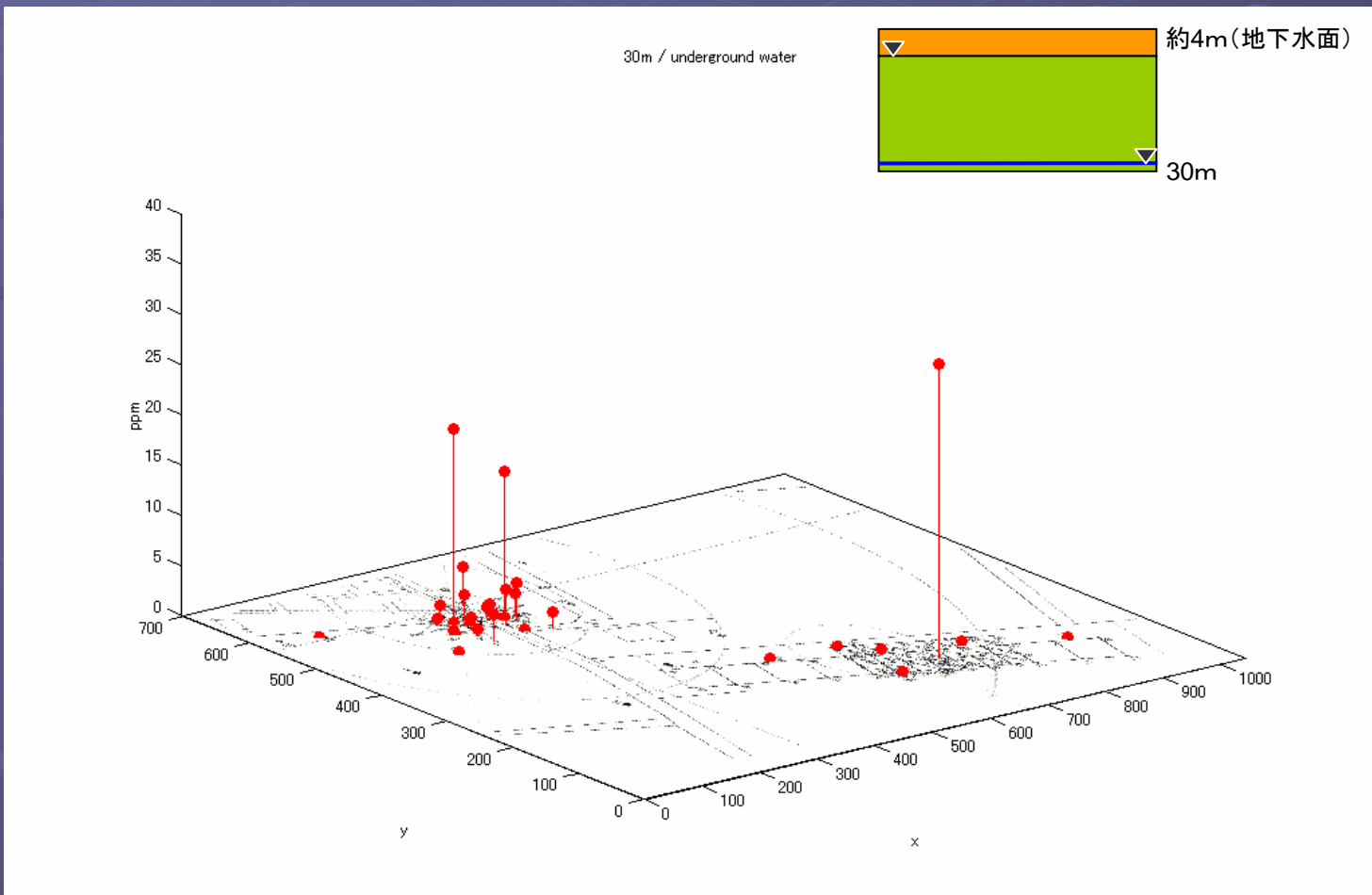
8. 地下水DPAA濃度の考察(2)

- A地区の各深度での地下水中DPAA濃度の3次元離散分布
 - ✓ 地下25mにおける地下水中DPAA濃度

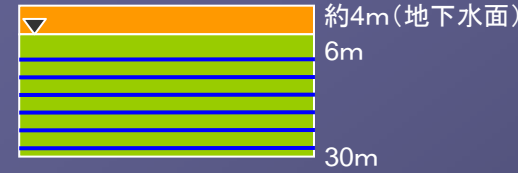


8. 地下水DPAA濃度の考察(2)

- A地区の各深度での地下水中DPAA濃度の3次元離散分布
 - ✓ 地下30mにおける地下水中DPAA濃度



8. 地下水DPAA濃度の考察(2)



➤ A地区の各深度での地下水中DPAA濃度の3次元離散分布

➤ 考察

仮定: No.124を汚染源とし, 地下水の流れによりA₁地区へ汚染が広がった.

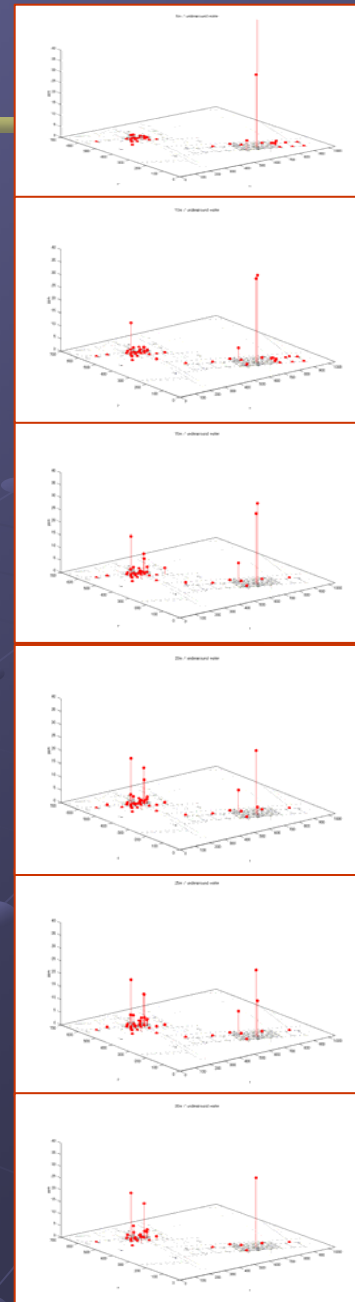
A₁地区とA₂地区の中間地点でも, DPAAが検出されるはずである. ~~XXXX~~

A₁地区及びA₂地区では高濃度のDPAAが検出されているが, 2点を結ぶ線上では, ほとんどDPAAは検出されていない

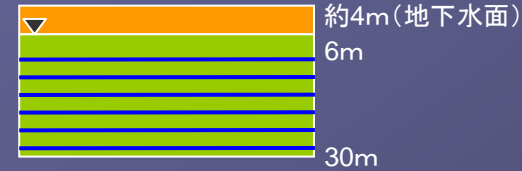
A₁地区では, A₂地区よりもっと低い値のDPAAが検出されるはずである. ~~XXXX~~

25m~30mの地下水中DPAA濃度分布をみると, A₁地区及びA₂地区ではほぼ同等の高濃度のDPAAが検出されている.

仮定の否定



8. 地下水DPAA濃度の考察(2)

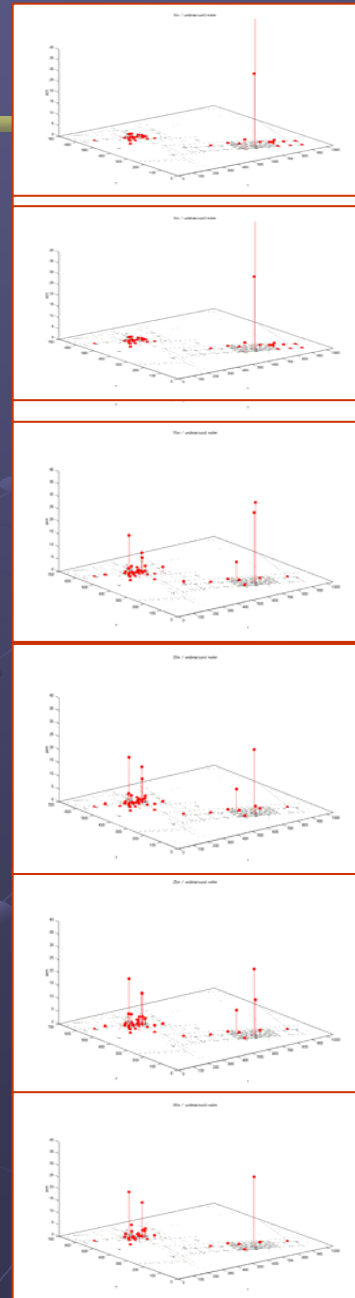


- A地区の各深度での地下水中DPAA濃度の3次元離散分布
- 考察
- 推定
 - ✓ 考察により, 仮定と矛盾が生じ, A₁地区の汚染源がNo.124と考えることは難しい.



解析2へ

A₁地区に対して, 狭い範囲で汚染解析を行う



1. 解析内容

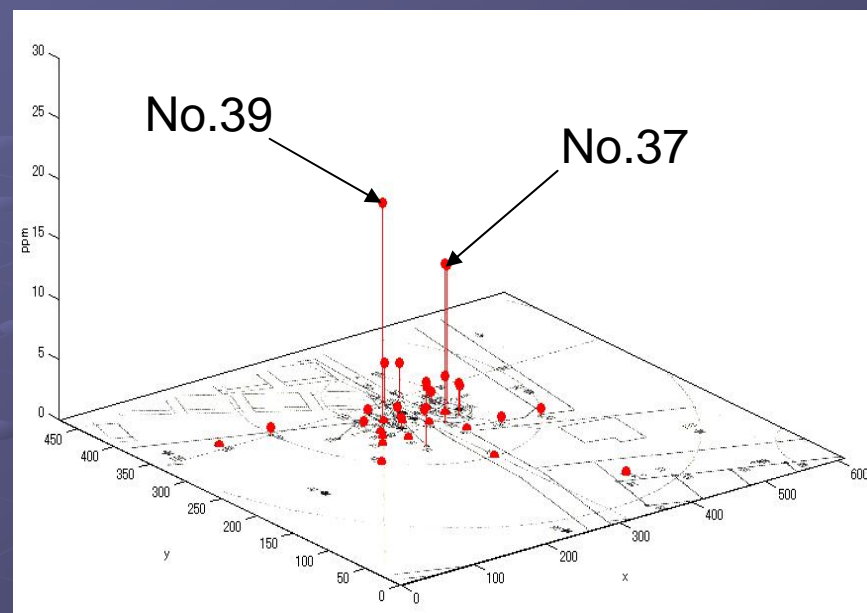
地下水汚染解析2

➤ 目的

- A₁地区における汚染源の推定

➤ 考察

- A₁地区において高濃度を検出したNo.37とNo.39を取り上げ、考察を行う



地下25mにおける地下水中DPAA濃度(A₁地区)

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

No.37と39の位置

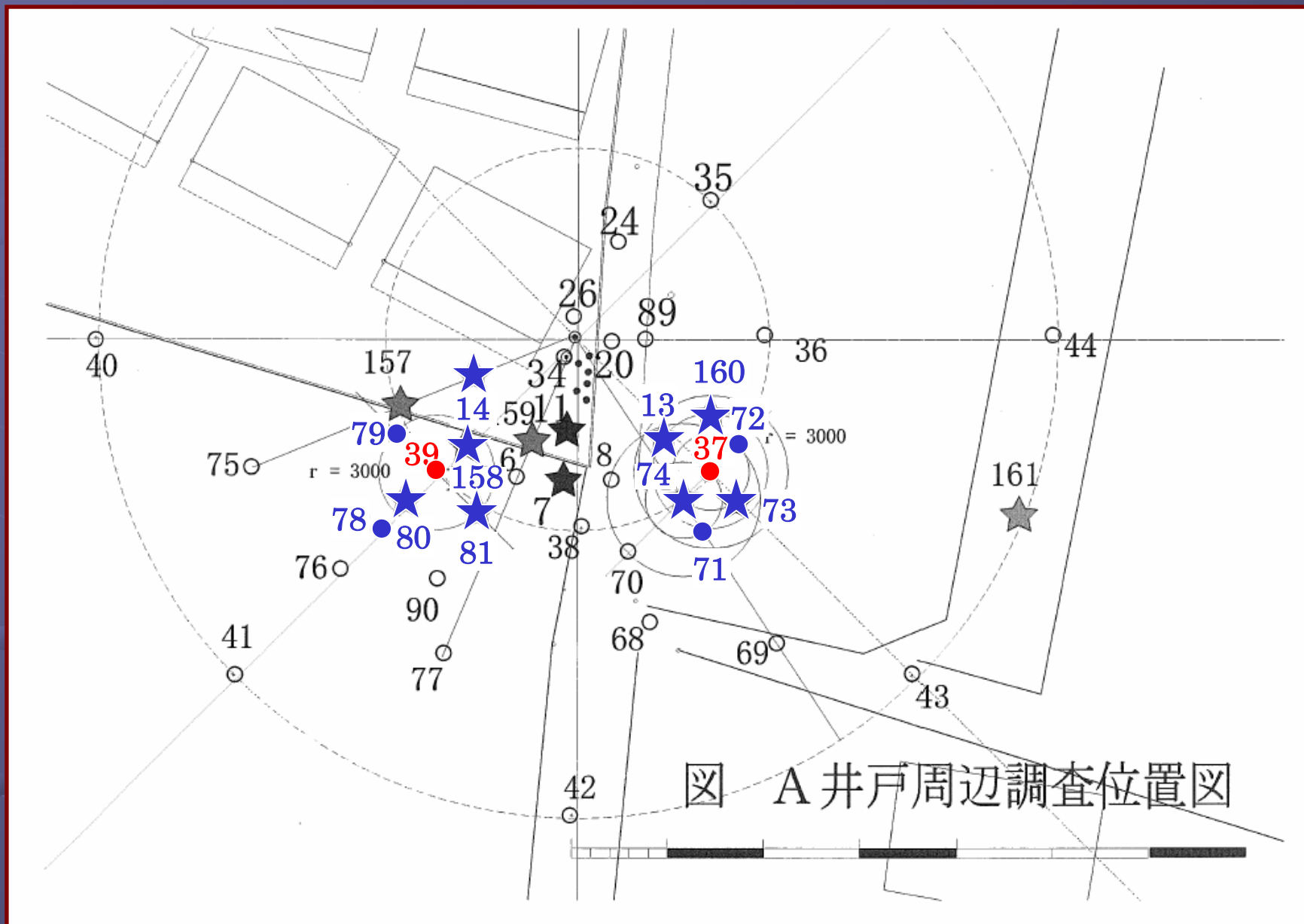
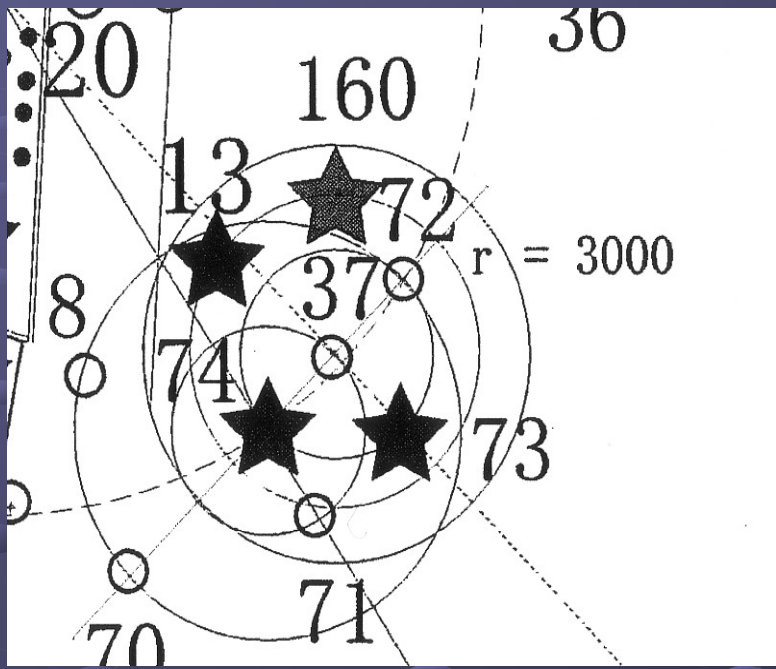


図 A 井戸周辺調査位置図

2. DPAA濃度データによる推定

➤ No.37周辺の地下水について

観測井 No.	DPAA濃度 (ppm)					
	6m	10m	15m	20m	25m	30m
37	/	1.393	7.432	13.256	11.962	/
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



✓ 考察

- No.37とNo.72, 次いでNo.71 No.73の4地点のDPAA濃度が高い
- DPAAの濃度はNo.37 > No.72 > No.71 > No.73
- 最高濃度になる深さがNo.37の方が他の3点よりも10mほど浅い

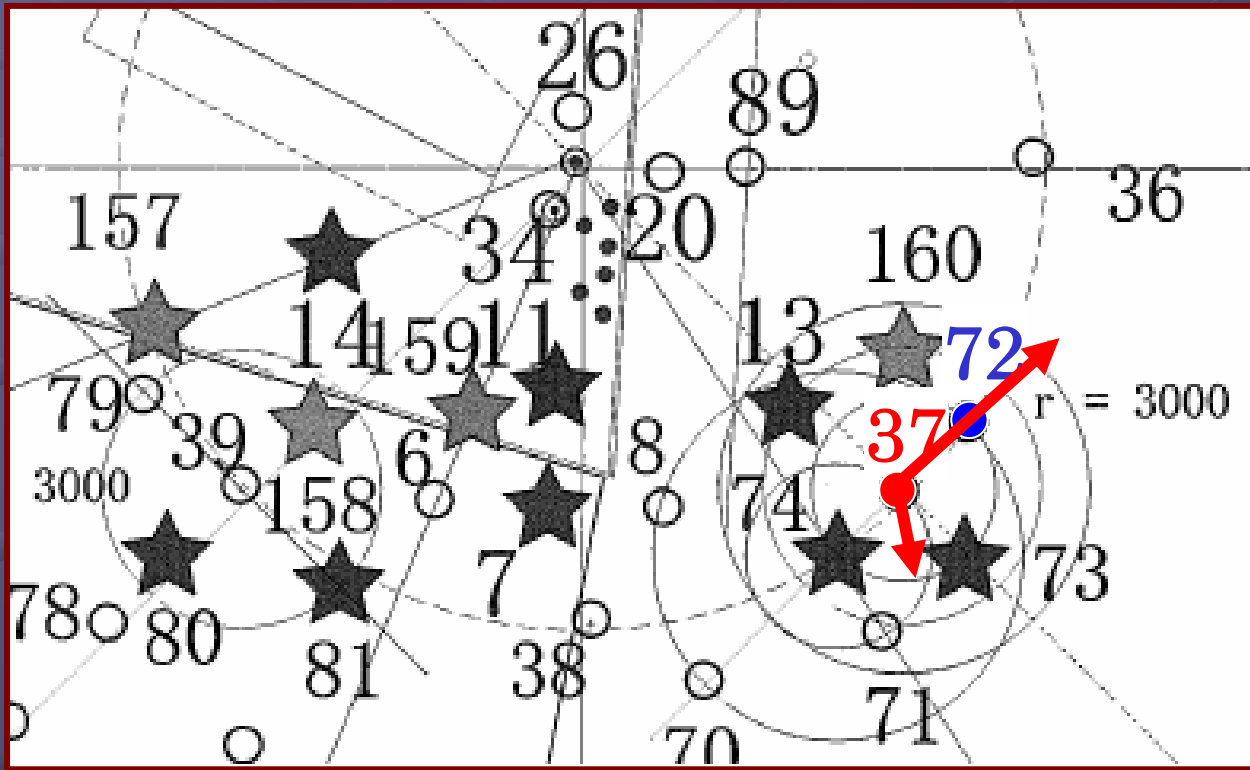
汚染の方向は
No.37→No.72
No.37→No.71, 73

2. DPAA濃度データによる推定

➤ No.37周辺の地下水について

- ✓ 考察
- ✓ 推定

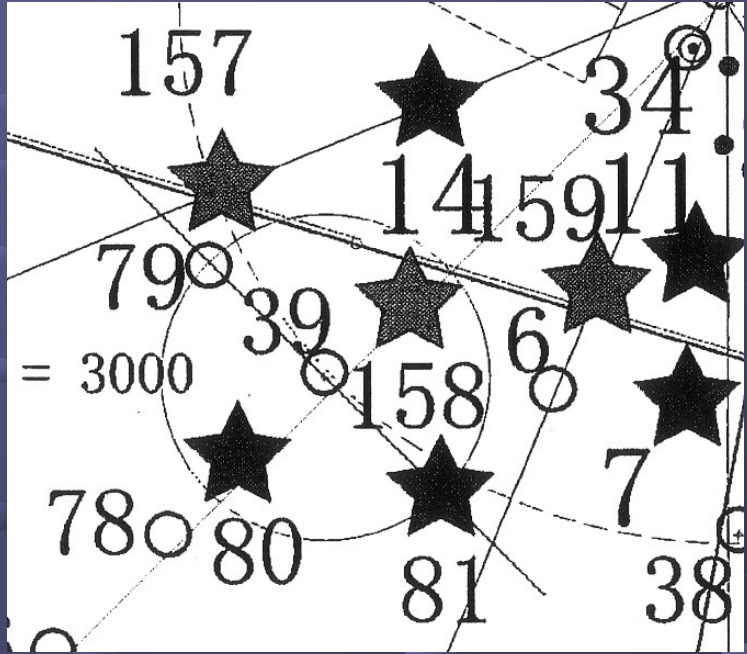
• 汚染の流れはNo.37→No.72, No.37→No.71,73である



2. DPAA濃度データによる推定

- No.37周辺の地下水について
- No.39周辺について
 - 地下水中DPAA濃度

観測井 No.	DPAA濃度 (ppm)					
	6m	10m	15m	20m	25m	30m
39	2.103	12.283	15.545	17.950	18.609	19.635
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
159	0.084	0.026	0.050	0.069	0.836	2.453



✓ 考察

- 地下水中では、No.39周囲の濃度がさほど高くない、No.39だけ突出している

土壤中DPAAの濃度に注目

2. DPAA濃度データによる推定

- No.37周辺の地下水について
- No.39周辺について

• 土壌中DPAA濃度

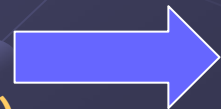
観測井 No.	DPAA濃度 (ppm)			
	15.5m	20.5m	25.5m	31.5m
14	0.002	1.263	6.34	0.073
80	0	0.029	0.107	3.392
81	0	0.023	0.102	3.814
157	0	0.779	2.308	/
158	0	0.062	0.107	1.545
159	0	0.018	12.291	0.835

• 地下水中DPAA濃度

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
39	2.103	12.283	15.545	17.950	18.609	19.635

✓ 考察

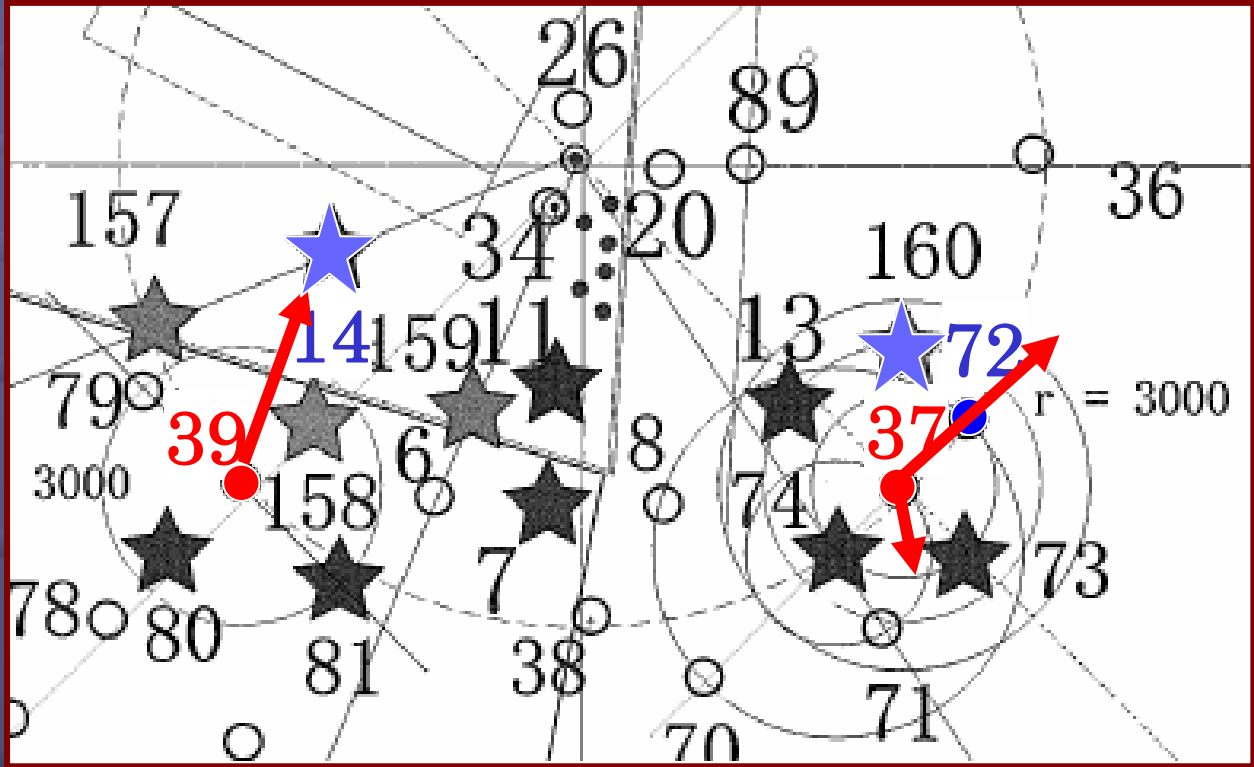
- No.14は地下水中にDPAA濃度が表れていなかったが、土壌中に高濃度DPAAが検出されている。
- 濃度が高くなる深度がNo.39の方がNo.14より10mほど浅い



汚染の方向は
No.39→No.14

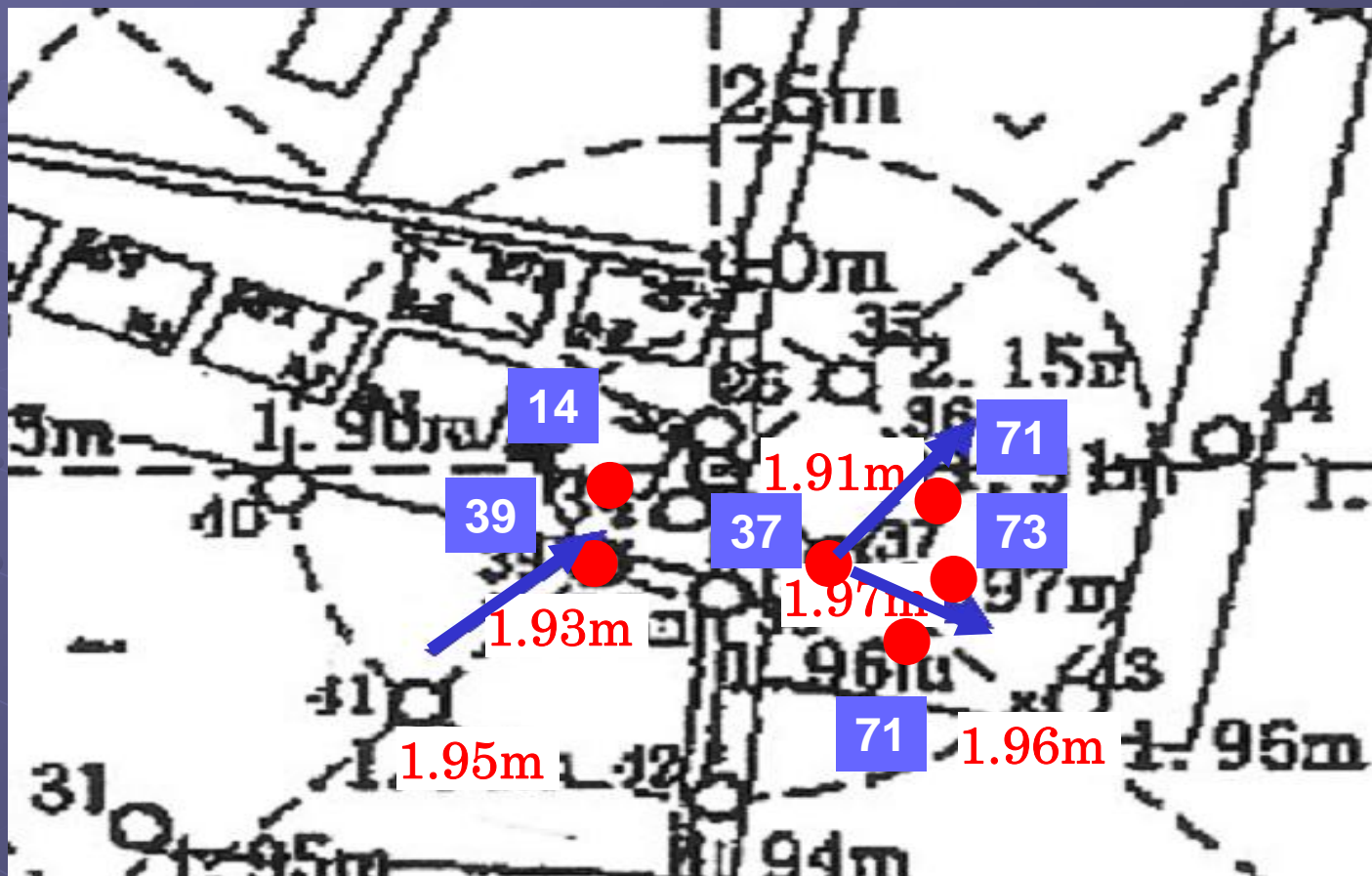
2. DPAA濃度データによる推定

- No.37周辺の地下水について
- No.39周辺について
- ✓ 推定
 - 汚染の流れはNo.39→No.14である



3. 水頭データによる推定

➤ A₁地区の水頭データ

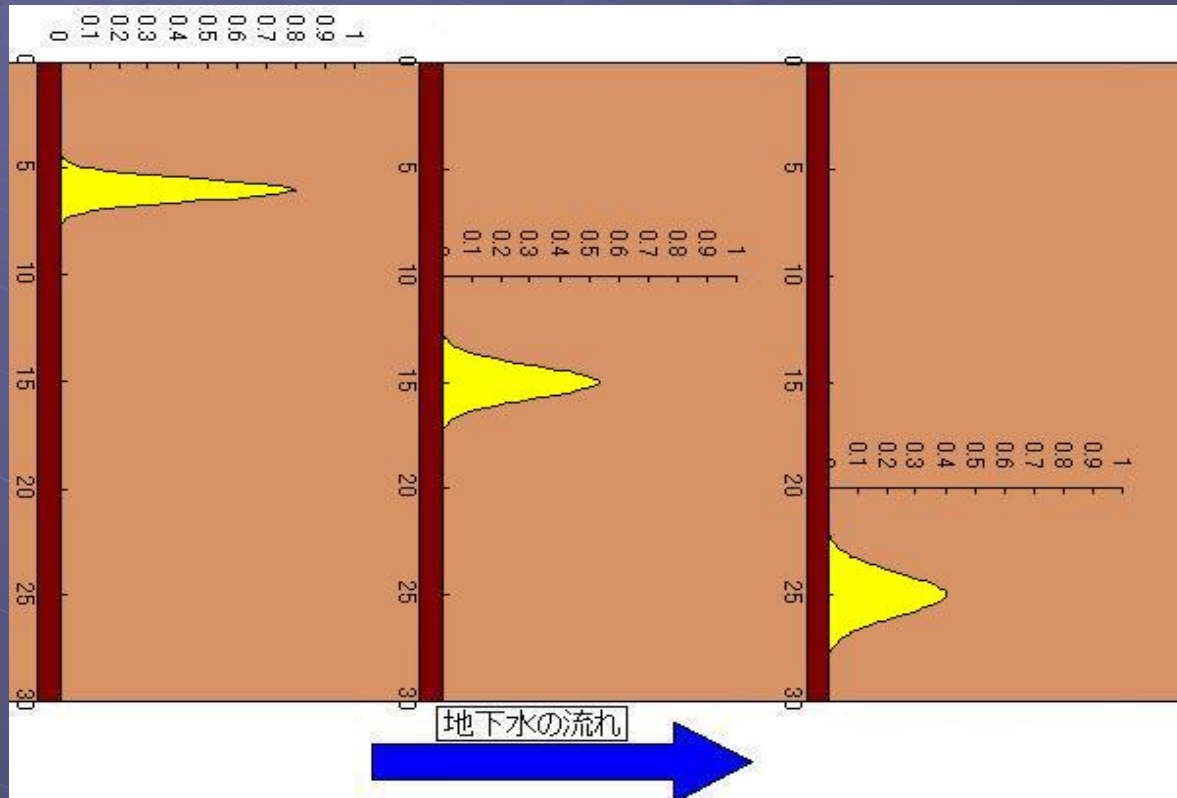


✓ 推定

- No.37→No.72, No.37→No.71,73及びNo.39→No.14の流れがDPAAデータによる推定と一致する.

4. 汚染源推定

汚染は次のように広がっているものと考えられる



DPAAsは水より重いので、汚染は上下に拡散しながら、下方へ広がって行く

4. 汚染源推定 - No.37周辺

汚染の方向

- No.37→No.72
- No.37→No.71, 73

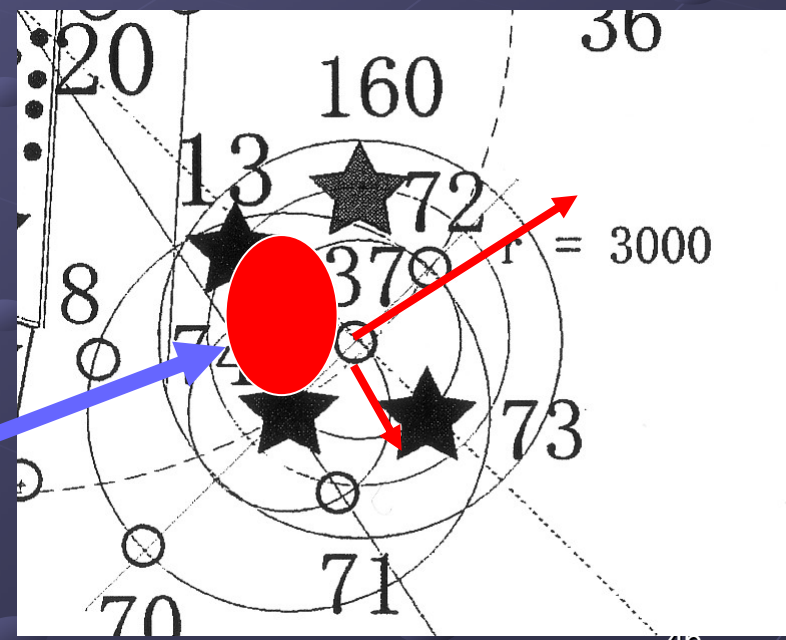
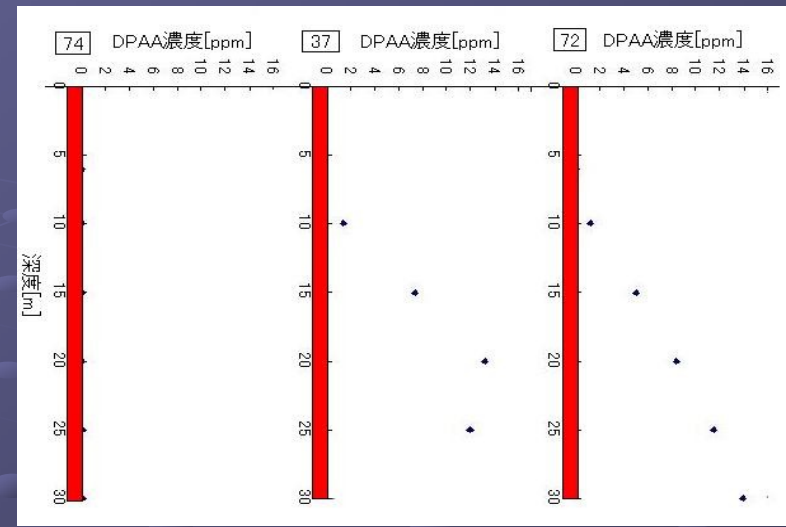
観測井 No.	DPAA濃度 (ppm)					
	6m	10m	15m	20m	25m	30m
13	/	0.001	0.001	0.004	0.010	/
74	0.017	0.015	0.013	0.036	0.053	0.054

No.13, No.74ではほとんど検出されていない



汚染源はNo.13, 37, 74に囲まれた領域に存在する

汚染源

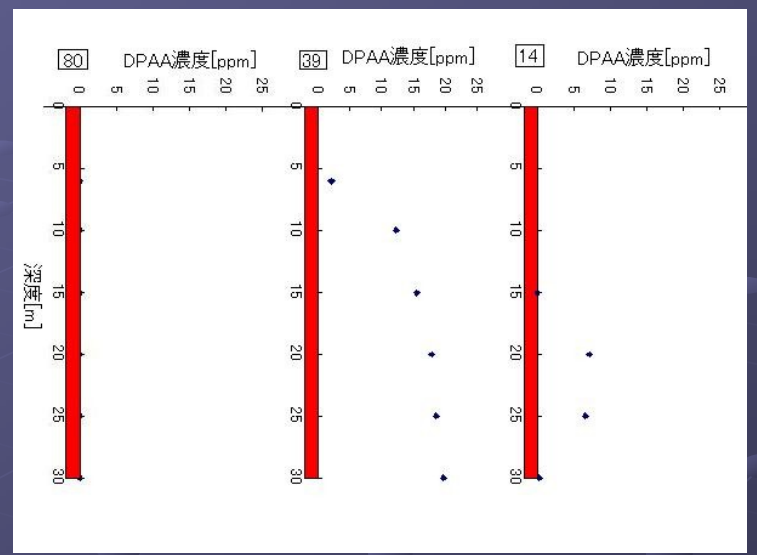


4. 汚染源推定 - No.39周辺

汚染の方向

- No.39→No.14

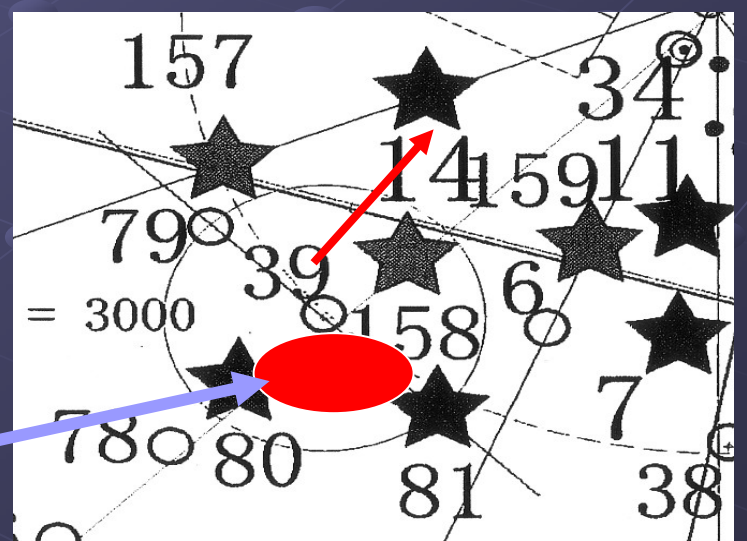
観測井 No.	DPAA濃度 (ppm)					
	6m	10m	15m	20m	25m	30m
80	0.003	0.003	0.002	0.003	0.005	0.010
81	0.001	0.003	0.213	0.699	0.892	1.060



No.80, No.81ではほとんど検出されていない

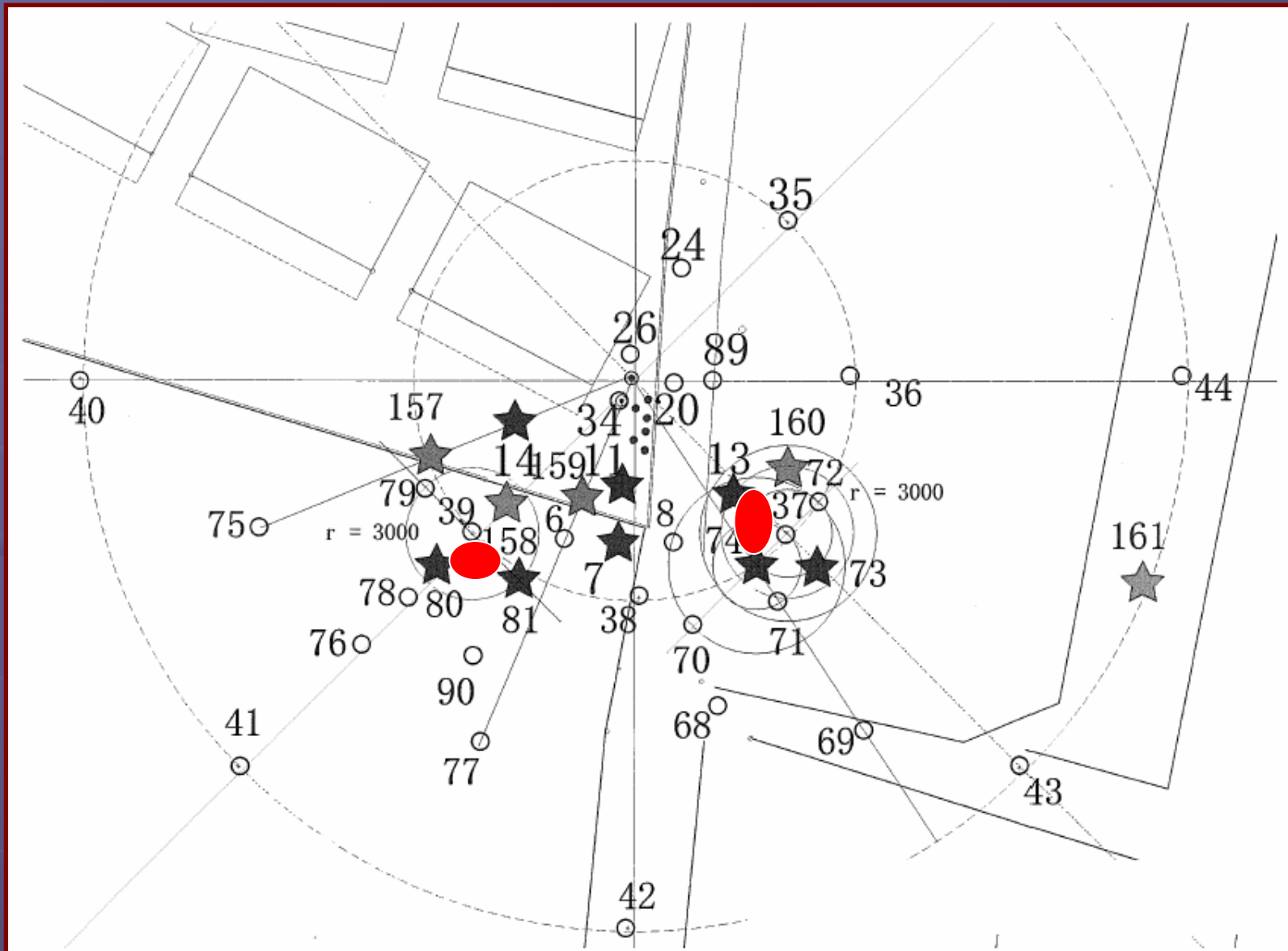


汚染源はNo.39, 80, 81に囲まれた領域に存在する

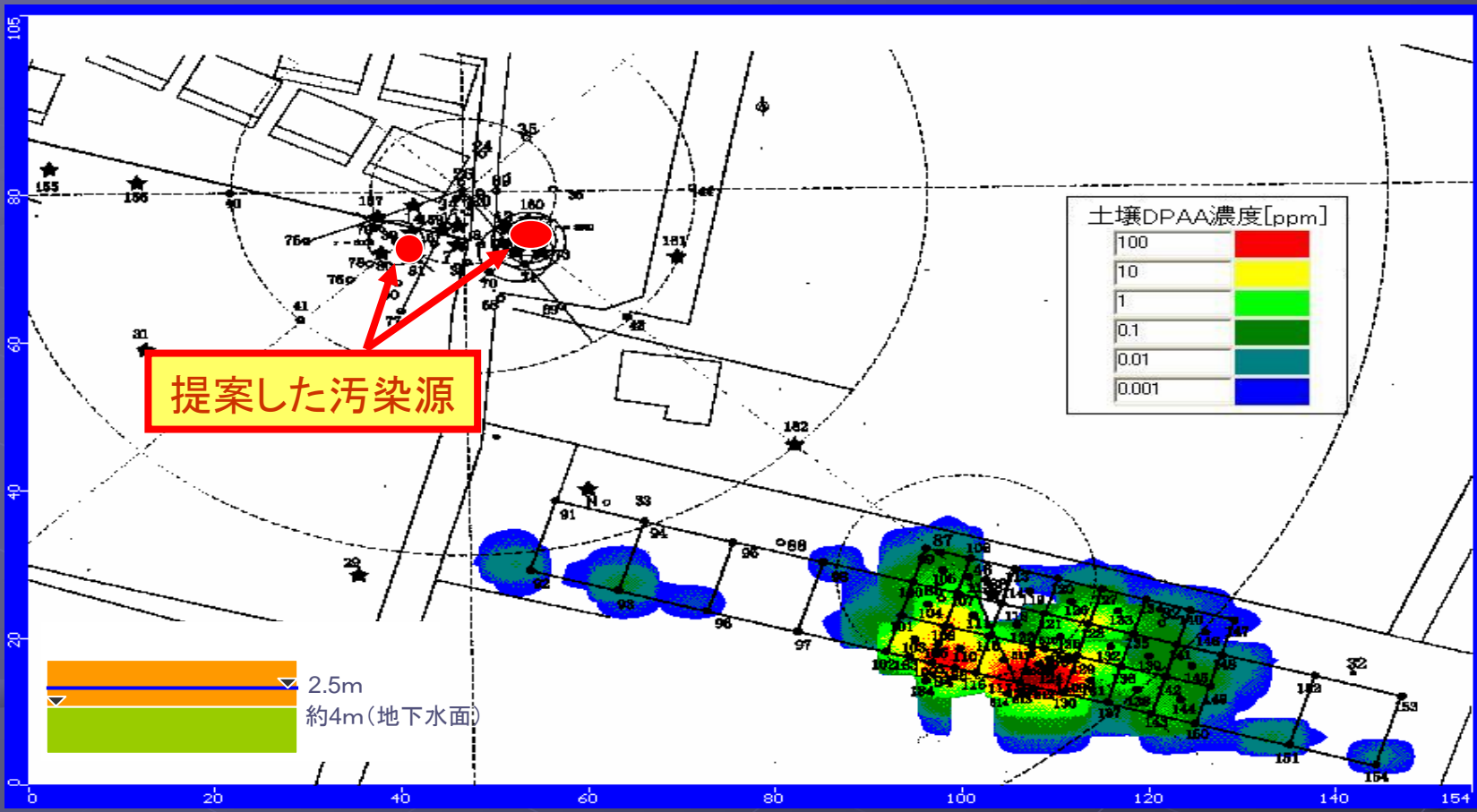


汚染源

4. 汚染源推定



5. 地質からの考察

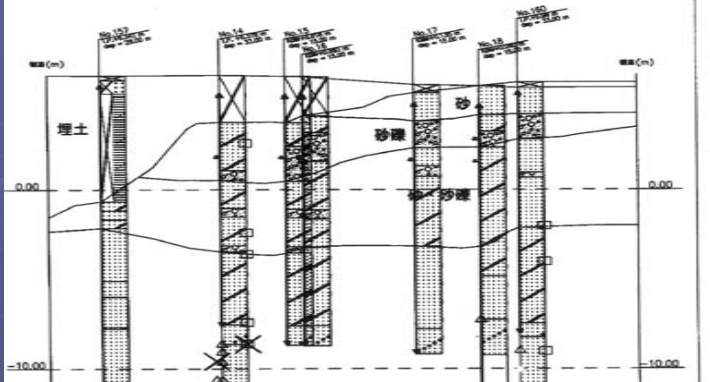
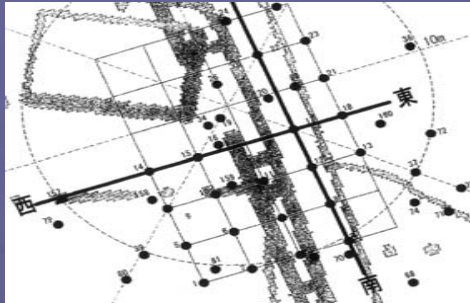


地下2.5mにおける土壤中DPAA濃度

では何故A1地区では浅い層において土壤中にDPAAが検出されなかったのか

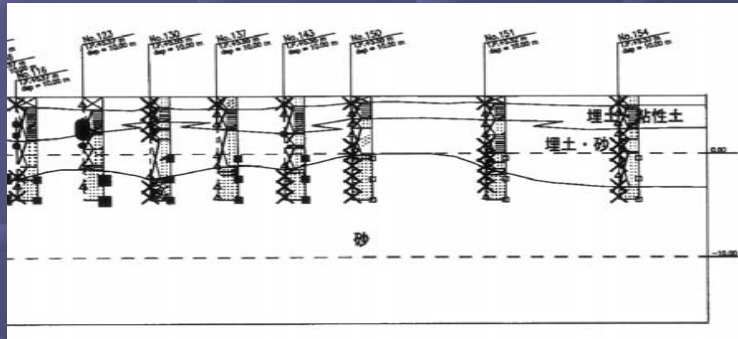
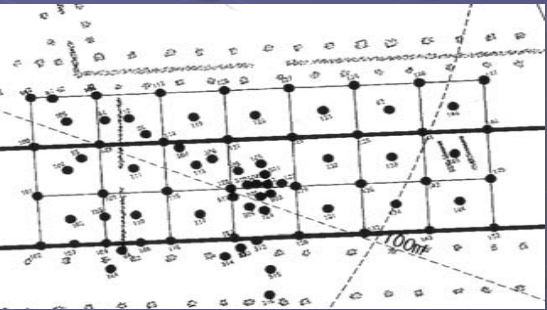
5. 地質からの考察

A1地区



砂層で構成

A2地区



粘土層が広く分布している

・砂と粘土では透水係数が1/1000ほどのオーダーで異なり、粘土の方が圧倒的に水が流れにくい



A1地区・・・ほとんどが地下に流れていってしまっている
A2地区・・・粘土層に埋められた部分に留まっている

考察と結論

- 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A₁地区の汚染原因とは考えにくい。
- A₁地区の汚染とA₂地区の汚染は、別の汚染源によるものである。
- A₁地区の汚染源として、2点を提案した。

今後の課題

- 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がある。

(終わり)

神栖町汚染事件解析 (終わり)

指導教官 羽田野 祐子

200335245 佐藤 健一郎

200430152 宮本 健太郎

200430155 周 慧萍