

2. 広域地下水汚染シミュレーション

2.1 目的

2007年6月に公表したシミュレーション等報告書では、広域の地下水モデルを作成し地下水流動（流向・流速）を検討した上で、A井戸南東90mで発見されたコンクリート様の塊から溶出したジフェニルアルシン酸（DPAA）を含む汚染地下水が、A井戸周辺からB地区（AB間）及びABトラック南西地域で確認されている地下水汚染の汚染源になりうるかについて、「A井戸詳細地下水汚染シミュレーション」及び「ABトラック広域地下水汚染シミュレーション」等を用いて再現を行った。

2007年6月以後、当時のABトラック外の西地域で、企業局揚水井戸稼働による影響と考えられる汚染が判明したことなどにより、当初、地下水流動を検討した範囲と同等の範囲で、今後の汚染地下水の挙動を予測するため、神栖地区全体を対象とした数値解析（広域地下水汚染シミュレーション）を実施した。

2.2 水文データ収集・整理

広域地下水汚染シミュレーションを行うにあたり、まず神栖地域における過去15年以上（1993年～）の水文データを収集した。収集したデータは、以下のものである。

- ①降水量データ
- ②周辺地下水位連続観測データ
- ③茨城県企業局揚水データ

図 2.2.2 観測地点位置図

図 2.2.3 降水量（日単位）、観測地点：神栖市役所

図 2.2.4 降水量（月単位）、観測地点：神栖市役所

図 2.2.5 地下水位（神栖市地下水位観測所）

図 2.2.6 企業局揚水井戸の揚水量と地下水位

1) 降水量データ

- ・ 年間雨量は1994年度が最も少なく（986.5mm）、2004年度が最も多い（1787mm）。
- ・ 月間雨量では1995年12月が最も少なく（0.5mm）、2004年10月が最も多い（597mm）。
- ・ 特に、2004年10月の雨量は、2番目雨量（467mm：2010年9月）に比べても100mm以上突出した雨量となり、特異な雨量であった。

2) 神栖市地下水位観測データ

- ・ 神栖三中を除く井戸で、降雨による反応が強く表れており、減衰も早い。
⇒透水係数が高いことがうかがえる。
- ・ 神栖三中、軽野東小は、微小変動が少なく、降雨応答が遅れる傾向にある。
⇒側方からの地下水流動量が少ない。
⇒地下水流動場、地質の違いが考えられる。

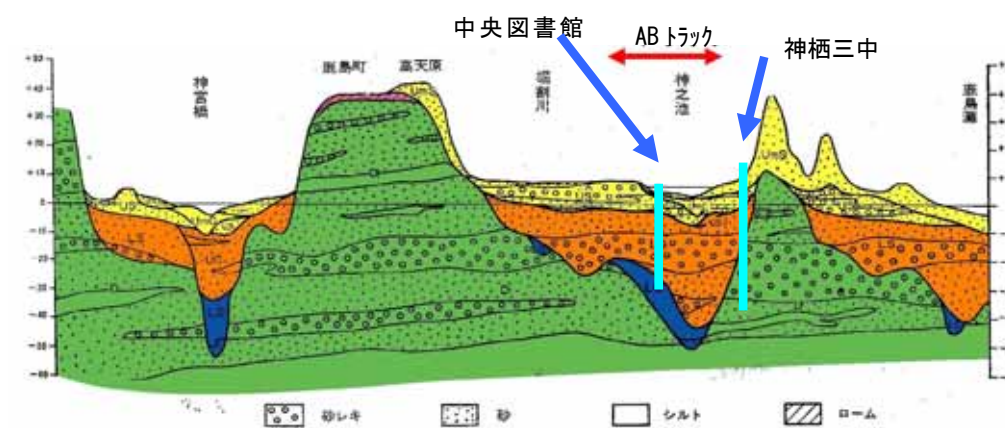


図 2.2.1 神栖地域の模式地質と観測孔位置

3) 企業局揚水データ

表 2.2.1 企業局揚水井戸データ

| 番号 | 標高 | 深度 | 年度 | | | | | | | | | | | | | | | | | 2009.3～2010.2 平均揚水量 (m ³ /日) | |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|------|
| | | | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | | 2009 |
| 1号 | 6.14 | 30.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 160 |
| 2号 | 6.84 | 30.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |
| 3号 | 7.34 | 30.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1011 |
| 4号 | 7.34 | 40.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1198 |
| 5号 | 7.84 | 40.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |
| 6号 | 7.24 | 36.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 259 |
| 7号 | 6.54 | 35.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 863 |
| 8号 | 6.74 | 41.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |
| 9号 | 8.04 | 35.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 47 |
| 10号 | 7.64 | 35.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |

- ・ 2010年2月末時点で稼働中の井戸は、1、3、4、6、7、9号の6箇所である。
- ・ 2009年3月～2010年2月の1年間では、3、4号の揚水量が多く、1000m³/日程度となっている。
- ・ 5、10号井戸は、汚染が発覚した2003年8月以降揚水を停止している。
- ・ 2、9号井戸は、一時休止を挟み2001年12月以降揚水を開始し、2号は2004年12月以降揚水を休止している。9号は2004年8月より休止していたが、2008年7月以降、50m³/日程度の揚水を実施している。
- ・ 揚水による地下水位低下は、揚水孔内で、約2～2.5m程度ある。
- ・ 揚水井戸の水位も、降雨による影響を受けている。

図2.2.2 観測地点位置図

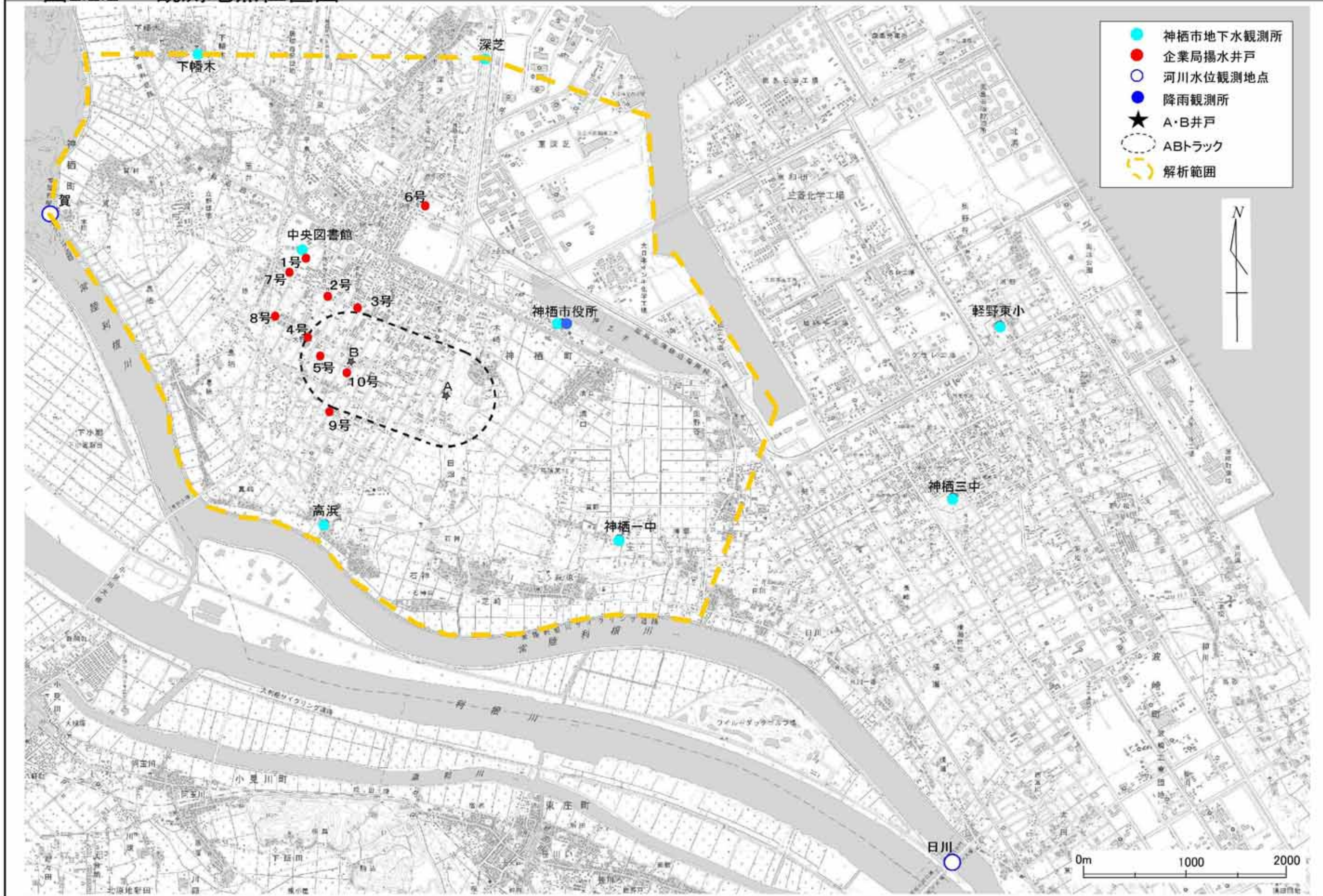
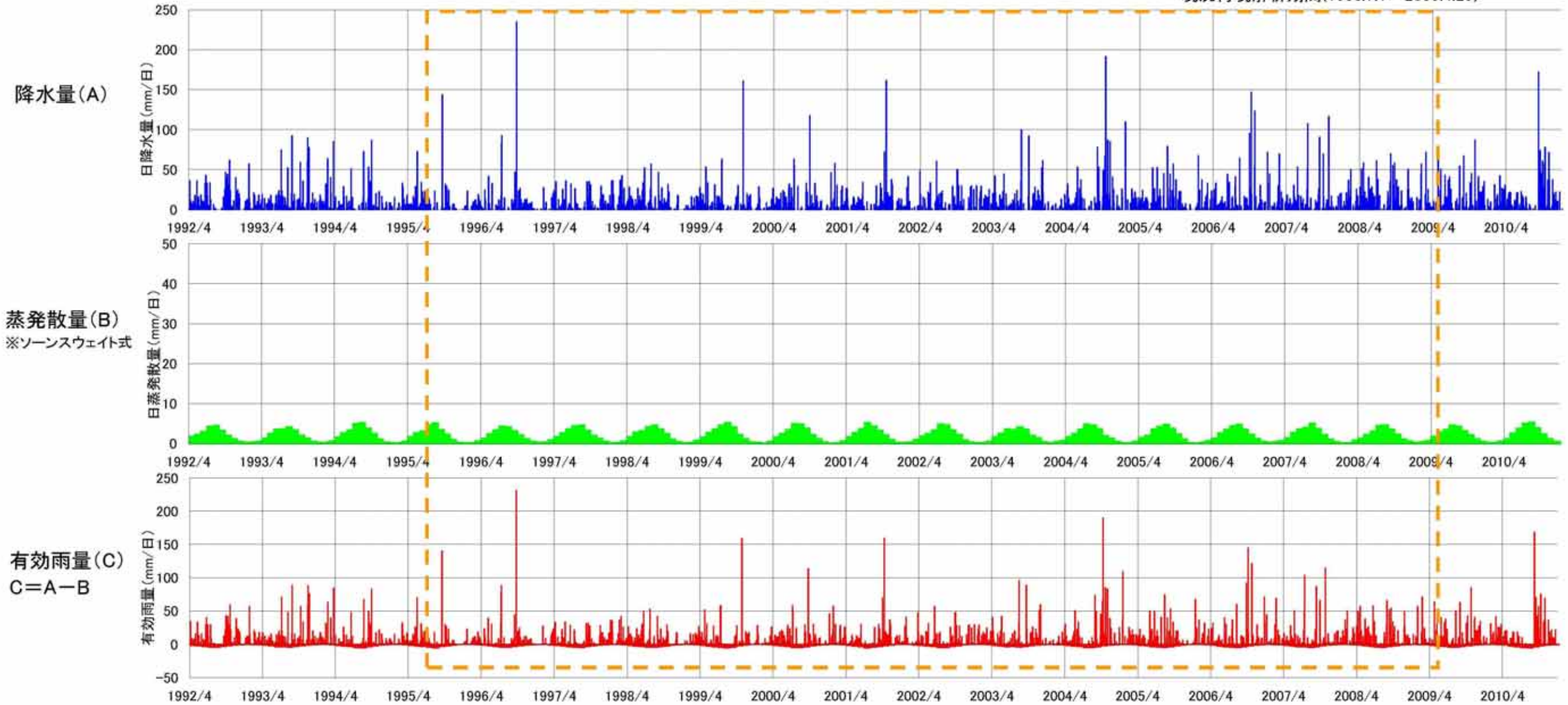


図2.2.3 降水量(日単位)、観測点:神栖市役所

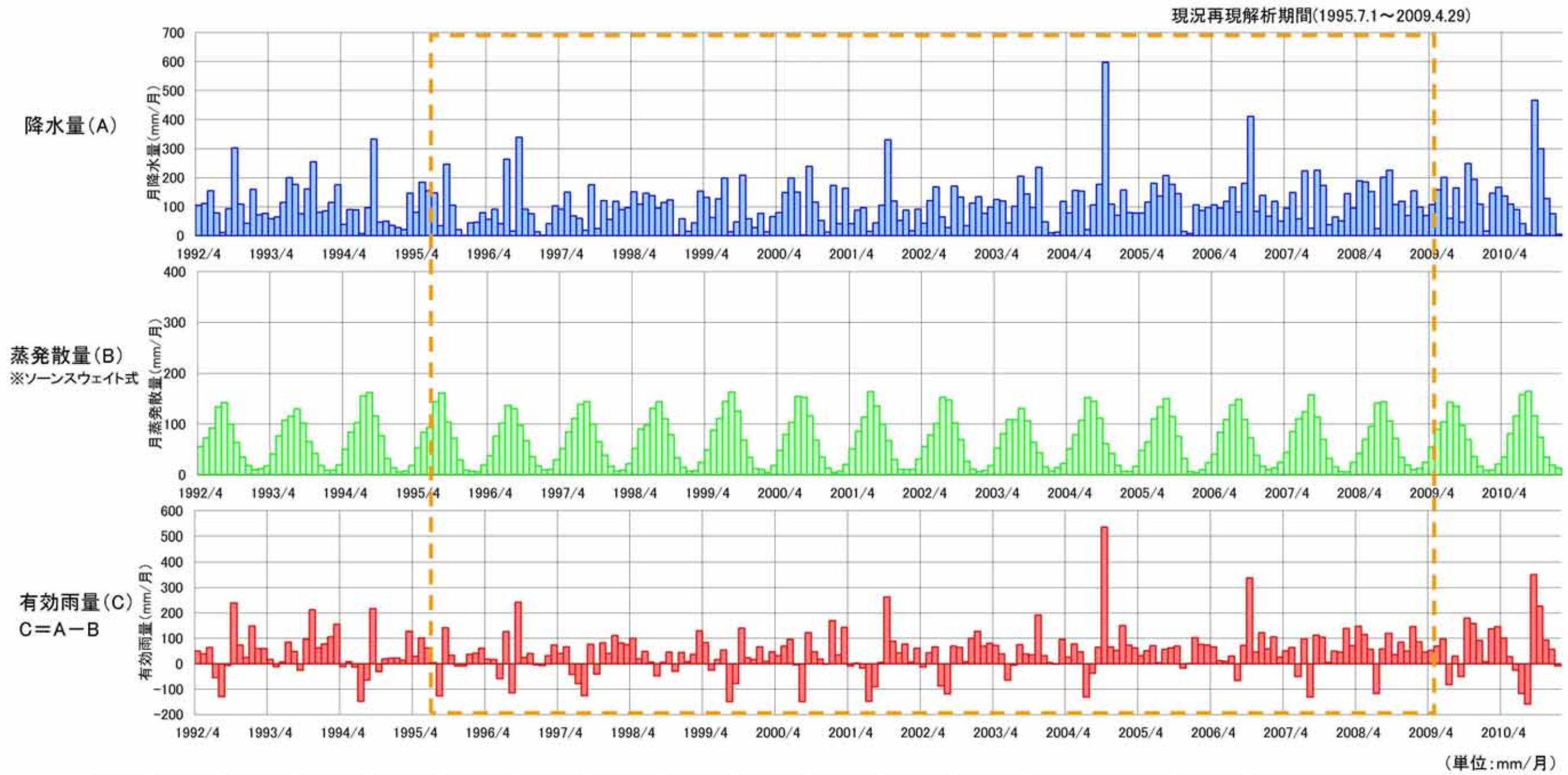
現況再現解析期間(1995.7.1~2009.4.29)



(単位:mm/月)

| | 1992年度 | 1993年度 | 1994年度 | 1995年度 | 1996年度 | 1997年度 | 1998年度 | 1999年度 | 2000年度 | 2001年度 | 2002年度 | 2003年度 | 2004年度 | 2005年度 | 2006年度 | 2007年度 | 2008年度 | 2009年度 | 2010年度 |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 4月 | 105.5 | 58.5 | 39 | 81.5 | 56.0 | 92.0 | 151.0 | 132.5 | 80.0 | 42.0 | 43.0 | 124.5 | 78.0 | 79 | 107 | 95.5 | 189 | 107.5 | 137 |
| 5月 | 111 | 65.5 | 91 | 185.0 | 92.0 | 150.5 | 109.0 | 63.0 | 149.0 | 88.5 | 121.5 | 120.0 | 157.0 | 116.5 | 95.5 | 149 | 185.5 | 159 | 108.5 |
| 6月 | 155.5 | 114.5 | 89.5 | 155.5 | 42.5 | 68.5 | 147.0 | 127.5 | 199.5 | 97.0 | 168.5 | 45.0 | 154.0 | 180.5 | 118.5 | 59 | 152.5 | 201.5 | 90.5 |
| 7月 | 79 | 200 | 8.0 | 147.5 | 263.5 | 60.5 | 138.0 | 198.5 | 150.0 | 15.5 | 65.0 | 102.0 | 21.0 | 137 | 167.5 | 223 | 24.5 | 60.5 | 41.5 |
| 8月 | 12 | 177 | 97.0 | 34.5 | 16.5 | 18.5 | 96.0 | 14.0 | 3.5 | 44.5 | 28.5 | 205.0 | 107.0 | 207.5 | 82.5 | 26.5 | 202 | 165 | 6.5 |
| 9月 | 93.5 | 76.5 | 332.5 | 246.0 | 338.5 | 176.0 | 115.5 | 47.5 | 239.0 | 105.5 | 171.5 | 144.5 | 177.0 | 177.5 | 181 | 226 | 225.5 | 46.5 | 467.5 |
| 10月 | 302 | 161.5 | 47.0 | 105.0 | 91.5 | 24.5 | 124.0 | 209.0 | 116.0 | 330.5 | 133.5 | 98.5 | 597.0 | 145.5 | 411 | 173.5 | 107.5 | 248.5 | 300.5 |
| 11月 | 108.5 | 254.5 | 50.5 | 21.0 | 76.5 | 121.0 | 3.5 | 58.5 | 52.5 | 119.5 | 34.5 | 236.0 | 109.0 | 15.5 | 84.5 | 38 | 118.5 | 194.5 | 128 |
| 12月 | 43.5 | 72 | 36.0 | 0.5 | 13.5 | 56.5 | 59.0 | 29.0 | 12.5 | 53.5 | 112.0 | 48.0 | 71.0 | 8 | 139 | 65.5 | 70 | 109 | 76 |
| 1月 | 159.5 | 85.5 | 28.0 | 44.5 | 2.0 | 118.5 | 15.5 | 77.0 | 173.5 | 88.0 | 134.0 | 10.5 | 157.5 | 106.5 | 68 | 51.5 | 155.5 | 16.5 | 5 |
| 2月 | 74 | 117.5 | 21.0 | 46.5 | 42.0 | 90.5 | 45.0 | 14.5 | 41.5 | 17.5 | 77.0 | 13.0 | 80 | 87 | 119 | 145 | 99 | 147 | |
| 3月 | 68.5 | 175.5 | 147.0 | 80.0 | 102.5 | 97.0 | 154.5 | 66.0 | 164.0 | 92.0 | 99.0 | 118.5 | 78.5 | 98.2 | 50 | 95 | 70.5 | 167 | |
| 年間 | 1312.5 | 1558.5 | 986.5 | 1147.5 | 1137.0 | 1074.0 | 1158.0 | 1037.0 | 1381.0 | 1094.0 | 1188.0 | 1265.5 | 1787.0 | 1358.7 | 1623.5 | 1347.5 | 1600.0 | 1622.5 | |

図2.2.4 降水量(月単位)、観測点:神栖市役所



(単位:mm/月)

| | 1992年度 | 1993年度 | 1994年度 | 1995年度 | 1996年度 | 1997年度 | 1998年度 | 1999年度 | 2000年度 | 2001年度 | 2002年度 | 2003年度 | 2004年度 | 2005年度 | 2006年度 | 2007年度 | 2008年度 | 2009年度 | 2010年度 |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 4月 | 105.5 | 58.5 | 39 | 81.5 | 56.0 | 92.0 | 151.0 | 132.5 | 80.0 | 42.0 | 43.0 | 124.5 | 78.0 | 79 | 107 | 95.5 | 189 | 107.5 | 137 |
| 5月 | 111 | 65.5 | 91 | 185.0 | 92.0 | 150.5 | 109.0 | 63.0 | 149.0 | 88.5 | 121.5 | 120.0 | 157.0 | 116.5 | 95.5 | 149 | 185.5 | 159 | 108.5 |
| 6月 | 155.5 | 114.5 | 89.5 | 155.5 | 42.5 | 68.5 | 147.0 | 127.5 | 199.5 | 97.0 | 168.5 | 45.0 | 154.0 | 180.5 | 118.5 | 59 | 152.5 | 201.5 | 90.5 |
| 7月 | 79 | 200 | 8.0 | 147.5 | 263.5 | 60.5 | 138.0 | 198.5 | 150.0 | 15.5 | 65.0 | 102.0 | 21.0 | 137 | 167.5 | 223 | 24.5 | 60.5 | 41.5 |
| 8月 | 12 | 177 | 97.0 | 34.5 | 16.5 | 18.5 | 96.0 | 14.0 | 3.5 | 44.5 | 28.5 | 205.0 | 107.0 | 207.5 | 82.5 | 26.5 | 202 | 165 | 6.5 |
| 9月 | 93.5 | 76.5 | 332.5 | 246.0 | 338.5 | 176.0 | 115.5 | 47.5 | 239.0 | 105.5 | 171.5 | 144.5 | 177.0 | 177.5 | 181 | 226 | 225.5 | 46.5 | 467.5 |
| 10月 | 302 | 161.5 | 47.0 | 105.0 | 91.5 | 24.5 | 124.0 | 209.0 | 116.0 | 330.5 | 133.5 | 98.5 | 597.0 | 145.5 | 411 | 173.5 | 107.5 | 248.5 | 300.5 |
| 11月 | 108.5 | 254.5 | 50.5 | 21.0 | 76.5 | 121.0 | 3.5 | 58.5 | 52.5 | 119.5 | 34.5 | 236.0 | 109.0 | 15.5 | 84.5 | 38 | 118.5 | 194.5 | 128 |
| 12月 | 43.5 | 72 | 36.0 | 0.5 | 13.5 | 56.5 | 59.0 | 29.0 | 12.5 | 53.5 | 112.0 | 48.0 | 71.0 | 8 | 139 | 65.5 | 70 | 109 | 76 |
| 1月 | 159.5 | 85.5 | 28.0 | 44.5 | 2.0 | 118.5 | 15.5 | 77.0 | 173.5 | 88.0 | 134.0 | 10.5 | 157.5 | 106.5 | 68 | 51.5 | 155.5 | 16.5 | 5 |
| 2月 | 74 | 117.5 | 21.0 | 46.5 | 42.0 | 90.5 | 45.0 | 14.5 | 41.5 | 17.5 | 77.0 | 13.0 | 80 | 87 | 119 | 145 | 99 | 147 | |
| 3月 | 68.5 | 175.5 | 147.0 | 80.0 | 102.5 | 97.0 | 154.5 | 66.0 | 164.0 | 92.0 | 99.0 | 118.5 | 78.5 | 98.2 | 50 | 95 | 70.5 | 167 | |
| 年間 | 1312.5 | 1558.5 | 986.5 | 1147.5 | 1137.0 | 1074.0 | 1158.0 | 1037.0 | 1381.0 | 1094.0 | 1188.0 | 1265.5 | 1787.0 | 1358.7 | 1623.5 | 1347.5 | 1600.0 | 1622.5 | |

図2.2.5 地下水位(観測地点位置(図2.2.2の●))

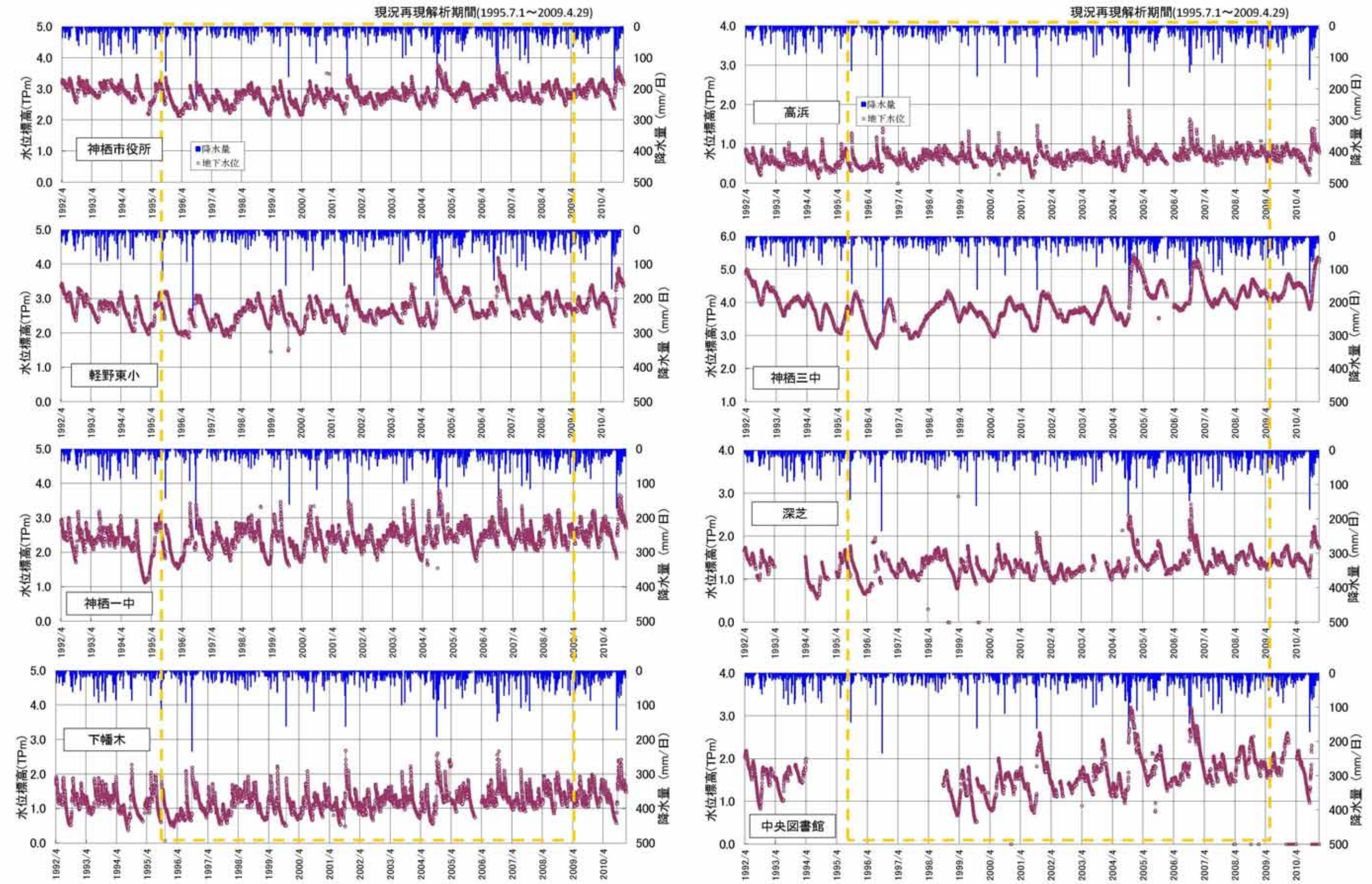
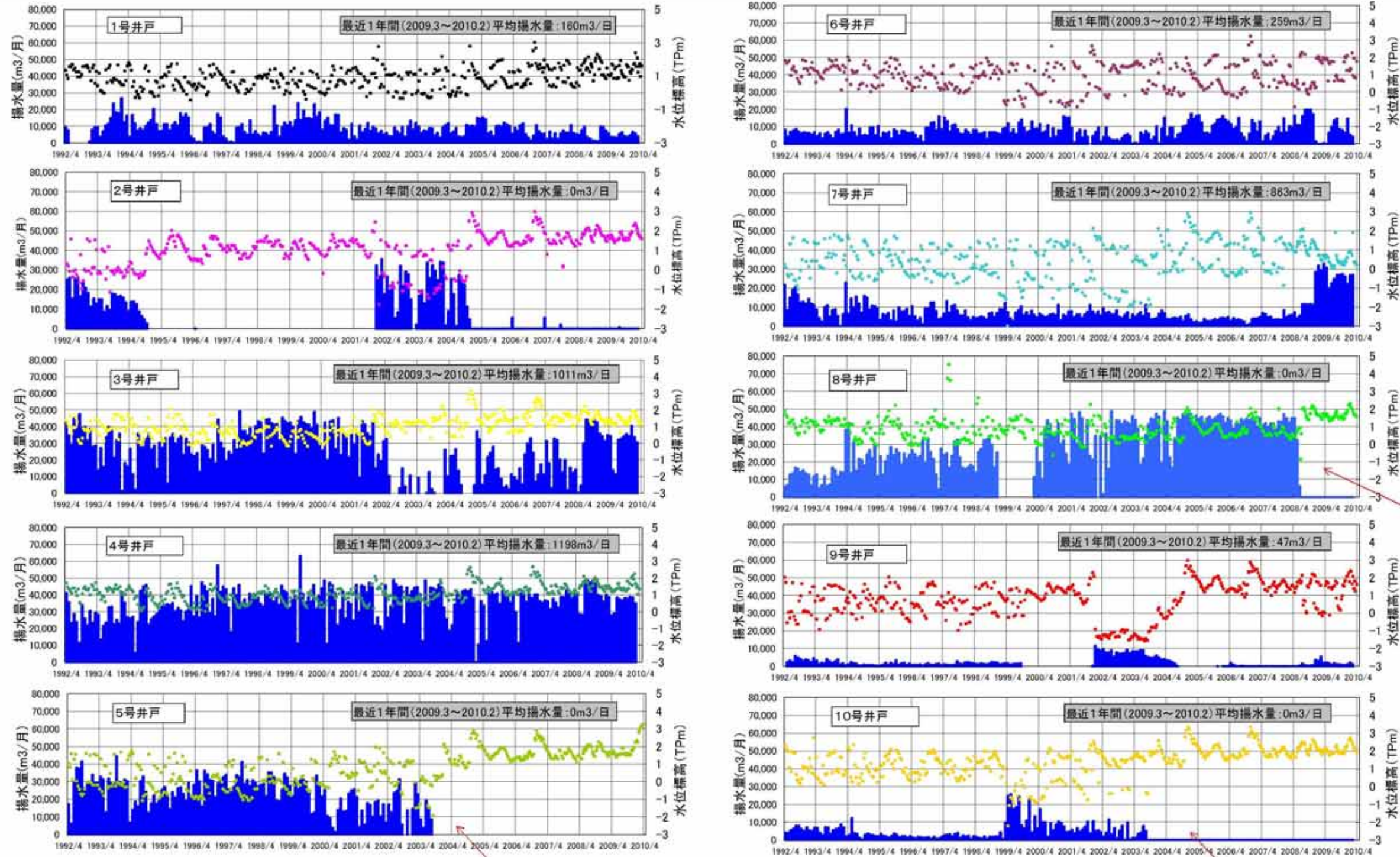


図2.2.6 企業局揚水井戸の揚水量と地下水位

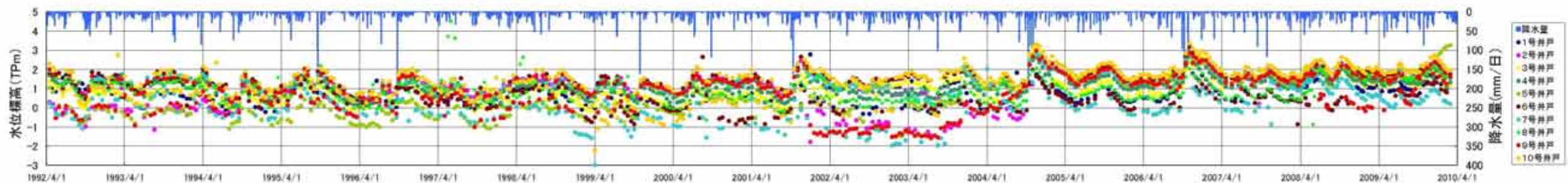


2008.6月中旬以降、揚水機を差込速度上昇により停止

2003.9月有機ヒ素検出により停止

2003.9月有機ヒ素検出により停止

揚水井戸の水位と降水量



2.3 広地下水汚染シミュレーションモデル

1) 三次元地盤モデル

三次元モデルは前述の水文データ、周辺地形条件、各種水文的境界（河川、港湾等）を考慮して、ABトラックを中心に、境界条件がABトラック内の解析結果に大きな影響を与えないよう、広域の範囲とした。その領域境界は、水位変動が少ない河川・鹿島港や、地下水位が既知である既存観測孔位置をモデル領域として設定した（図 2.3.1）。

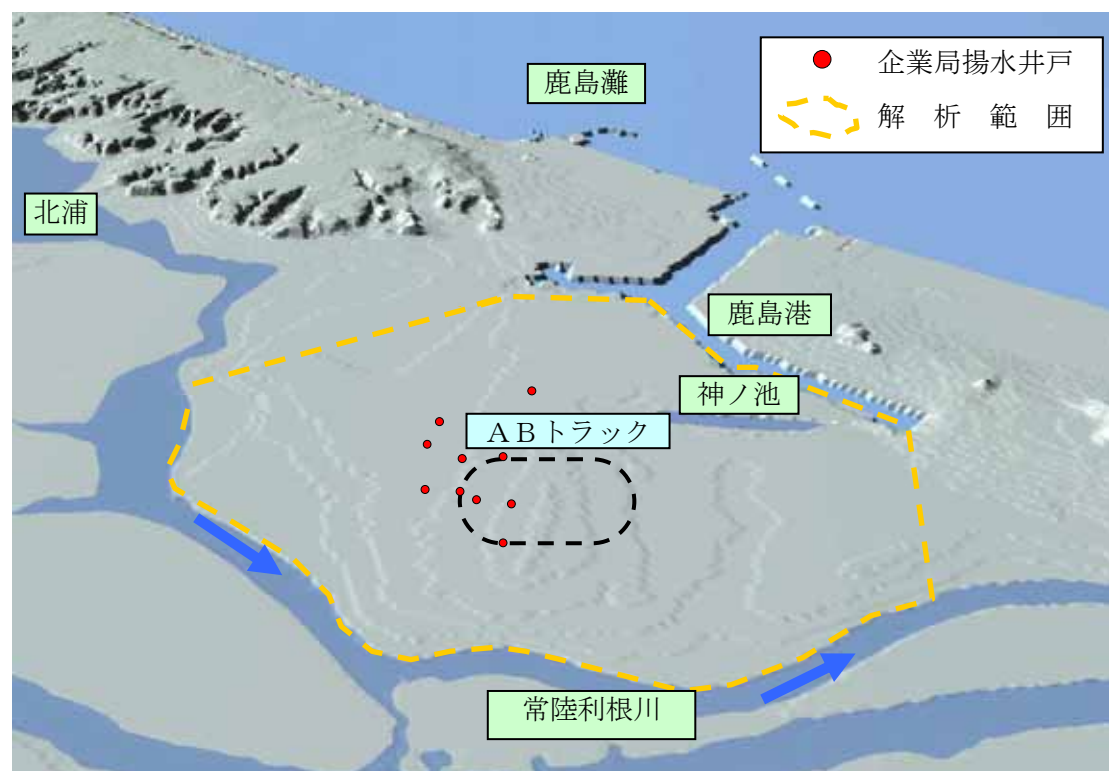


図 2.3.1 広域地下水シミュレーション範囲（標高 5 倍表示）

図 2.3.2 に三次元解析メッシュ分割図を示す。

平面メッシュはシミュレーション等報告書の解析結果を参考に、A 井戸、B 地区、及びその下流側の汚染が移動する領域で密とした。A 井戸周辺部では概ね 5m 間隔、A 井戸から B 地区にかけては 5~30m 間隔、B 地区より下流部では概ね 30m 間隔とした。また、企業局揚水井戸等の地下水同定箇所、モニタリング井戸のうち濃度同定箇所ではメッシュの交点（節点）を一致させた。

解析領域の境界は、以下のとおりとした。

- 北 : 下幡木・深芝観測所
- 北東 : 鹿島港
- 東 : 常陸利根川、鹿島港を結ぶ線
- 南から西 : 常陸利根川

表 2.3.1 三次元モデルメッシュ構成

| | 数 |
|--------|---------------|
| 節点数 | 228,260 |
| 要素数 | 217,361 |
| 平面メッシュ | 9,512 |
| 鉛直節点数 | 24 (神ノ池のみ 22) |

地盤条件、地層分布もシミュレーション等報告書における広域地下水流動シミュレーションを基本とし、以降に追加されたボーリング結果を用いて修正した。また、ABトラック南西地域に特徴的に分布する高透水の砂礫層（Dg3層）はシミュレーション等報告書のABトラック広域地下水汚染シミュレーションと同範囲としてモデル化した。図 2.3.3 に三次元地盤モデル、図 2.3.4、図 2.3.5 に三次元地盤モデル断面図、図 2.3.6 に Dg2・Dg3 層下面コンター図を示す。

図 2.3.2 三次元解析メッシュ分割図

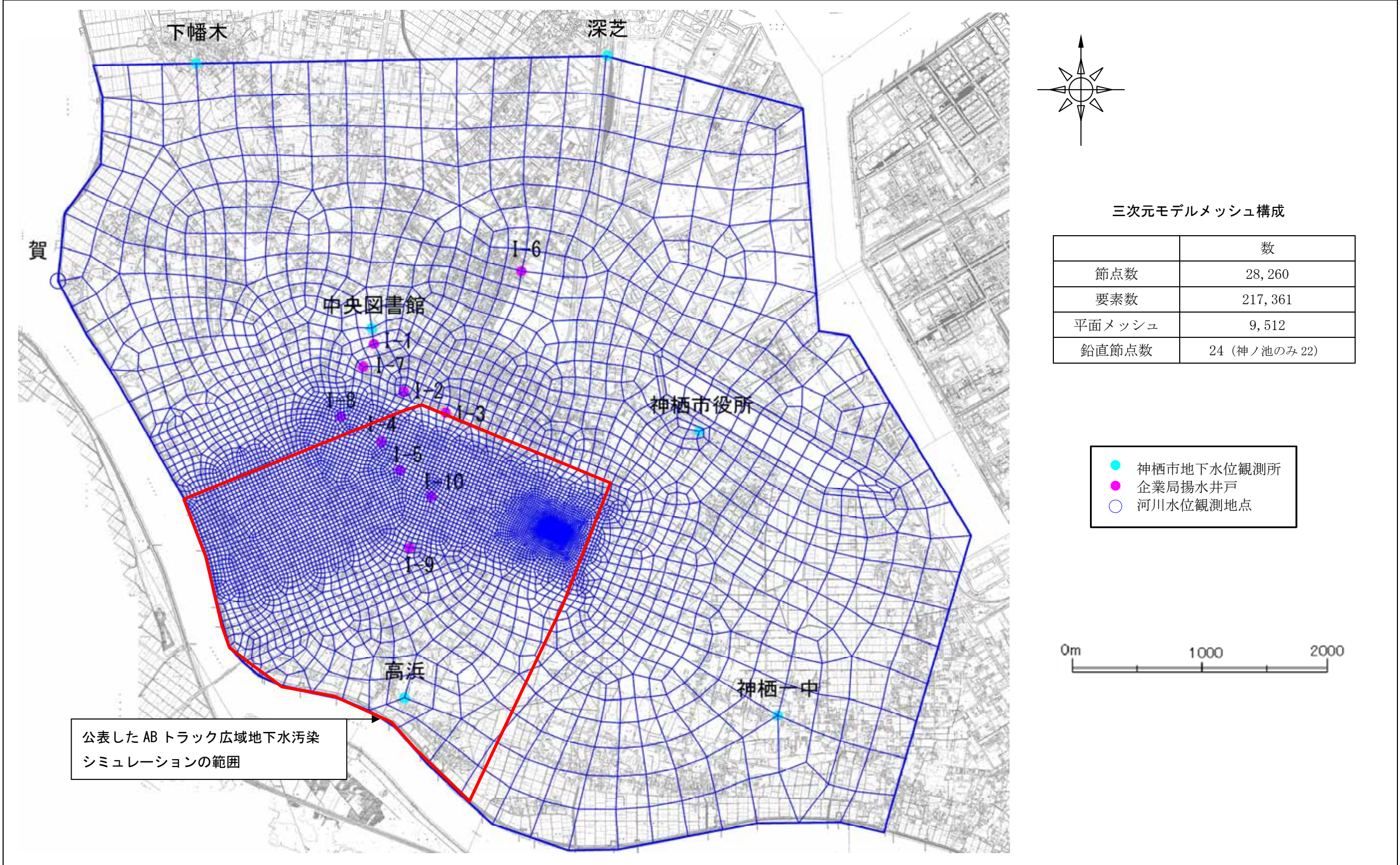


図 2.3.3 3次元地盤モデル

※深度方向 20 倍表示

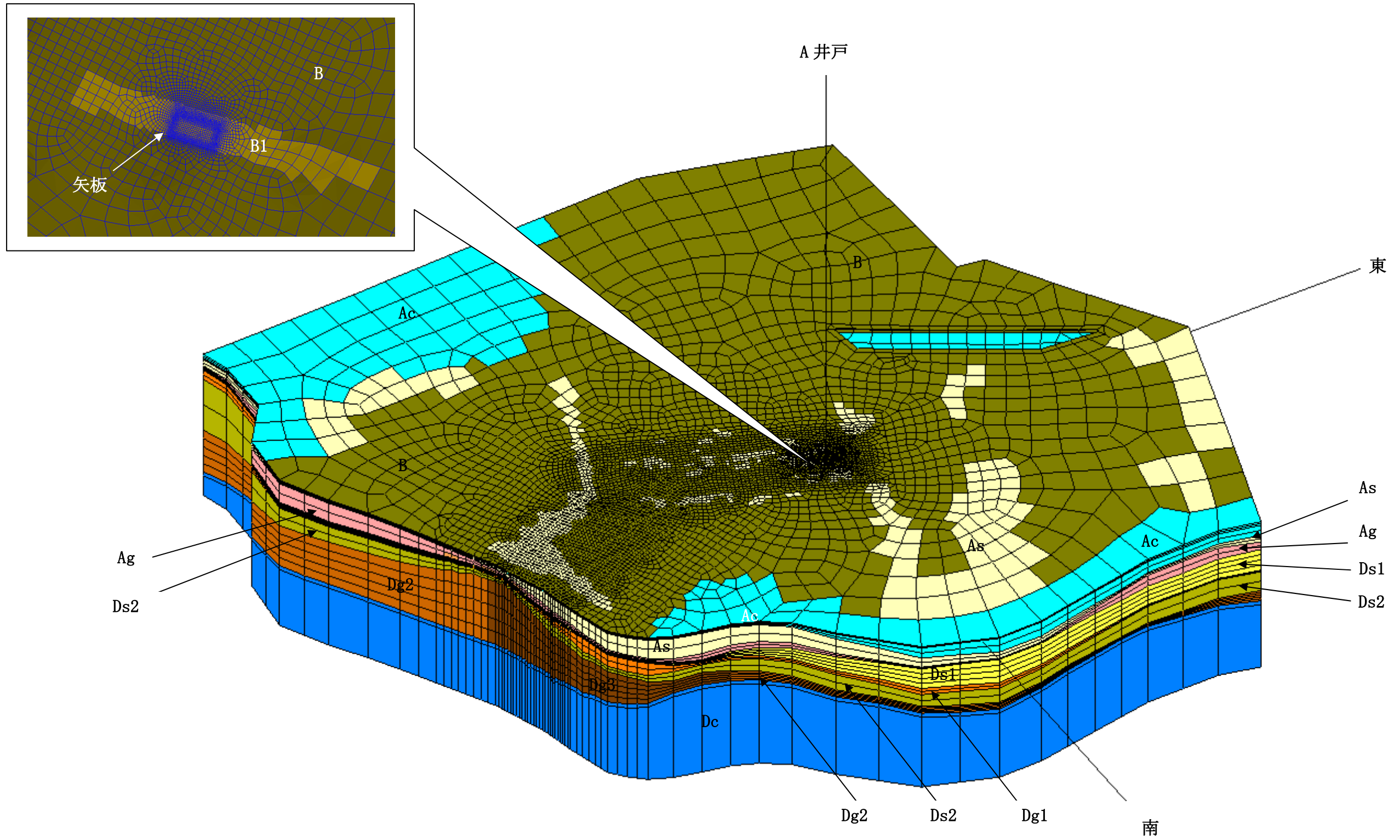
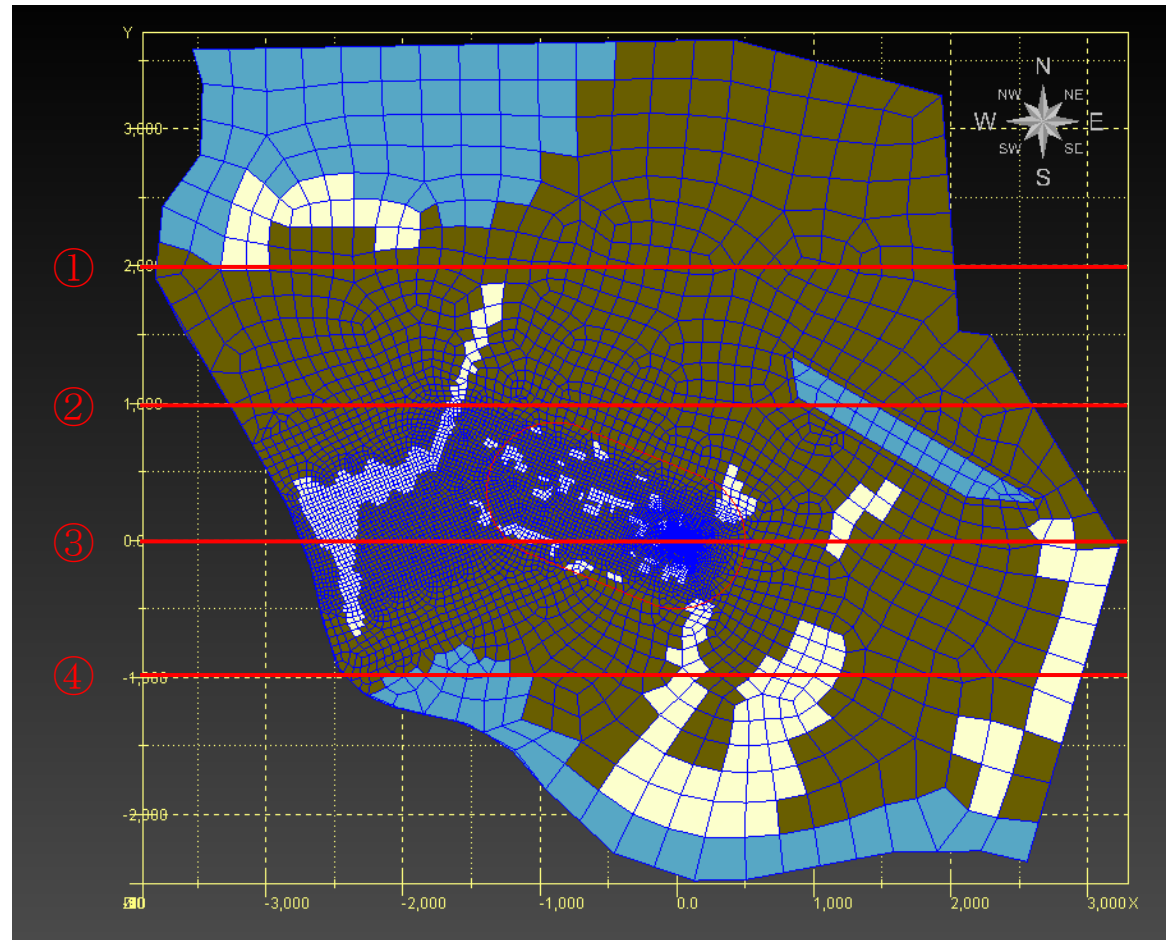
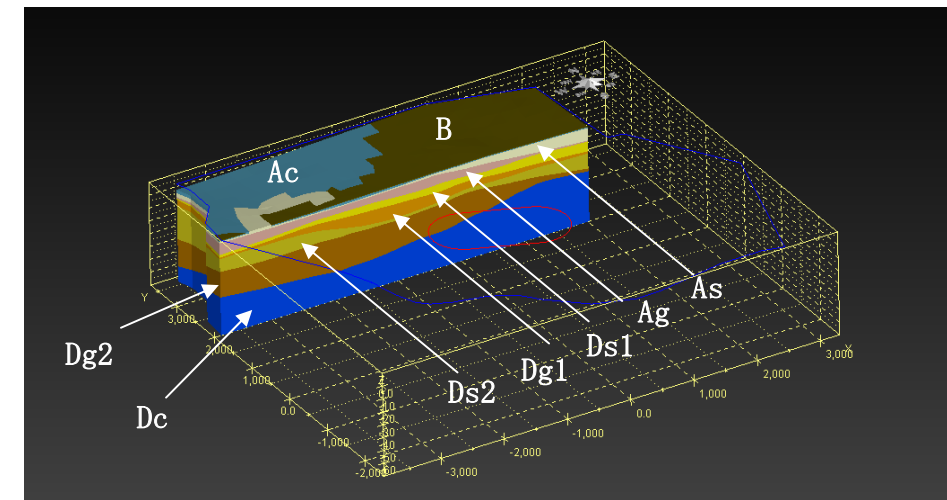


図 2.3.4 三次元地盤モデル断面図 1/2

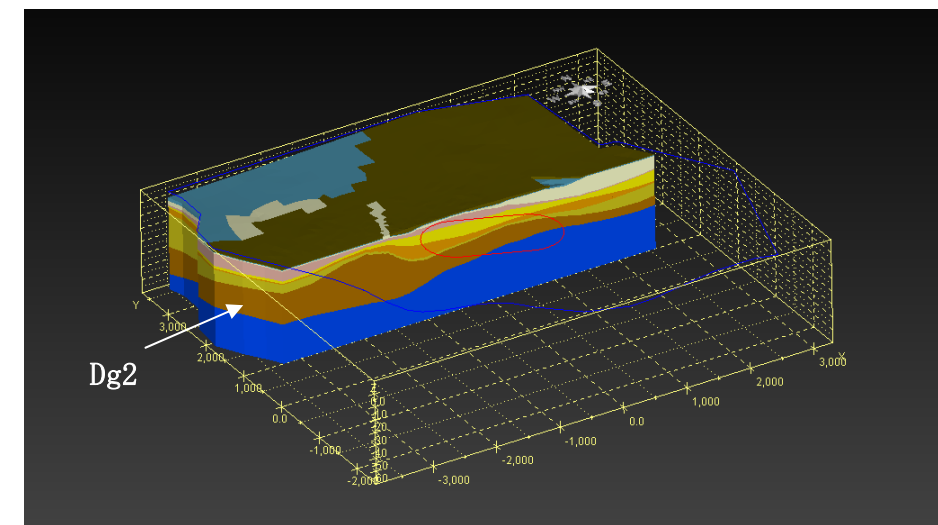
※深度方向 20 倍表示



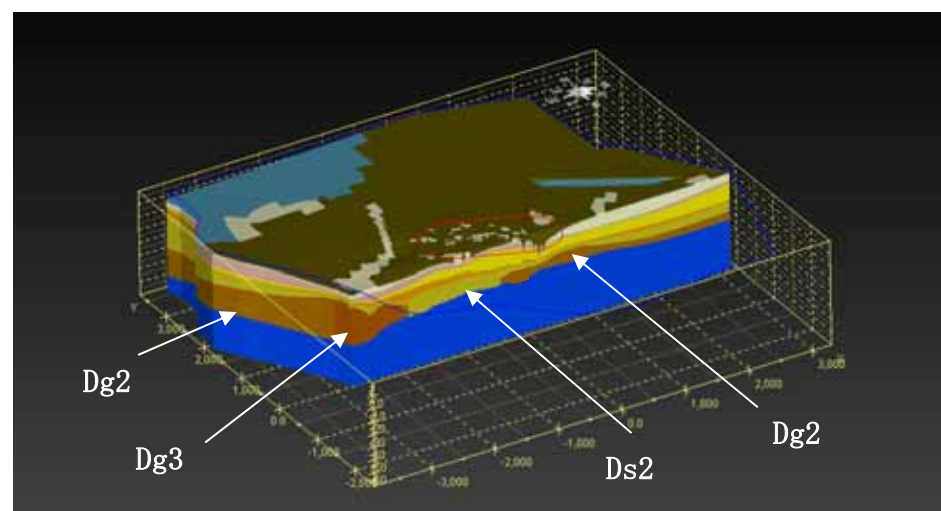
①
断面



②
断面



③
断面



④
断面

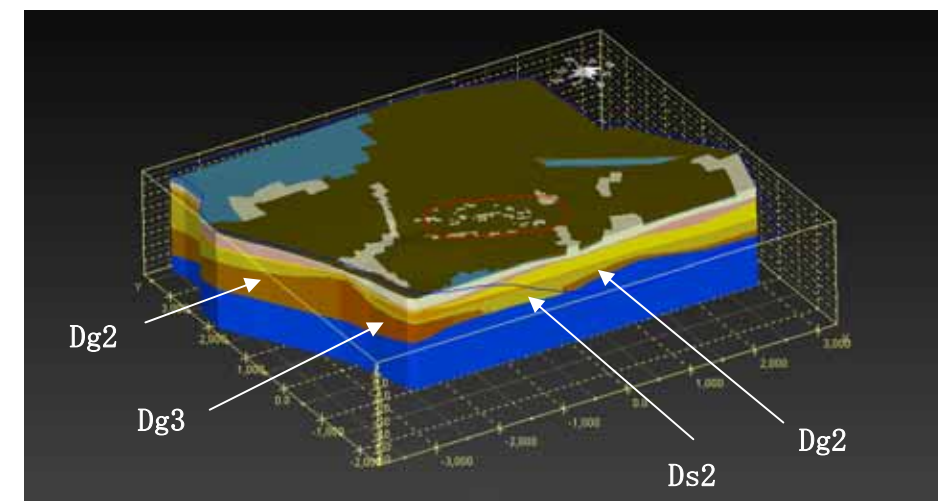
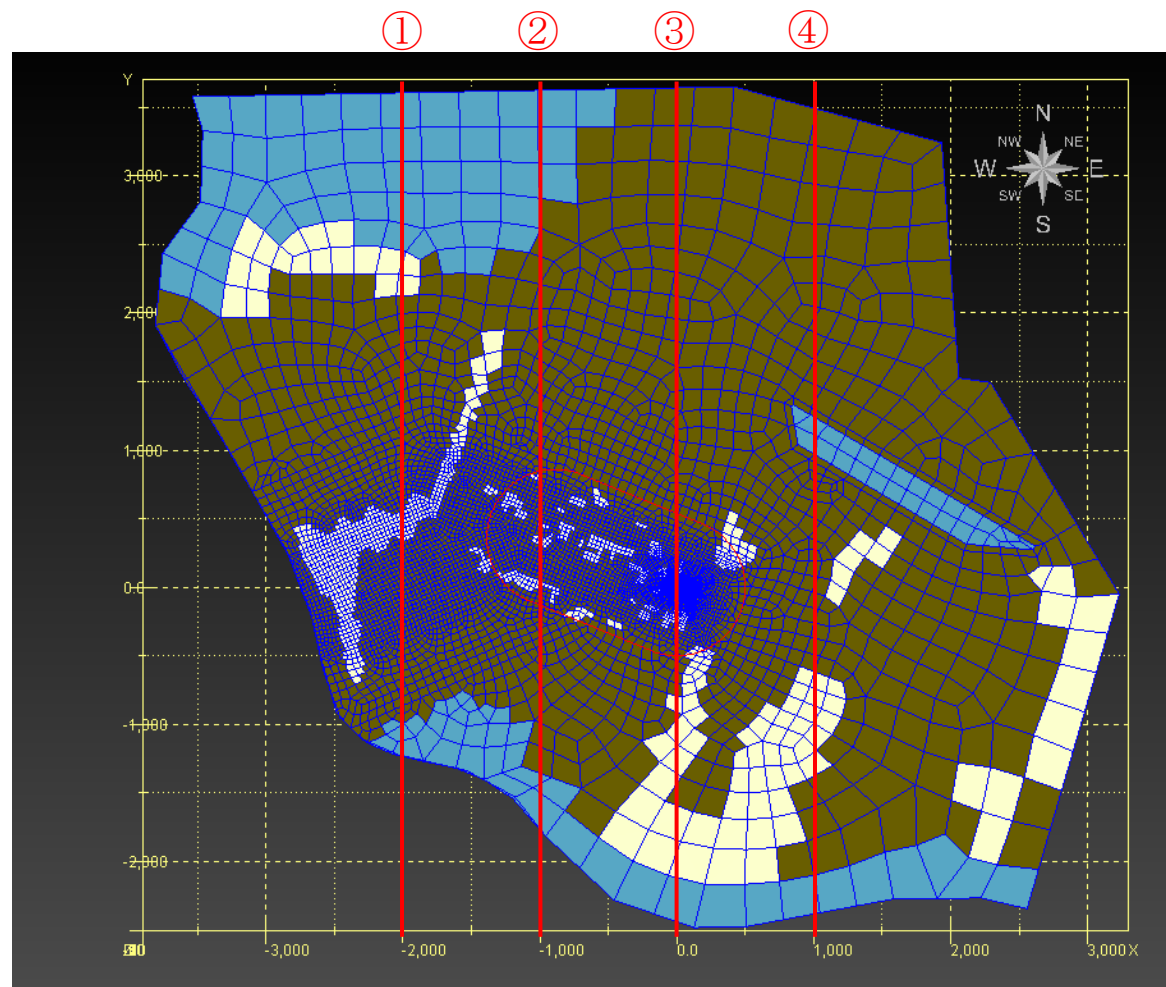
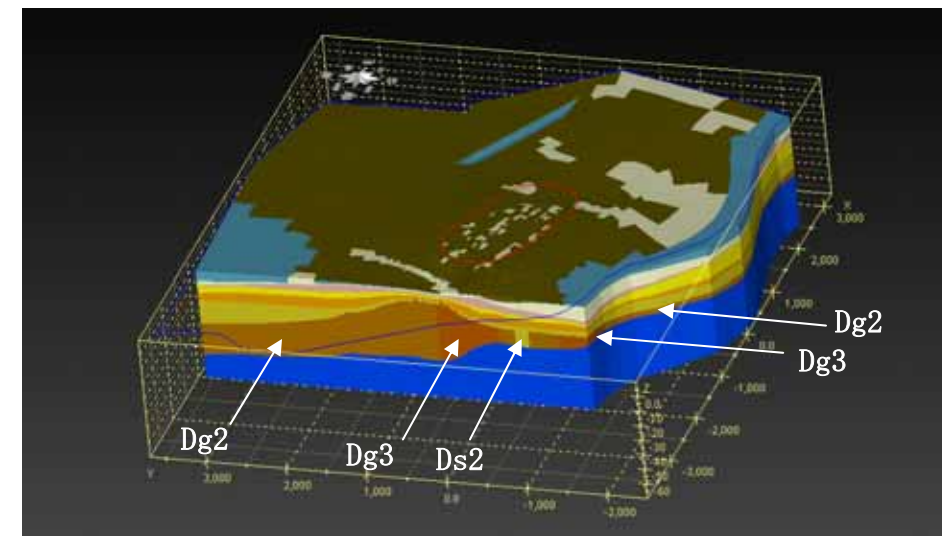


図 2.3.5 三次元地盤モデル断面図 2/2

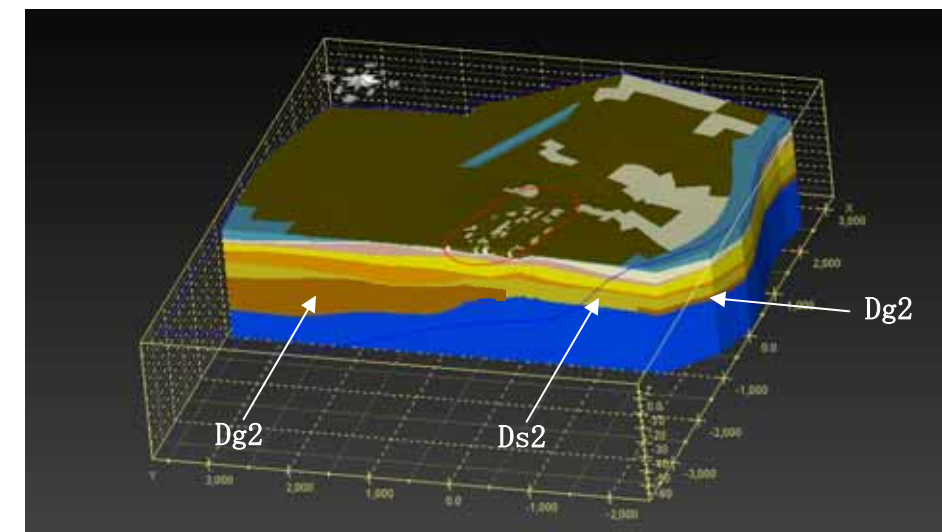
※深度方向 20 倍表示



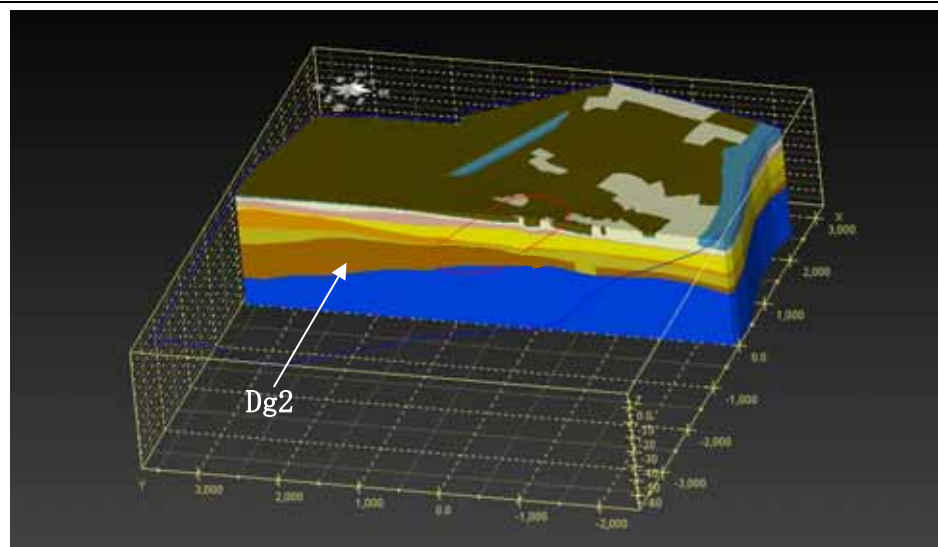
①
断面



②
断面



③
断面



④
断面

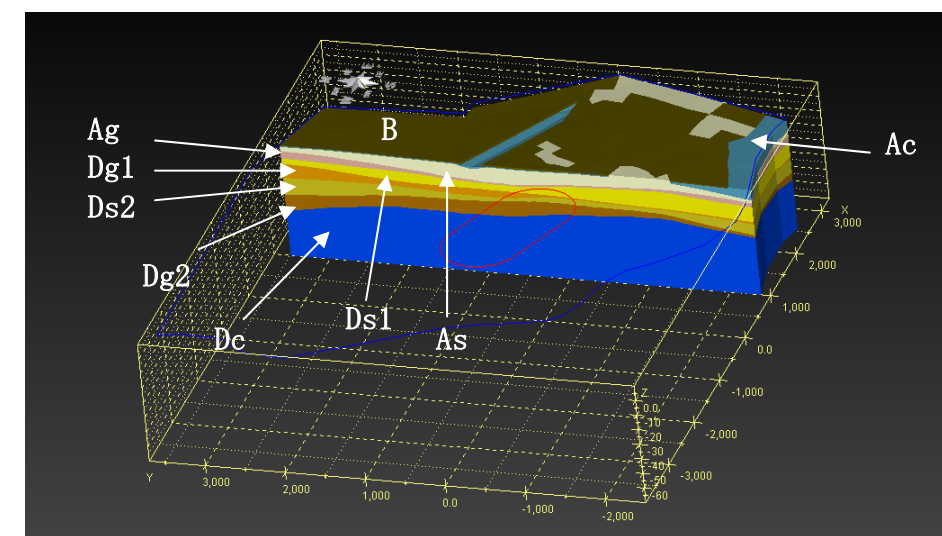
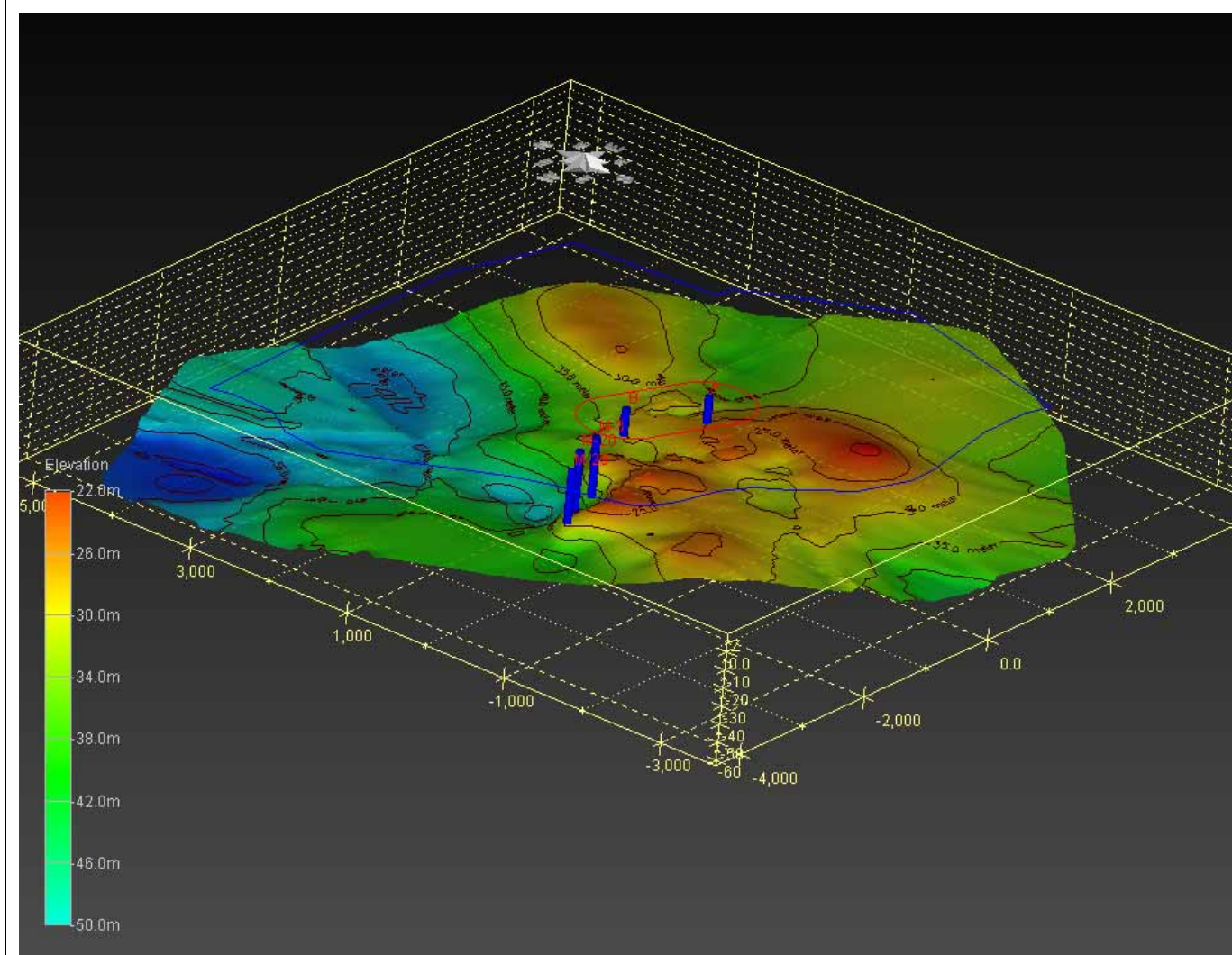
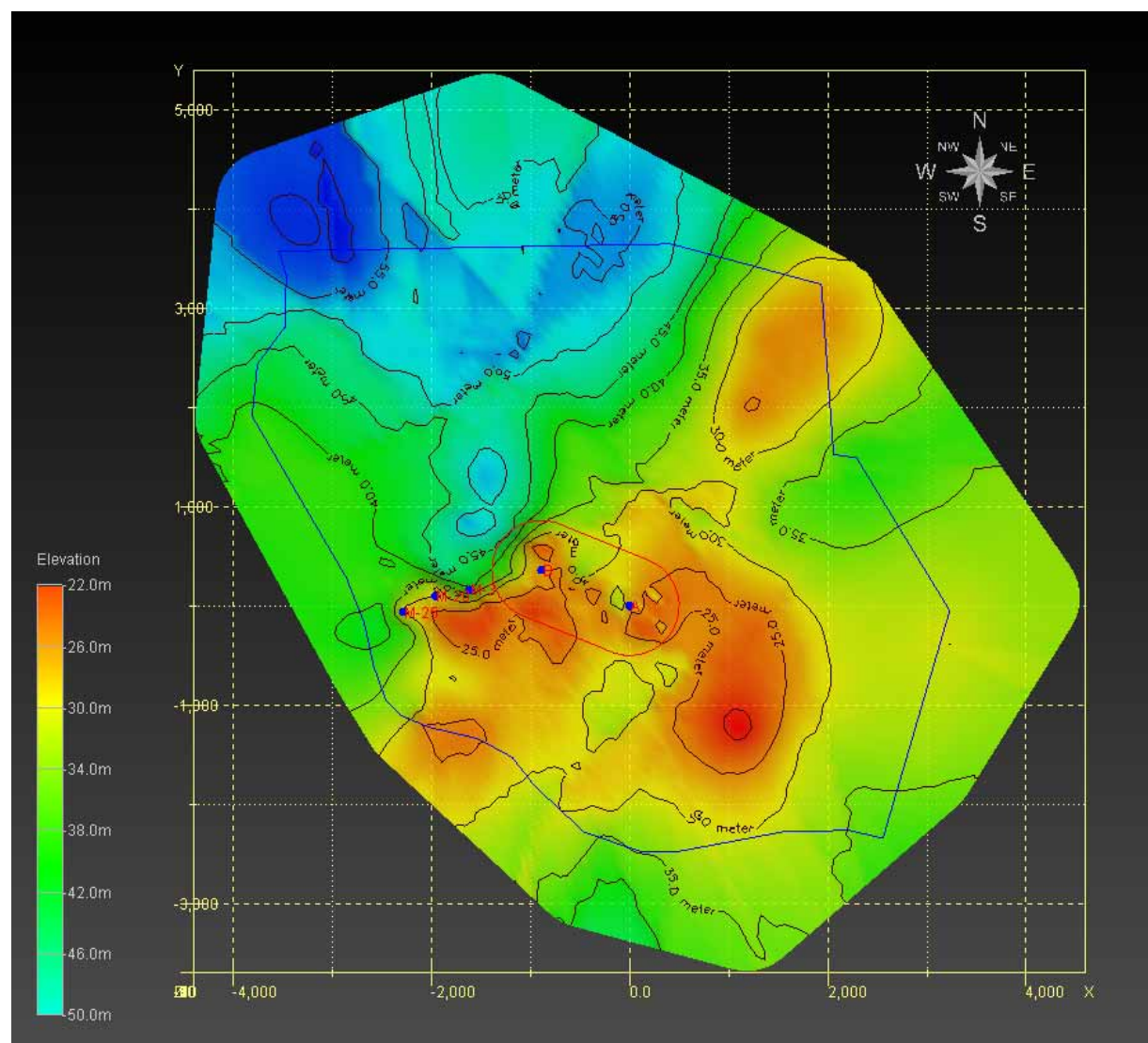


図 2.3.6 Dg2・Dg3 層下面コンター図



※深度方向 20 倍表示

2) 水理定数

①飽和透水係数・比貯留係数・有効間隙率

表 2.3.2 に入力水理物性値一覧を示す。水理地質区分は、既往文献及びボーリング結果を基に表内に示す区分とした。

透水係数については、現場透水試験結果を基本に、シミュレーションのケーススタディの中で地下水位が再現できた値であり、シミュレーション等報告書の AB トラック広域地下水汚染シミュレーション入力物性値と同値である。

矢板の透水係数については、総理府・厚生省『一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る 技術上の基準を定める命令の一部改正について (平成 10 年総理府・厚生省令第二号)』1998 より、遮水の効力を有する地層と同程度 (層厚 50cm) の $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ とした。また、比貯留係数については、文献を参考に設定した。

表 2.3.2 広域地下水汚染シミュレーション入力水理物性値一覧表

| 記号 | 地層名 | 透水係数 (cm/s) | | | | 比貯留係数 (1/cm) | 有効間隙率 (%) |
|-------|----------|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| | | 現場透水試験結果 | 解析使用値 | | | | |
| | | | X | Y | Z | | |
| | 矢板 | | 1.00×10^{-5} | 1.00×10^{-5} | 1.00×10^{-5} | 2.00×10^{-5} | 20 |
| B1 | 埋土層 (生簀) | | 5.00×10^{-4} | 5.00×10^{-4} | 5.00×10^{-4} | 2.00×10^{-5} | 40 |
| B | 埋土層 | 1.79×10^{-6} ~ 1.4×10^{-3} | 1.00×10^{-3} | 1.00×10^{-3} | 1.00×10^{-3} | 2.00×10^{-5} | 40 |
| Ac | 沖積粘土層 | | 2.00×10^{-4} | 2.00×10^{-4} | 2.00×10^{-4} | 1.00×10^{-5} | 20 |
| As | 沖積砂層 | 1.73×10^{-3} ~ 4.74×10^{-2} | 3.00×10^{-2} | 3.00×10^{-2} | 3.00×10^{-2} | 5.00×10^{-5} | 30 |
| Ag | 沖積砂礫層 | | 5.00×10^{-2} | 5.00×10^{-2} | 5.00×10^{-2} | 1.00×10^{-6} | 20 |
| Ds1・2 | 洪積砂層 | 1.85×10^{-3} ~ 1.45×10^{-2} | 1.00×10^{-2} | 1.00×10^{-2} | 1.00×10^{-2} | 4.00×10^{-5} | 20 |
| Dg1 | 洪積砂礫 1 層 | 1.4×10^{-2} | 2.00×10^{-2} | 2.00×10^{-2} | 2.00×10^{-2} | 1.00×10^{-6} | 20 |
| Dg2 | 洪積砂礫 2 層 | 3.96×10^{-2} ~ 9.54×10^{-2} | 1.00×10^{-1} | 1.00×10^{-1} | 1.00×10^{-1} | 5.00×10^{-7} | 20 |
| Dg3 | 洪積砂礫 3 層 | | 2.50×10^{-1} | 2.50×10^{-1} | 2.50×10^{-1} | 5.00×10^{-7} | 20 |
| Dc | 洪積粘土層 | | 1.00×10^{-5} | 1.00×10^{-5} | 1.00×10^{-5} | 2.00×10^{-5} | 20 |

※ 埋土層 (B) の透水係数は、粒度試験結果より推定 (クレーガー式)

※ 無試験層の透水係数については、一般値及び上下の地層より推定

以下、水理定数を入力するにあたって参考とした資料を示す。

●透水係数

透水係数一般値 (出典:『地盤調査法』地盤工学会、2004)

| 透水性 | 透水係数 k (cm/s) | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---------------|-----------|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------------------|-----------|------------|--------|---------------|--------|
| | 10^{-9} | 10^{-8} | 10^{-7} | 10^{-6} | 10^{-5} | 10^{-4} | 10^{-3} | 10^{-2} | 10^{-1} | 10^0 | 10^1 | 10^2 |
| | 実質上不透水 | | 非常に低い | | 低い | | 中位 | | 高い | | | |
| 対応する土の種類 | 粘性土 {C} | | 微細砂、シルト、砂-シルト-粘土混合土 {SF} [S-F] {M} | | | | 砂および礫 (GW (CP) (SW (SP) (G-M) | | | | 清浄な礫 (GW (CP) | |
| 透水係数を直接測定する方法 | 特殊な変水位透水試験 | | 変水位透水試験 | | | | 定水位透水試験 | | 特殊な変水位透水試験 | | | |
| 透水係数を間接的に推定する方法 | 圧密試験結果から計算 | | | | なし | | 清浄な砂と礫の粒度と間隙比から計算 | | | | | |

●比貯留係数

比貯留係数一般値 (出典:『実務者のための地下水環境モデリング』岡山地下水研究会、2003)

| 物質 | 比貯留係数 (1/m) |
|----------|---|
| 塑性粘土 | 2.0×10^{-2} ~ 2.6×10^{-3} |
| 硬質粘土 | 1.3×10^{-3} ~ 2.6×10^{-3} |
| 中程度の硬質粘土 | 1.3×10^{-3} ~ 9.2×10^{-4} |
| 密詰め砂礫 | 1.0×10^{-4} ~ 4.9×10^{-5} |
| 接合亀裂性岩 | 6.9×10^{-5} ~ 3.3×10^{-6} |
| 緩詰め砂 | 1.0×10^{-2} ~ 4.9×10^{-3} |
| 密詰め砂 | 1.3×10^{-4} ~ 2.0×10^{-4} |

●有効間隙率

有効間隙率参考値 (未固結地盤) (出典:『水理公式集』土木学会、1974)

| 地層 | 間隙率 | 有効間隙率 | 地盤 | 間隙率 | 有効間隙率 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 沖積礫層 | 35 | 15 | 洪積砂礫層 | 30 | 15~20 |
| 細砂 | 35 | 15 | 砂層 | 30~40 | 30 |
| 砂丘砂層 | 30~35 | 20 | ローム層 | 50~70 | 20 |
| 泥粘土質層 | 45~50 | 15~20 | 泥層粘土層 | 50~70 | 5~10 |

②移流分散特性

解析に必要な移流分散に関する物性については、表 2.3.3 のように設定した。

分散長は、一般にモデルスケール（モデルの大きさ、汚染物質の移動距離）に依存することがわかっており、モデルスケールが大きいほど分散長も大きくなる。また、分散長は間隙内流速とも比例するとされており、間隙内流速が大きくなればなるほど、分散長も大きくなるといわれている。

今回、広域地下水汚染シミュレーションにおける分散長は、『地下水汚染シミュレーション等報告書』の AB トラック広域地下水汚染シミュレーションと同値とし設定した。

その他、分子拡散係数は水と同等とし、遅延や減衰については前回同様、考慮していない。

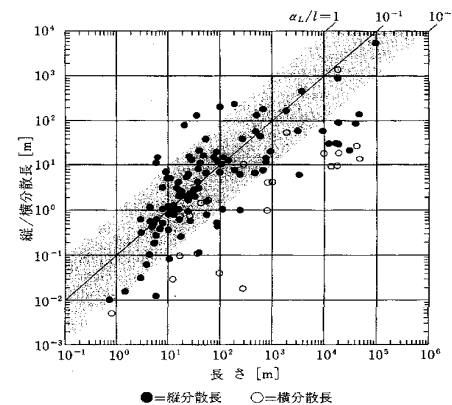
表 2.3.3 移流分散物性値一覧

| 記号 | 地層名 | 分散長 (m) | | 分子拡散係数 (m ² /s) | 屈曲率 | 遅延係数 | 減衰係数 |
|-------|-----------|---------|----|----------------------------|-----|------|------|
| | | 縦 | 横 | | | | |
| | 矢板 | 100 | 5 | 1×10 ⁻⁹ | 1.0 | 1.0 | 0.0 |
| B1 | 埋土層 (いけす) | 100 | 5 | 1×10 ⁻⁹ | 1.0 | 1.0 | 0.0 |
| B | 埋土層 | 100 | 5 | 1×10 ⁻⁹ | 1.0 | 1.0 | 0.0 |
| Ac | 沖積粘土層 | 100 | 5 | 1×10 ⁻⁹ | 1.0 | 1.0 | 0.0 |
| As | 沖積砂層 | 100 | 5 | 1×10 ⁻⁹ | 1.0 | 1.0 | 0.0 |
| Ag | 沖積砂礫層 | 100 | 5 | 1×10 ⁻⁹ | 1.0 | 1.0 | 0.0 |
| Ds1・2 | 洪積砂層 | 100 | 5 | 1×10 ⁻⁹ | 1.0 | 1.0 | 0.0 |
| Dg1 | 洪積砂礫 1 層 | 100 | 5 | 1×10 ⁻⁹ | 1.0 | 1.0 | 0.0 |
| Dg2 | 洪積砂礫 2 層 | 200 | 10 | 1×10 ⁻⁹ | 1.0 | 1.0 | 0.0 |
| Dg3 | 洪積砂礫 3 層 | 400 | 20 | 1×10 ⁻⁹ | 1.0 | 1.0 | 0.0 |
| Dc | 洪積粘土層 | 100 | 5 | 1×10 ⁻⁹ | 1.0 | 1.0 | 0.0 |

分散長は、縦分散長と横分散長に分けられ、縦分散長は、流れ方向に地下水の流速に先行して濃度がぶれる度合いを表し、横分散長は流れに直交する方向への濃度のぶれの度合いを表す。

一般に分散長は、巨視的な地盤の不均質性による流速のばらつきにより、移行距離に依存することが言われており、図 2.3.7 を参考にすると、横分散長は縦分散長の 1/10～1/100 程度なる。

(出典：『実務者のための地下水環境モデリング』技報堂出版、2003)



引用元
Gelhar et al., 1992. A critical review of data on field-scale dispersion in
Water Resources Research, Vol.28 (7), pp.1955-1974.

図 2.3.7 分散長設定の例

2.4 解析条件

1) 解析プログラム

解析コードは、三次元飽和不飽和移流分散解析プログラム (Dtransu-3D・EL) としたが、①降雨や流量条件を変動境界として扱えるように、②計算速度を高めるため並列化に対応するよう改良して利用した。

2) 解析範囲・モデル

企業局揚水井戸、神ノ池を含む東西約 7km、南北約 6km の範囲 (図 2.4.1 参照)

3) 領域境界条件

南から西：常陸利根川 (賀・日川) 観測所平均水位 (実測) で水位固定

北：下幡木・深芝観測所平均水位 (実測) で水位固定

北東：鹿島港で水位固定 (推定)

※ 鹿島港は、開削水路

※ 鹿島港は、深さ 10m 程度のケーソン基礎

※ 護岸設計背面水位は TP0.5m

東：常陸利根川、鹿島港、神栖三中水位及び地盤標高を参考に水位固定 (推定)

神ノ池：既存水面観測結果及び役場観測孔より変動水位境界 (神栖市役所観測所と同値)

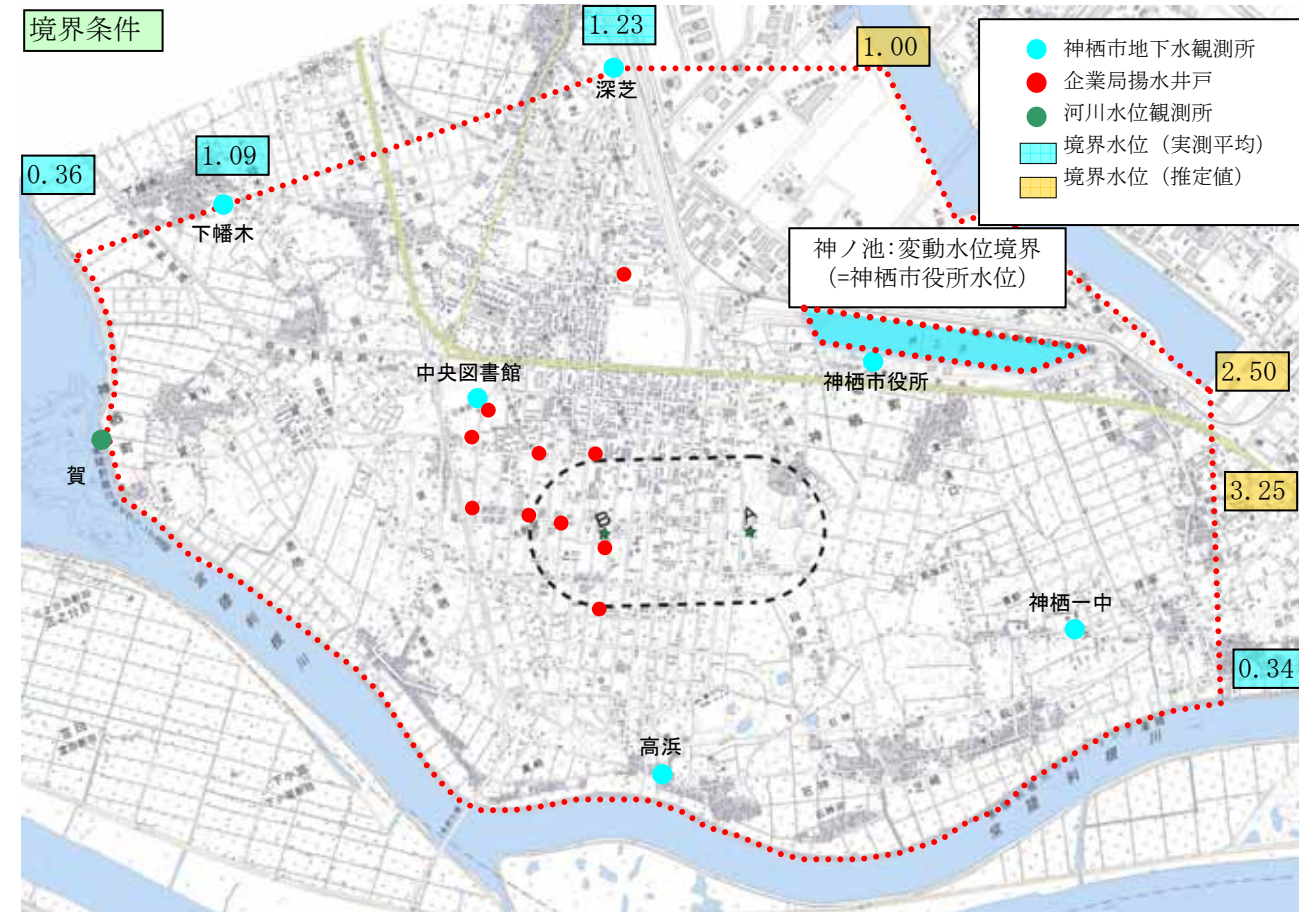


図 2.4.1 境界条件設定値

神ノ池は、灌漑期に付近の農業用水として利用するため、南の常陸利根川から給水されており、また非灌漑期においても常時水位を保つ様になっている。これが解析範囲内の地下水の流れに影響すると考えられたため、周辺観測孔 (神栖市役所観測所) を参考に変動水位境界 (10 日平均) とした。その他の箇所については、実測値 (各観測孔間は線形補完)、及び推定値とした。なお、これらの設定値はシミュレーション等報告書と基本的に同値である。

4) 揚水条件

①企業局揚水井戸

解析範囲内に位置する企業局の揚水井戸については、揚水実績値 (図 2.2.6 参照) に基づき、シミュレーション等報告書と同様に 10 日毎平均として設定した。

企業局揚水井戸の内、B 地区周辺にある 5 号井戸、10 号井戸は、2003 年 9 月に井戸水からジフェニルアルシン酸 (DPAA) が確認されたため、以後運転を休止している。また、その他の井戸においても図 2.2.6、表 2.2.1 に示すように運転休止期間が認められる。モデル上はこれらの運転状況も反映した。

予測解析においては、データの得られた最近 1 年間 (2009 年 3 月～2010 年 2 月) の平均を設定した。(図 2.2.6 参照)

②民家井戸

解析範囲における住宅地 (住宅地・住宅密集地) に、非給水人口×一般的 1 人 1 日水道使用量 (0.2m³) (=2,213m³/day) とし、2003 年 3 月まで Ag 層より揚水する設定とした。なお、この値はシミュレーション等報告書における広域地下水シミュレーションと同値である。

5) 灌漑期における水田からの浸透条件

水田からの浸透量は、灌漑期 (4 月～8 月) において、神ノ池・常陸利根川受益水田面積 (6,668m²) に 1.6mm/day とした。なお、この値はシミュレーション等報告書における B 地区での現地浸透結果に基づく 1 次元浸透解析結果である。

6) 降雨条件

有効雨量は神栖市役所内に設置してある降雨観測所データから、可能蒸発散量 (アメダスの鹿島の気温データを用いたソーンスウェイト式から計算) を差し引いた。1995 年 7 月～2009 年 4 月における有効雨量 (図 2.2.3 参照) に基づき、シミュレーション等報告書と同様に 10 日毎平均を設定した。

7) 降雨浸透率

空中写真判読により表層の土地利用区分を行い、流出係数を基に浸透率を設定した(表 2.4.1、図 2.4.2)。この値はシミュレーション等報告書と同値である。

ただし、水田においては有効雨量に浸透率を乗じた値に対し、灌漑期における浸透条件と同様に 1.6mm/day を最大値として設定し、地下水位の再現性を高めた。

表 2.4.1 降雨浸透率

| 区 分 | 浸 透 率 |
|--------------|-------|
| 住宅密集地・アスファルト | 0.20 |
| 住宅地 | 0.60 |
| 工場地 | 0.50 |
| 林・公園 | 0.75 |
| 裸地 | 0.70 |
| 畑 | 0.70 |
| 水田 | 0.40 |

●流出係数

流出係数一般値(出典:『実用河川計画』理工図書、1982)

| | |
|-------------------|-----------|
| 急峻なる山地 | 0.75~0.90 |
| 第3紀層山丘 | 0.7~0.8 |
| 起伏ある土地および樹林 | 0.5~0.75 |
| 平坦な耕地 | 0.45~0.60 |
| かんがい中の水田 | 0.7~0.8 |
| 山地河川 | 0.75~0.85 |
| 平地小河川 | 0.45~0.75 |
| 流域のなかば以上が平地である大河川 | 0.50~0.75 |

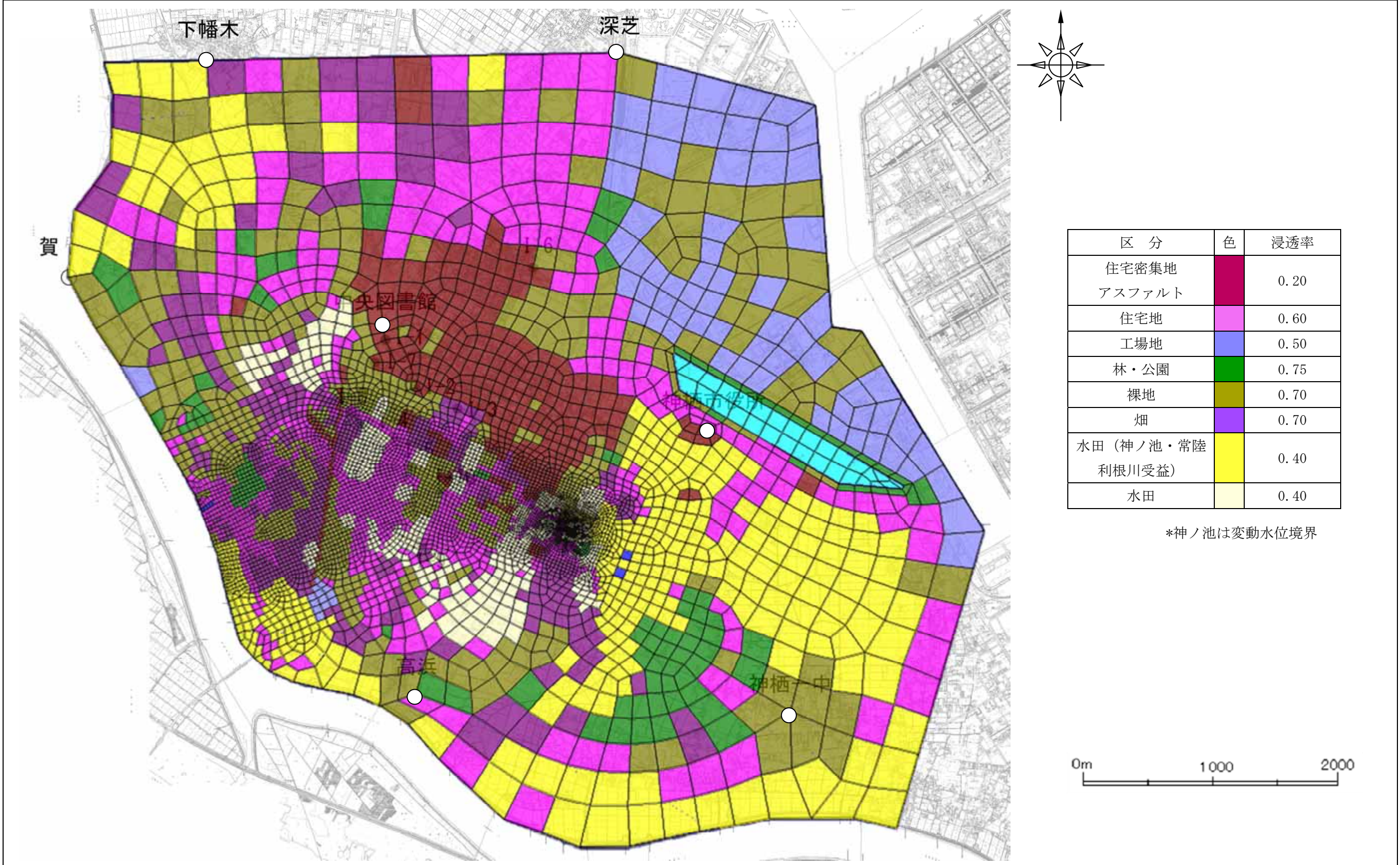
表 2.5 下水道施設基準の流出係数

| 地 区 | 流 出 係 数 |
|---------|-----------|
| 商 業 地 区 | 0.70~0.90 |
| 工 業 地 区 | 0.40~0.60 |
| 住 宅 地 区 | 0.30~0.50 |
| 公 園 地 区 | 0.10~0.20 |

表 2.6 木村の流出係数

| 流 域 | 流 出 係 数 |
|-----------|---------------------|
| 非第4紀火山岩流域 | 0.673~0.825 平均 0.75 |
| 第4紀火山岩流域 | 0.338~0.490 平均 0.41 |

図 2.4.2 降雨浸透区分図



8) ジフェニルアルシン酸 (DPAA) 濃度の設定

コンクリート様の塊の直下砂礫層におけるジフェニルアルシン酸 (DPAA) 濃度および位置については、シミュレーション等報告書の A 井戸詳細地下水汚染シミュレーション並びに、その後実施した A 地区高濃度汚染対策シミュレーションから得られた濃度をもとに、図 2.4.3、図 2.4.4 のように設定した。

A 井戸詳細地下水汚染シミュレーションでは、1996 年頃、ジフェニルアルシン酸 (DPAA) が砂礫層に到達し、1997 年 4 月にはジフェニルアルシン酸 (DPAA) 濃度が 186mg-As/L とピークになり、その後徐々に濃度が減少していく結果が得られている。また、公表したシミュレーション以後の濃度条件については、新たに実施した A 地区高濃度汚染対策シミュレーションで得られた当該深度の濃度データを入力条件とした。なお、A 地区高濃度汚染対策シミュレーションでは、対策を実施なかった場合と対策を 3 年行った場合の計算を行っているため、広域地下水汚染シミュレーションでも後述の予測解析においてはこの 2 ケースを対象とした (図 2.4.3)。

図 2.4.3 の 3 年対策において、対策期間中である 2009 年～2011 年にかけて急激に濃度が低下し、その後 2020 年頃に、0.002mg-As/L 程度の汚染が見られることについては、対策期間中は揚水により地下水濃度が大きく低下するが、揚水停止後、周辺に残存する低濃度の汚染が、当該深度に拡散したためである。

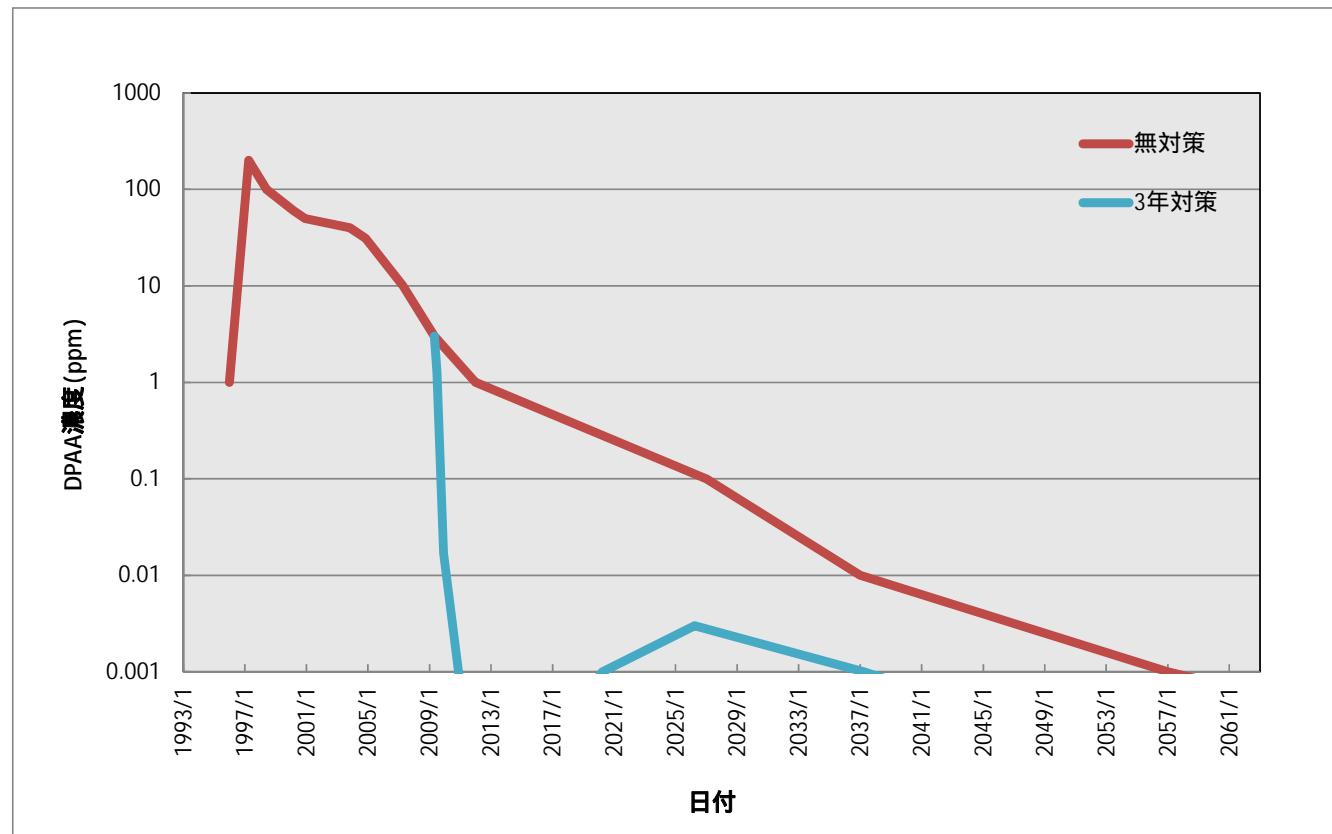


図 2.4.3 コンクリート様の塊の直下砂礫層のジフェニルアルシン酸 (DPAA) 濃度設定

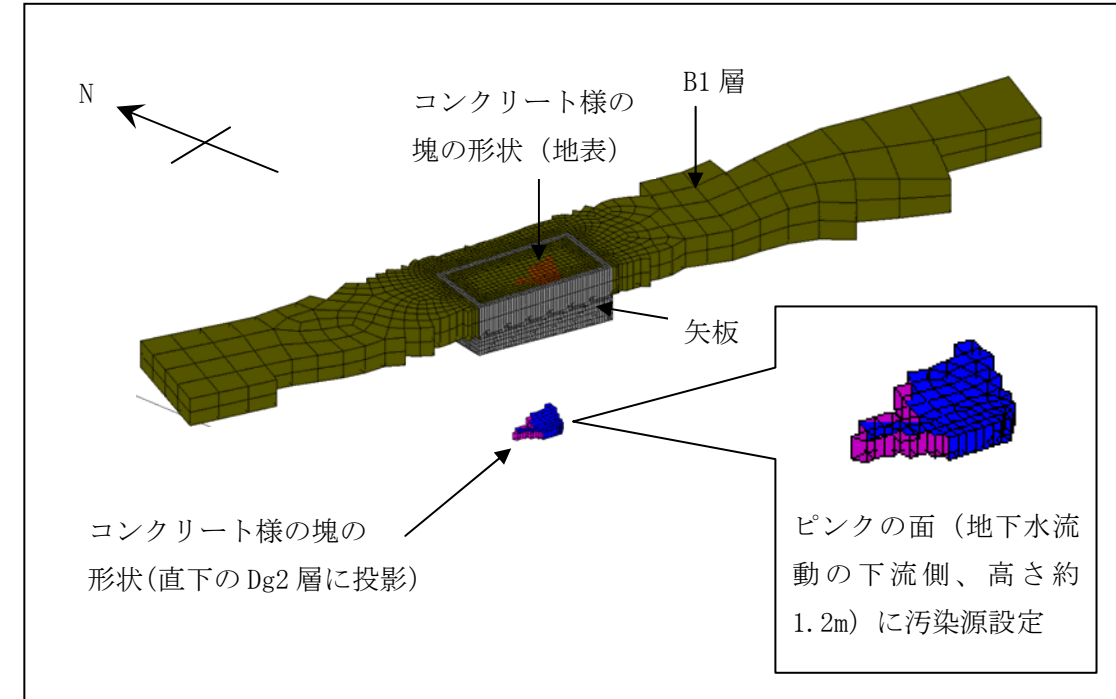


図 2.4.4 3次元モデルにおける汚染源設定域

9) 計算条件

現況再現期間はコンクリート様の塊から溶出した DPAA が、その直下の Dg2 層に到達した時点の 1996 年 1 月 1 日から、2009 年 4 月 29 日までを対象とした。また、予測解析はそれ以降の、高濃度汚染対策期間を含めた 100 年を対象とした。表 2.4.2 に、予備解析 (1996 年 1 月 1 日時点での水頭値把握)、後述の予測解析も含めた計算条件を示す。

表 2.4.2 計算条件

| 計算ステップ | 解析種別 | 期間 | 地盤・汚染のイベント | 境界条件のイベント |
|-----------------------------|---------|-----------------------|---------------------------------|---------------------|
| | 予備解析 | 初期定常 | - | 降雨なし 神ノ池:+3.3m固定 |
| | | 現況再現解析 | 1995.7.1 ~ 1995.12.31 | Dg層汚染なし |
| 1996.1.1 ~ 2003.3.31 | Dg層汚染投入 | | Ag層からの住宅揚水停止 | |
| 2003.4.1 (汚染発覚) ~ 2004.11.7 | 矢板モデル化 | | テント箇所:H19.7月末まで無降雨 | |
| 2004.11.8 ~ 2009.4.29 | | | ケース (3年対策)のみ (B-1,F-15,C-1揚水)反映 | |
| 予測解析 | 水位定常 | 2009.4.30 ~ 2012.3.31 | ケース (3年対策)のみ 矢板削除 | |
| | | 2012.4.1 ~ | | |

2.5 予測解析

現況再現解析を行ったシミュレーションモデルを用いて、将来の汚染地下水の挙動についての予測を行った。

1) 予測解析条件

予測解析における境界条件等は、「02.4 解析条件」のとおりとした。解析は、3年間の高濃度汚染対策を実施した場合と、対策を行わない場合の2ケースとした。解析条件概要を下記に示す。

- ①予測解析開始時期 : 2009年4月30日
- ②境界水位 : 現況再現解析と同値(図2.4.1参照)。
ただし、神ノ池は直近10年(2001年1月1日～2010年12月31日)の平均値2.858mで固定。
- ③降雨条件 : 直近10年(2001年1月1日～2010年12月31日)の有効雨量平均(1.84mm)に、それぞれの土地利用区分毎に設定した浸透率を考慮した値の平均で固定。
- ④企業局揚水 : 1,3,4,6,7,9号井戸稼働(2009年3月～2010年2月の平均で固定、図2.2.6参照)
- ⑤高濃度対策 : ケース① 無対策(揚水なし)
: ケース② 3年対策: 2009年4月30日～2010年3月31日の約3年間
(A地区高濃度汚染対策シミュレーションと同値を週平均した。)
- ⑥矢板 : 無対策時では今後も矢板が残置されるとし、3年対策時は2012年3月末に矢板が撤去されるものとした。
- ⑦計算時間 : 100年間

2) 予測解析結果

予測解析は、1996年8月1日～2009年4月29日までを再計算させた上で、高濃度汚染対策を開始した2009年4月30日を初期条件として解析した。

無対策の場合、0.01mg-As/L以上の汚染範囲を深度30mで見ると、2022年頃まではその外縁範囲は大きくは変わらない。その後はゆるやかではあるが汚染外縁範囲も縮小してゆく結果となる。

A井戸付近に存在する1mg-As/Lを超える範囲で見ると、2013年までは細長く残存するが、2017年以降では見られない。

神栖地区全体が0.01mg-As/L以下となるのは、無対策の場合は2057年と予測され、最後まで汚染が残存するのはA井戸とB地区の中間部の深度20mであった。

高濃度汚染対策を3年実施した場合、0.01mg-As/L以上の汚染範囲を深度30mで見ると、対策終了後10年となる2022年頃までは、無対策と同様、その外縁範囲は大きくは変わらない。

他方、1mg-As/Lを超える範囲で見ると、2012年まではわずかに残存するが、2013年には1mg-As/L以上の汚染は消滅すると予測された。

神栖地区全体が0.01mg-As/L以下となるのは、3年間の高濃度汚染対策を実施した場合は、無対策時

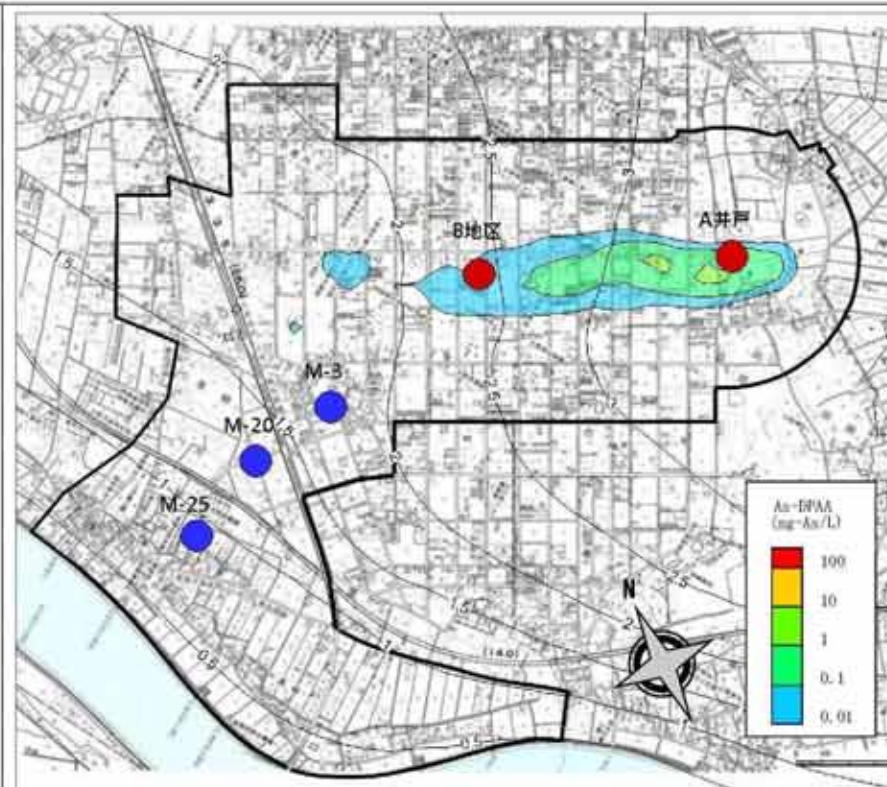
と同様、対策終了45年後の2057年と予測された。

以上のことから、神栖地区のDPAA地下水汚染が0.01mg-As/L以下になる時期については、無対策、3年対策に関わらず大きく変わらないが、高濃度汚染対策の実施によって、非常に低濃度の汚染が広がっている地下水汚染の先端部で見ると、特に対策終了約20年以降において明らかに汚染範囲が小さくなり、さらに、A井戸周辺部に残存する1mg-As/Lを超える範囲も無対策時と比べ1年早い2013年に年に消滅すると予測された。

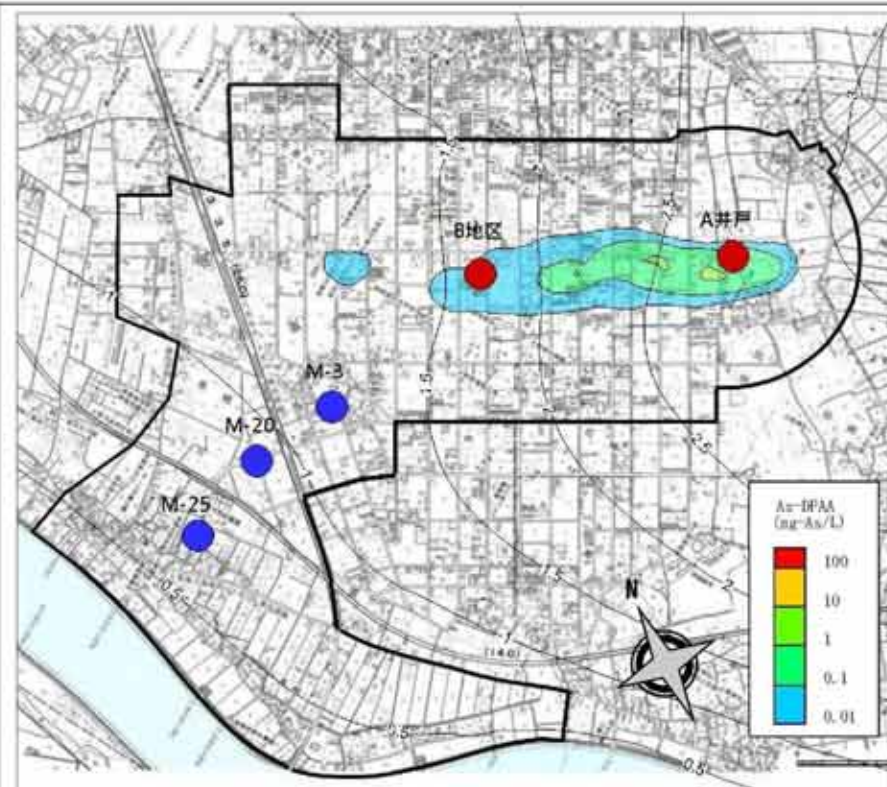
なお、深度30mよりも深度20mが最後まで汚染が残ること、ABトラック南西地域ではA～B地区よりも早く汚染が消滅することについては、深度30m、並びにABトラック南西地域には透水性の高い砂礫層が分布しており、長期的な視点では地下水による汚染物質の希釈効果が大きく働くため、結果的に深度30m、ABトラック南西地域の濃度が早く地下水環境基準以下となると考えられる。

予測解析結果（無対策、3年対策）比較図：As-DPAA濃度コンター図（深度10m：1/4）

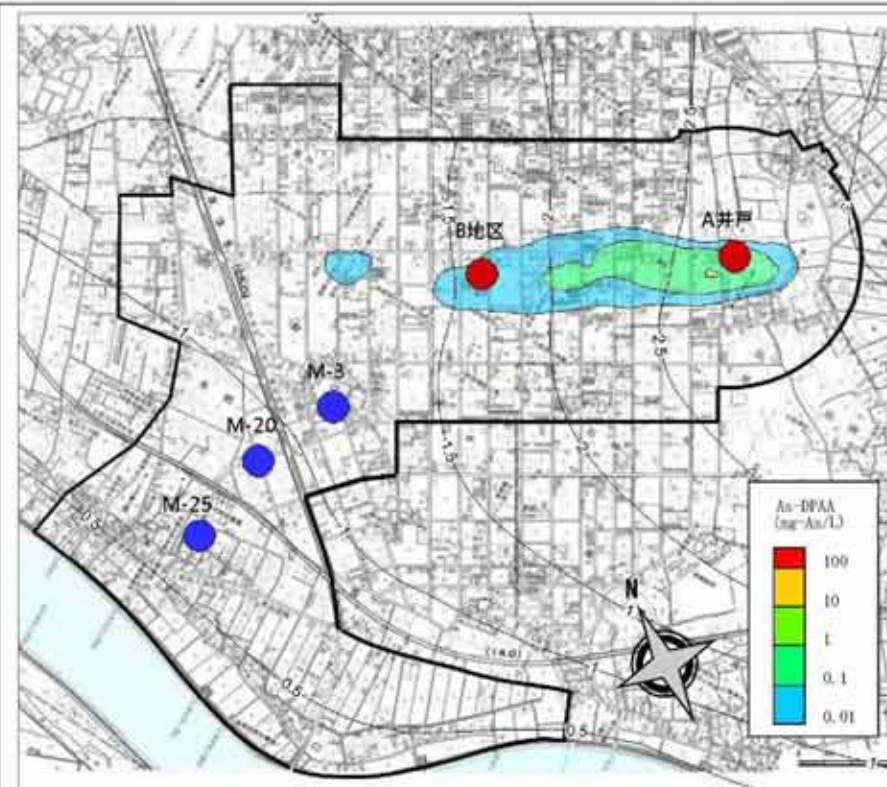
無対策時



2009年4月

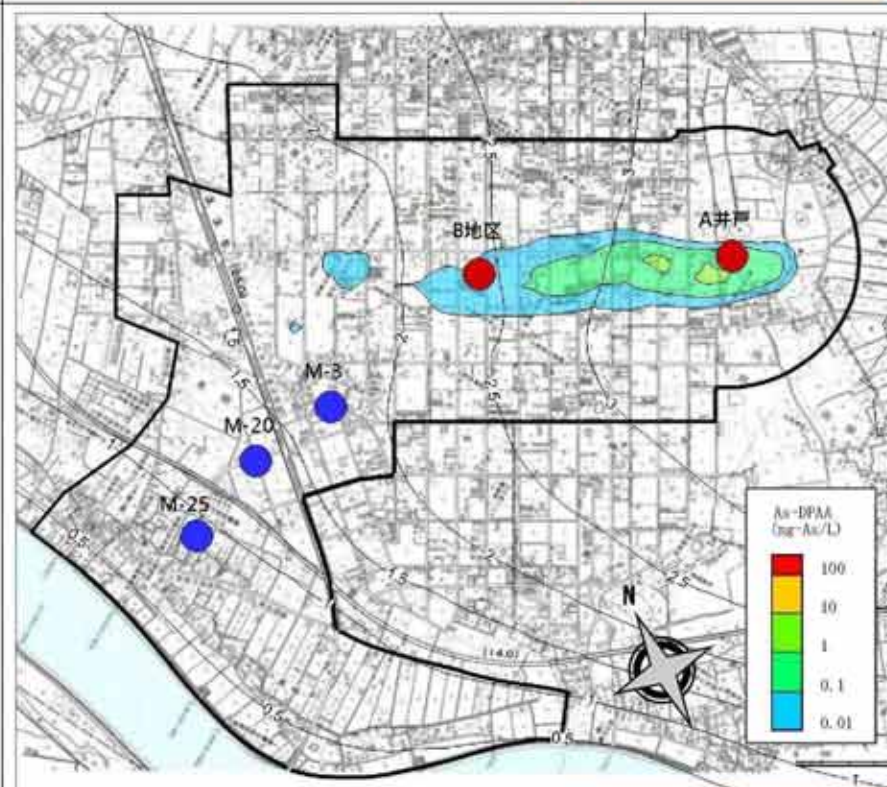


2010年4月

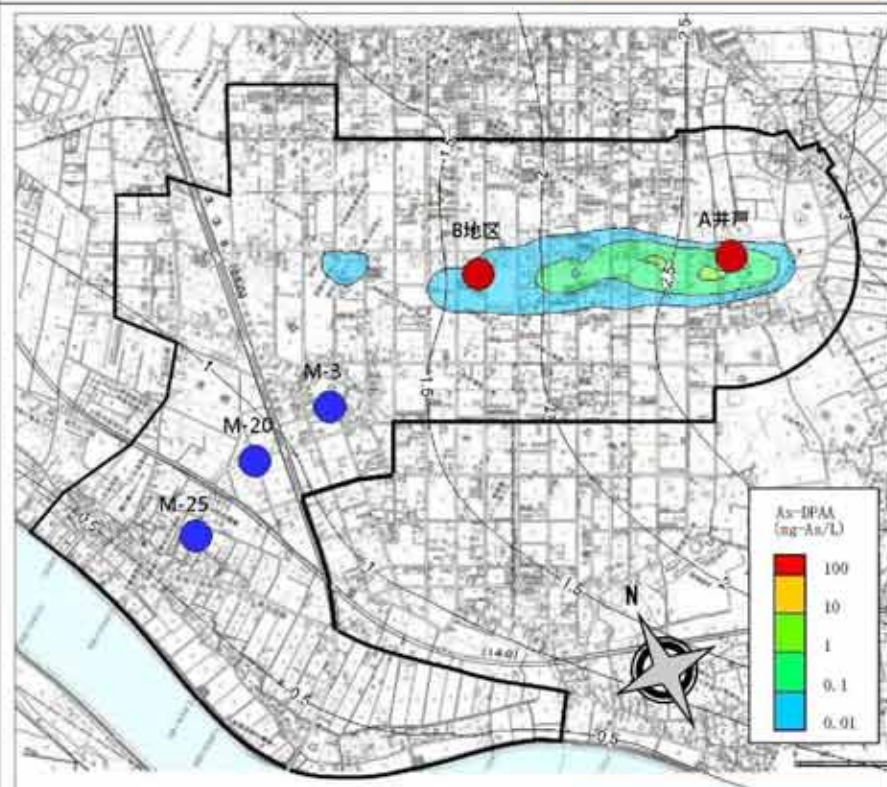


2011年4月

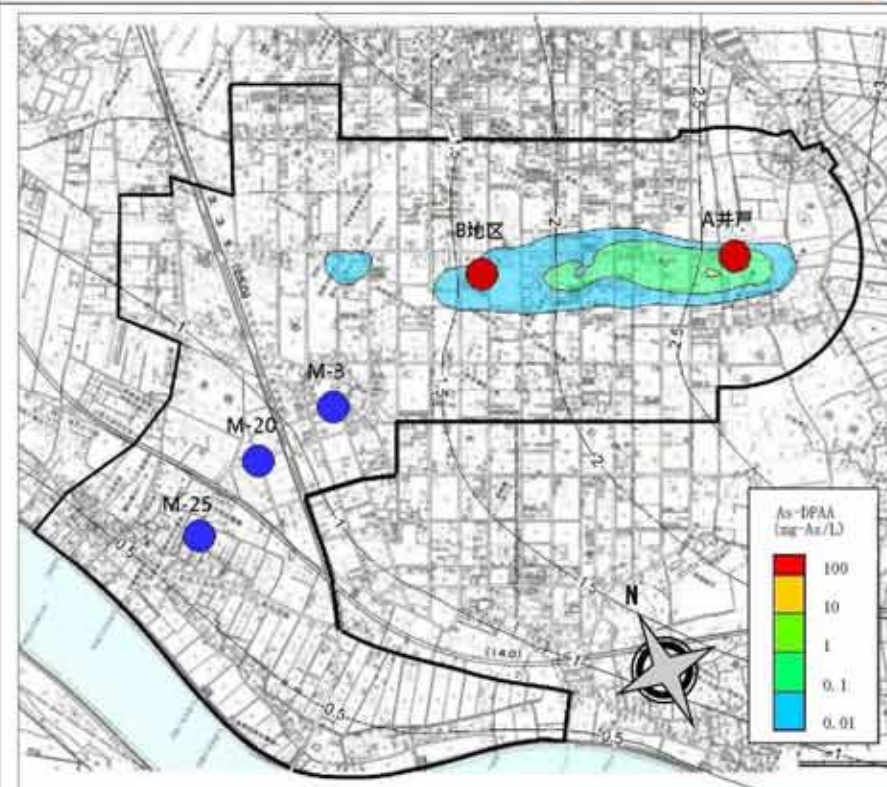
3年対策時



2009年4月



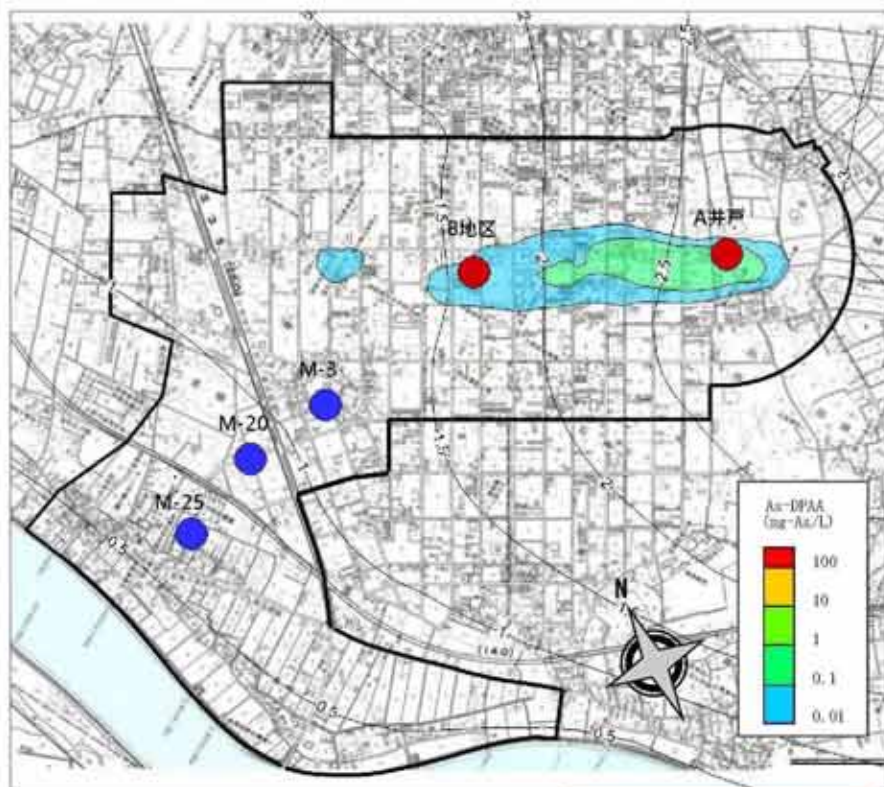
2010年4月



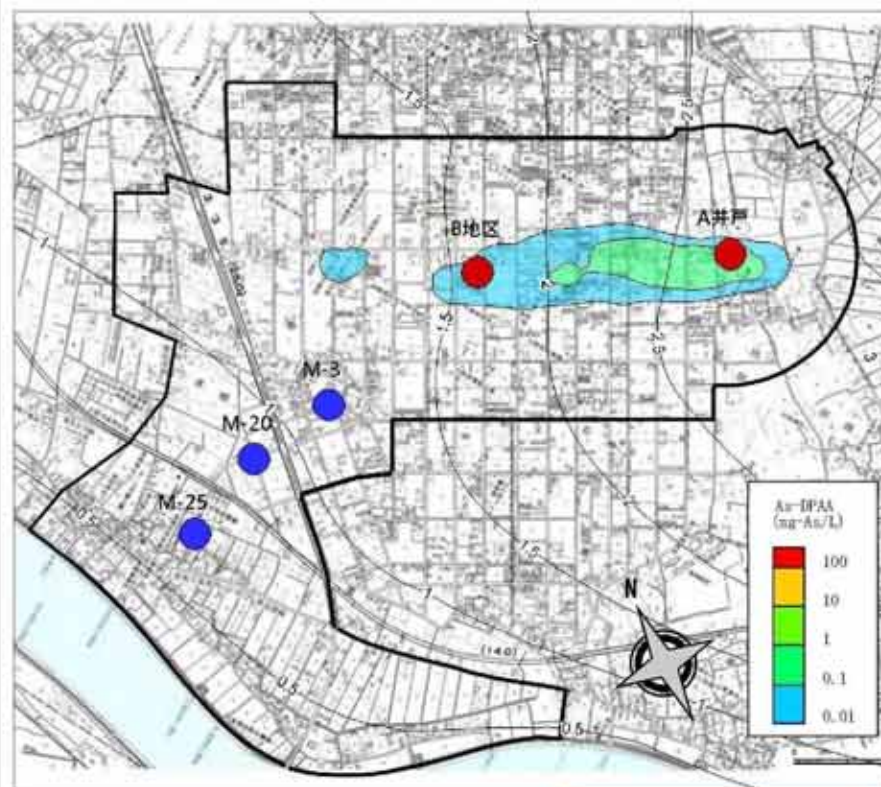
2011年4月

予測解析結果（無対策、3年対策）比較図：As-DPAA 濃度コンター図（深度 10m : 2/4）

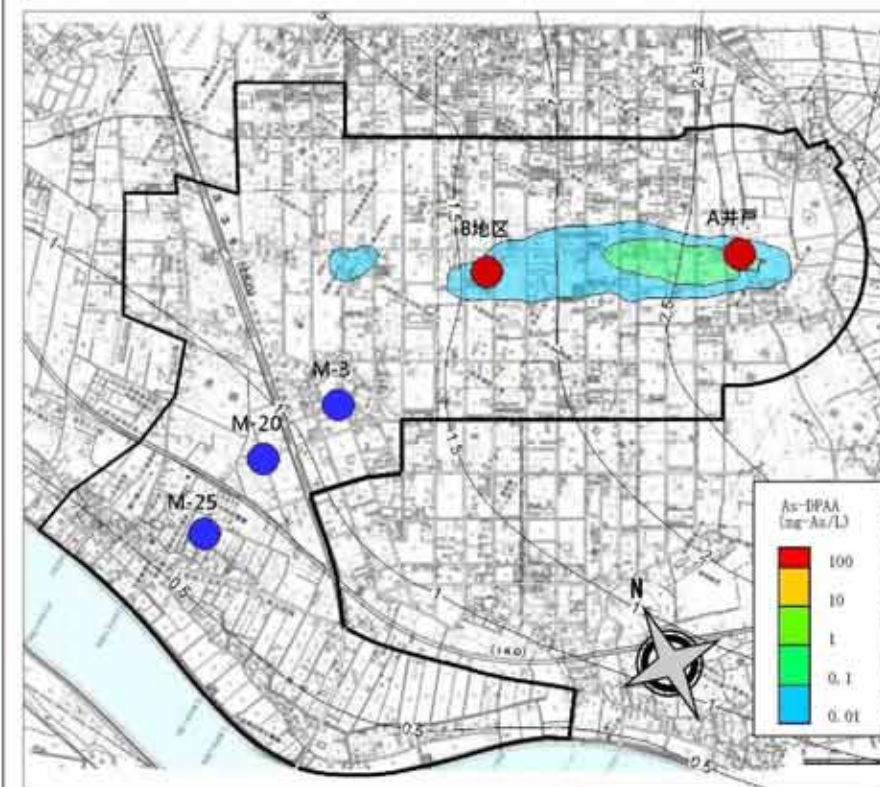
無対策時



2012年4月

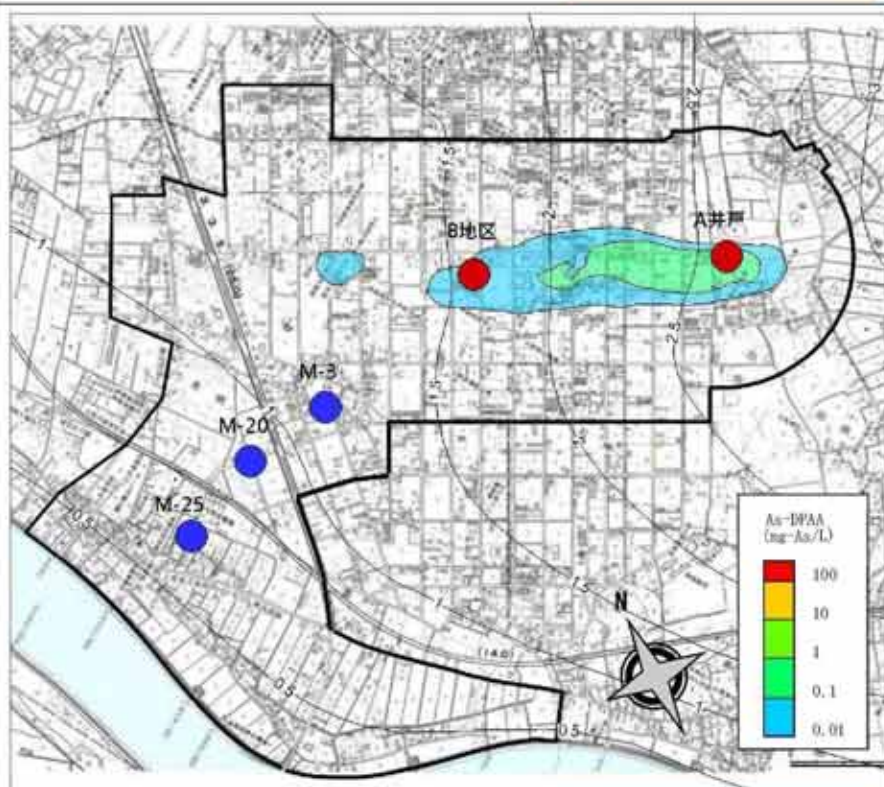


2013年4月

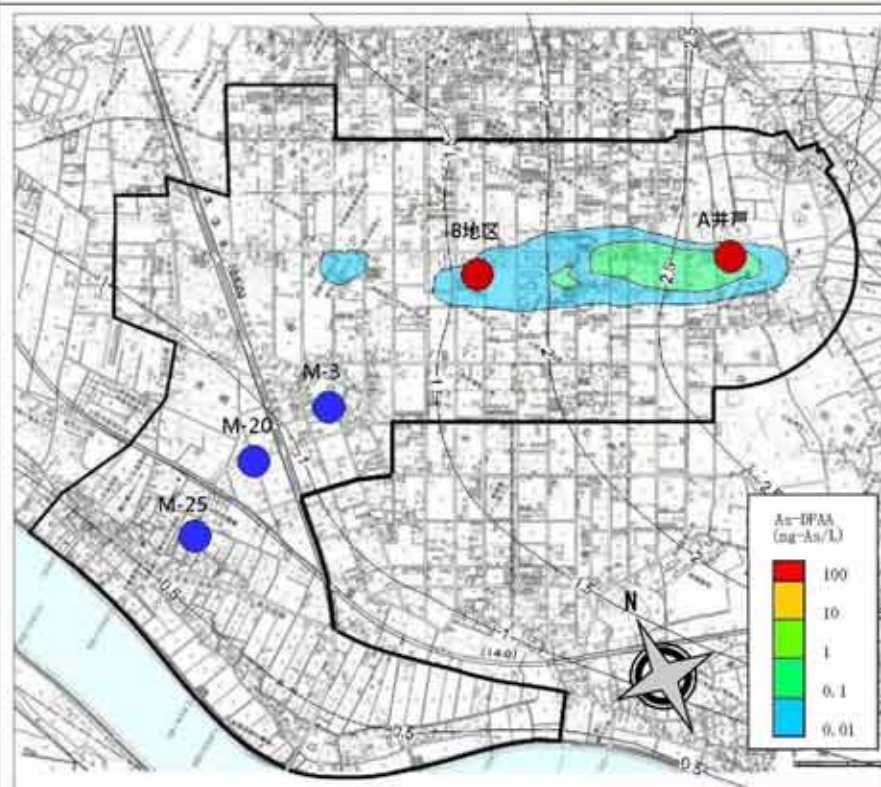


2017年4月

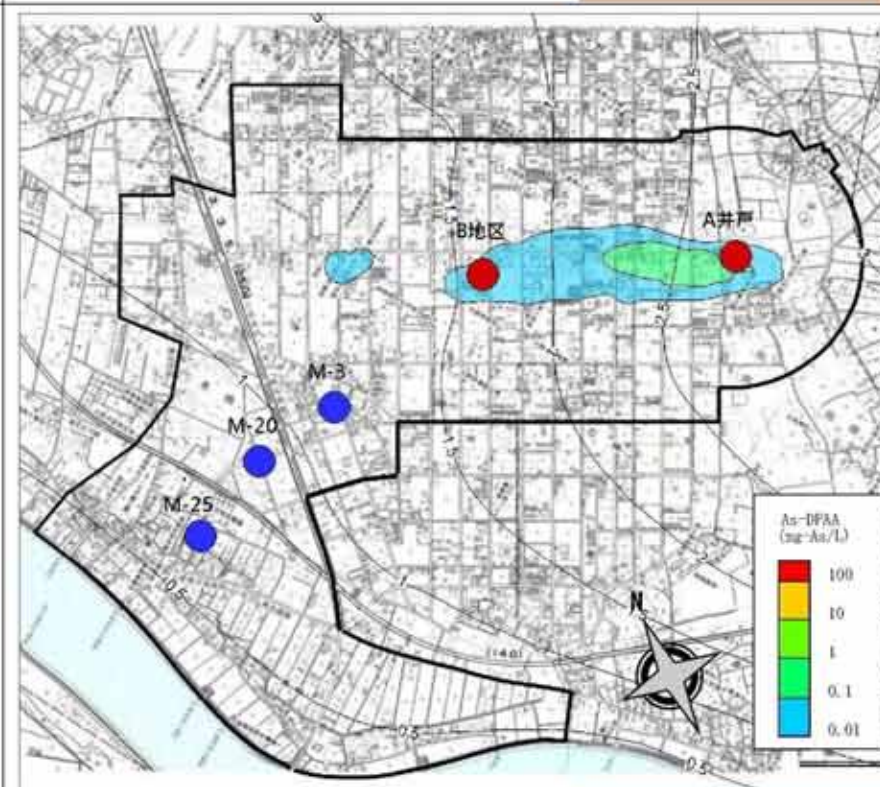
3年対策時



2012年4月



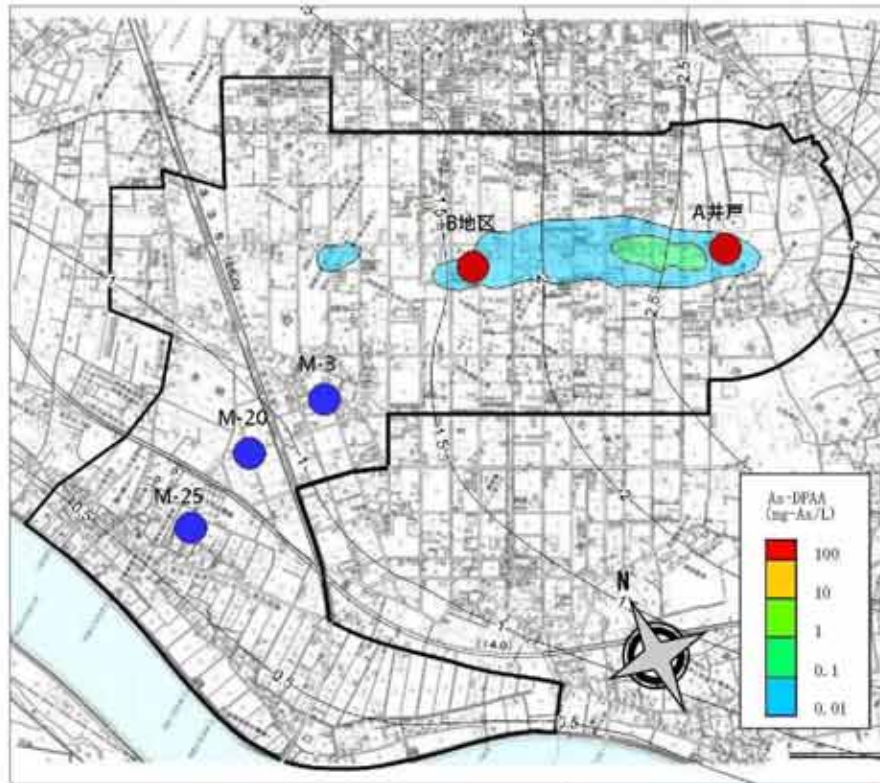
2013年4月(1年後)



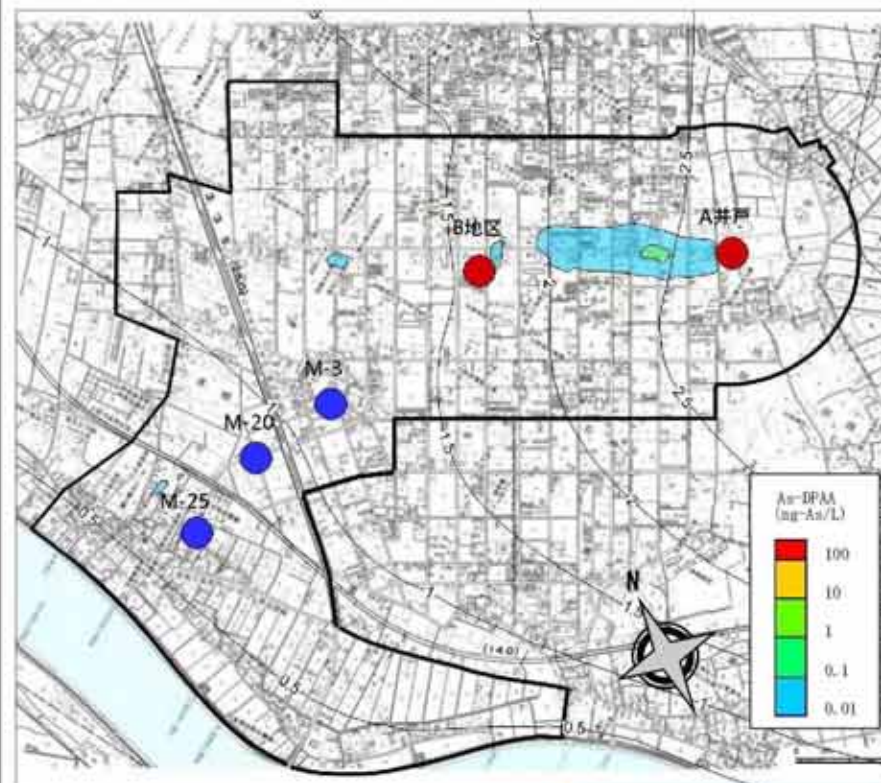
2017年4月(5年後)

予測解析結果（無対策、3年対策）比較図：As-DPAA濃度コンター図（深度10m：3/4）

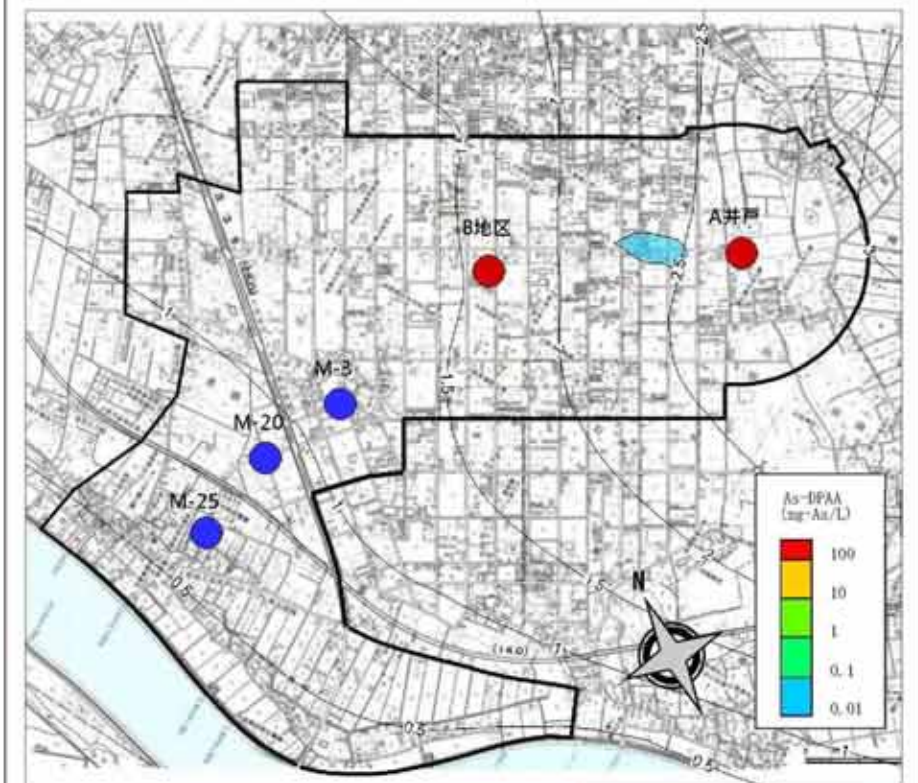
無対策時



2022年4月

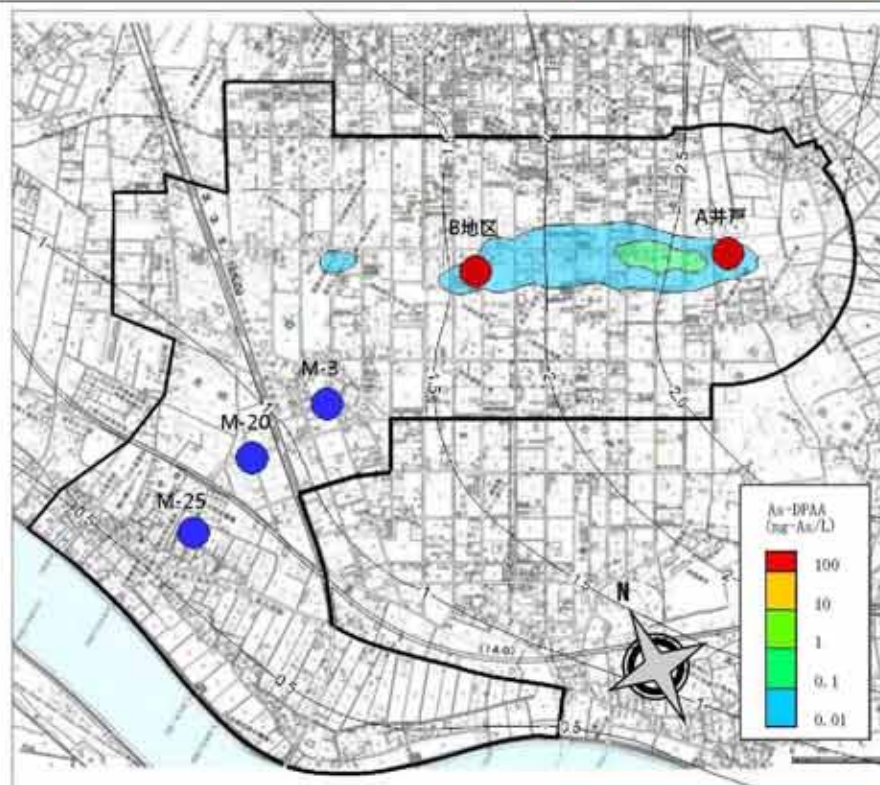


2032年4月

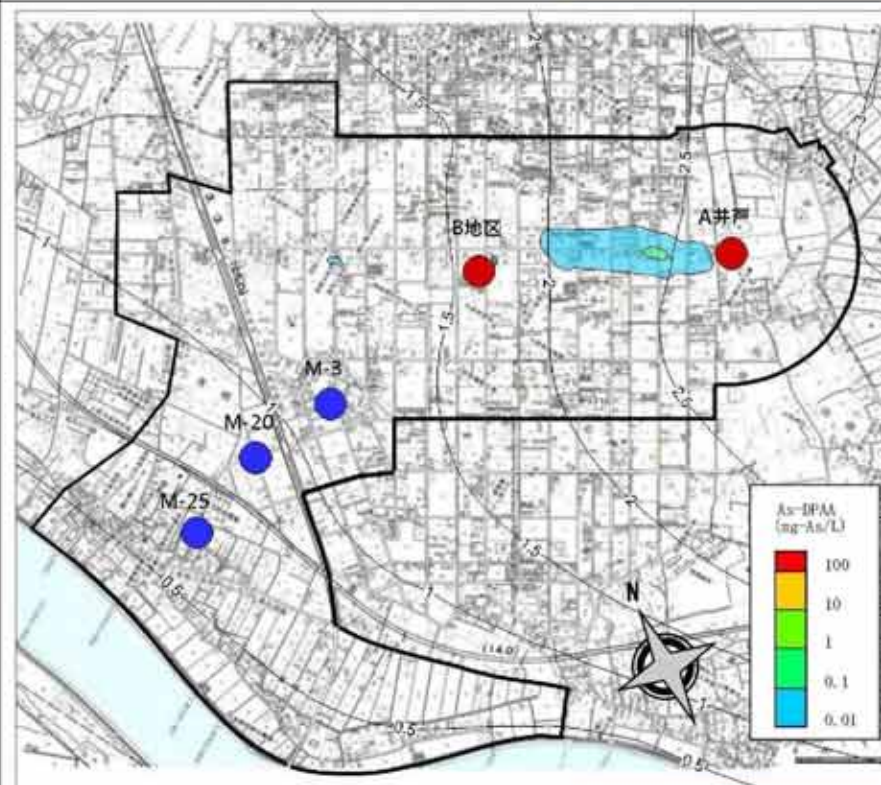


2042年4月

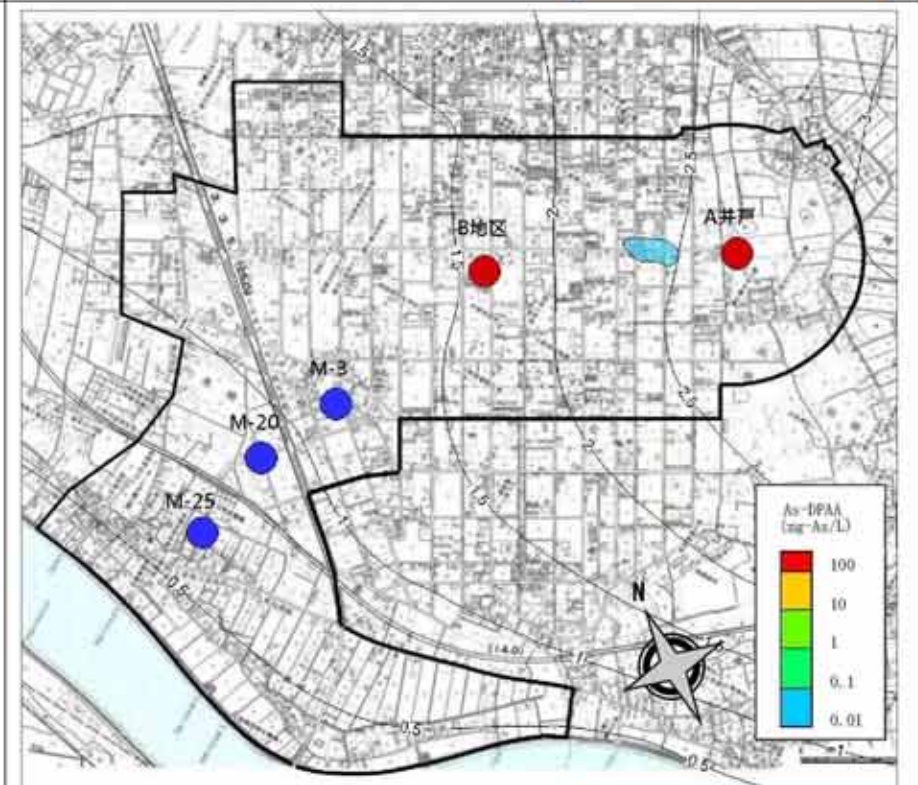
3年対策時



2022年4月(10年後)



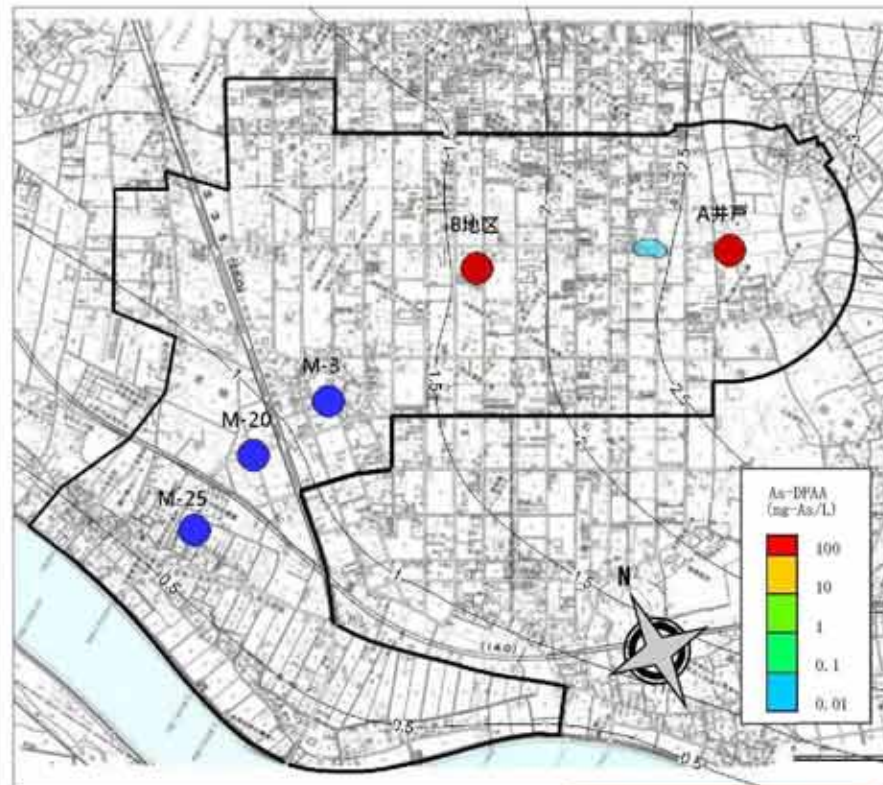
2032年4月(20年後)



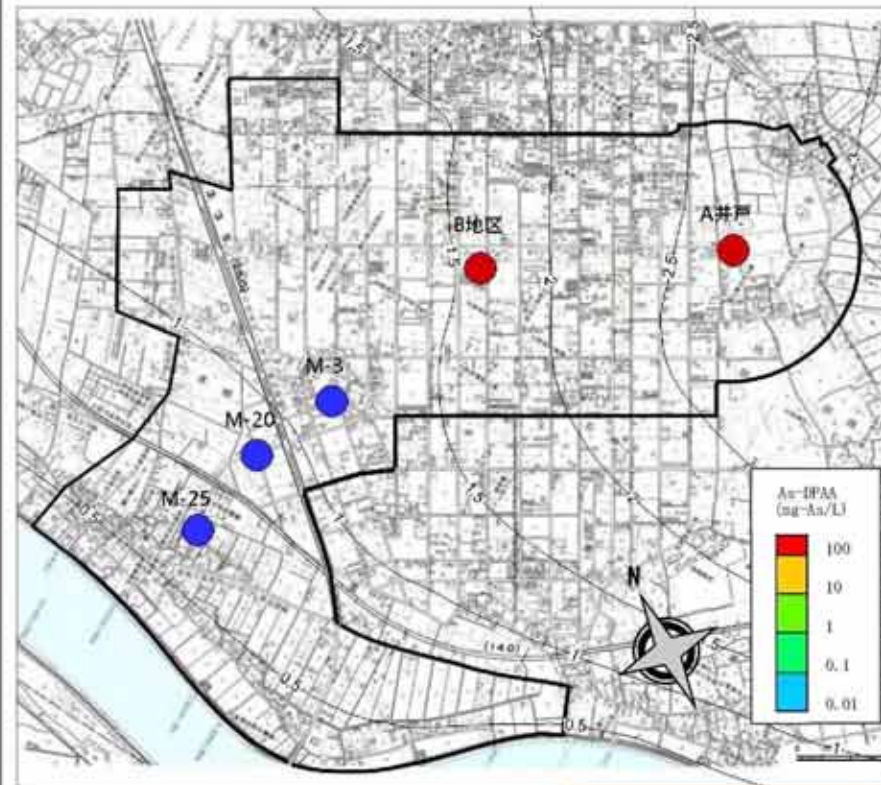
2042年4月(30年後)

予測解析結果（無対策、3年対策）比較図：As-DPAA 濃度コンター図（深度 10m : 4/4）

無対策時

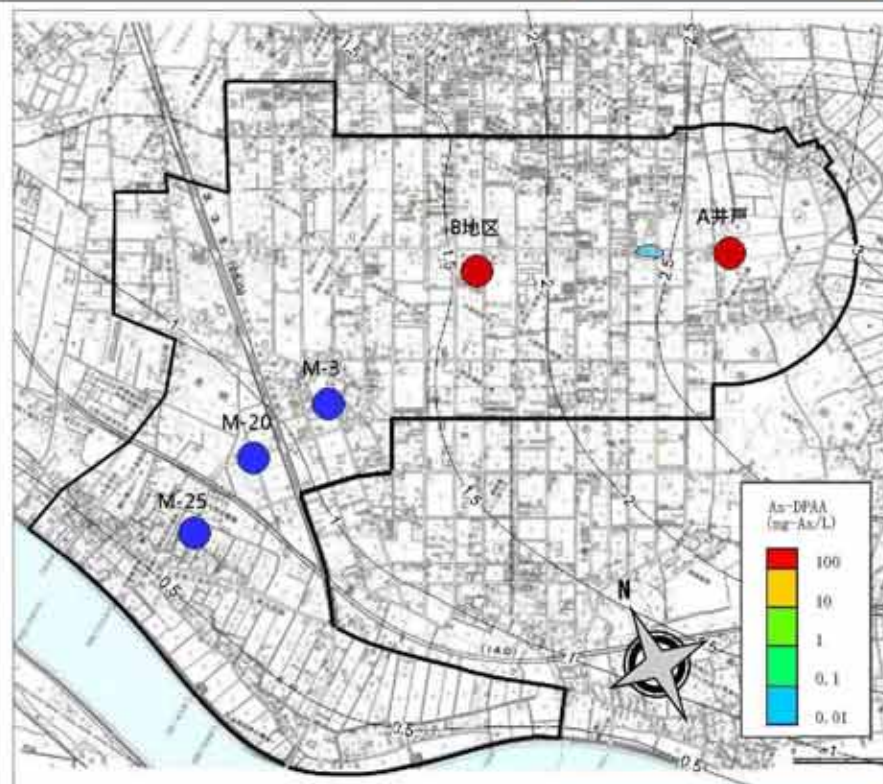


2047年4月

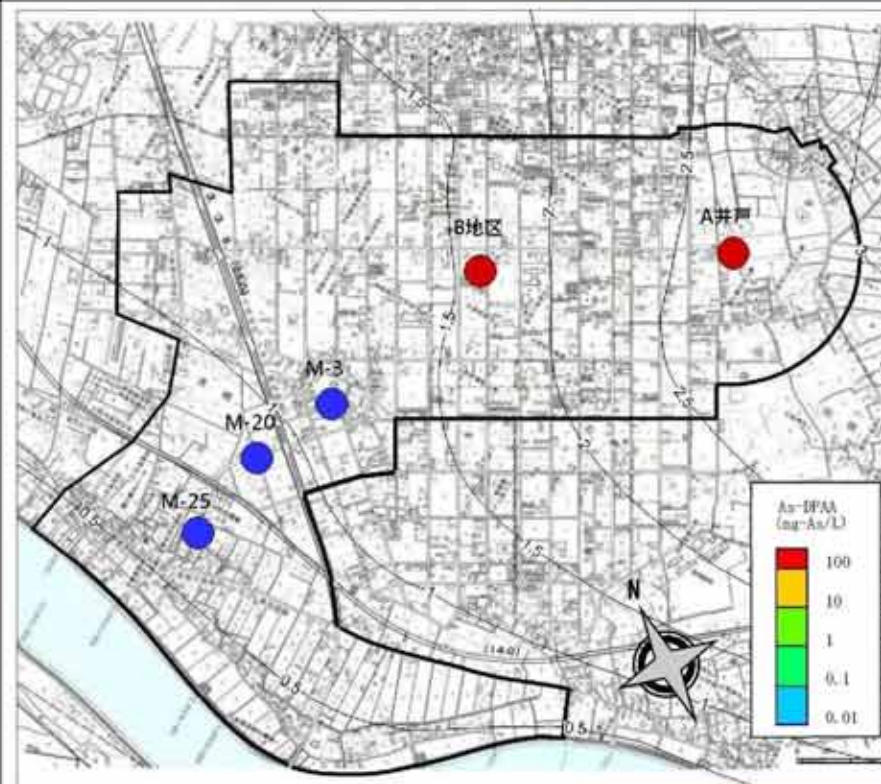


2052年4月

3年対策時



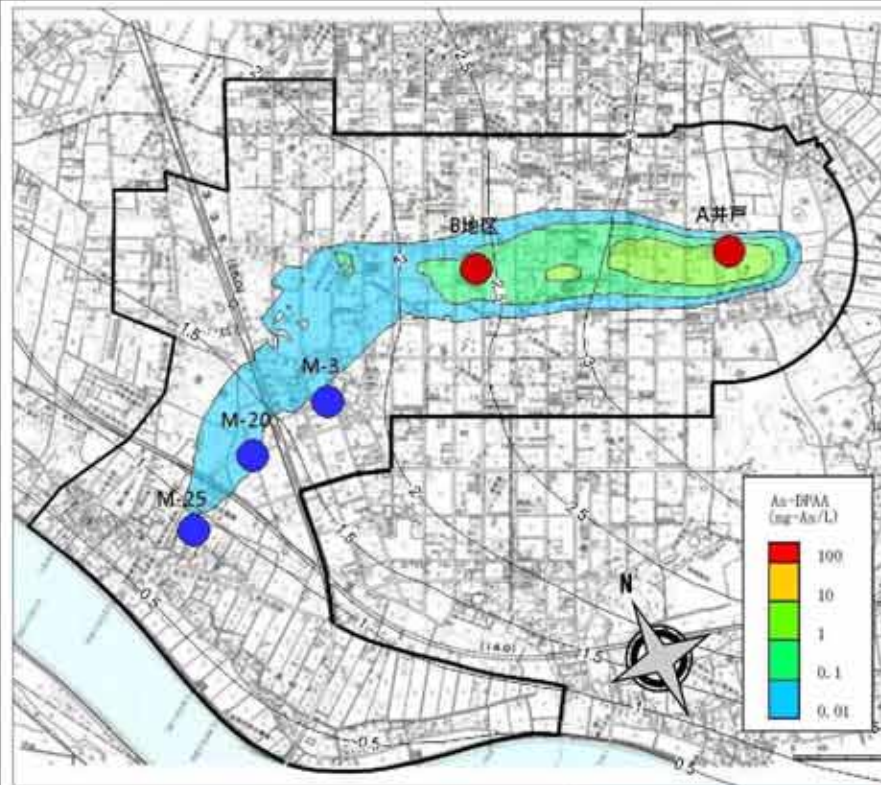
2047年4月(35年後)



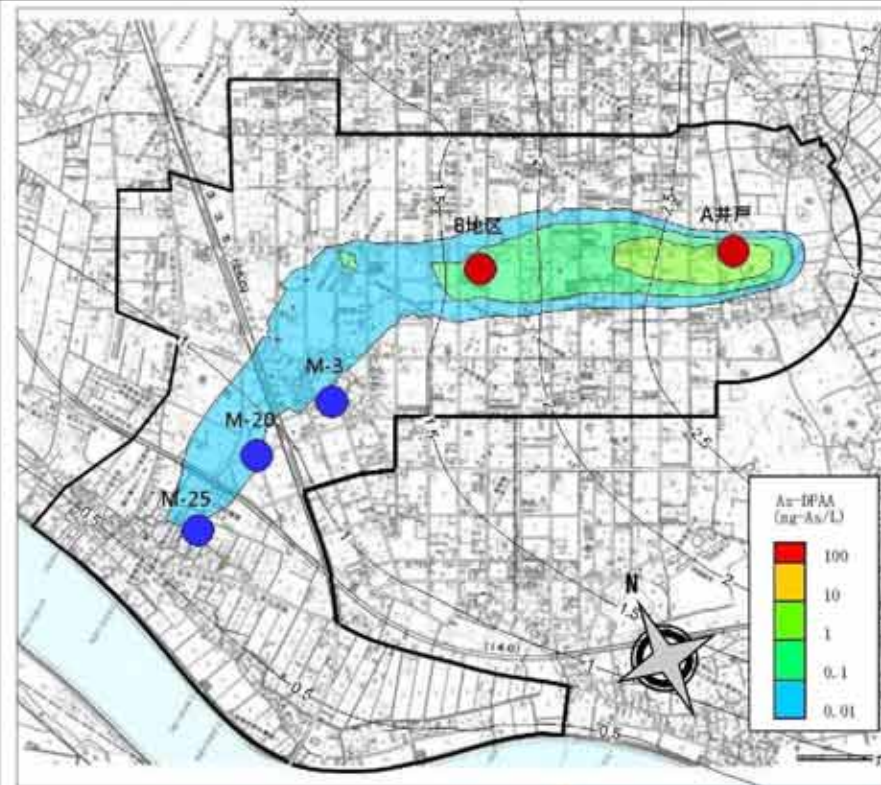
2052年4月(40年後)

予測解析結果（無対策、3年対策）比較図：As-DPAA 濃度コンター図（深度 20m : 1/4）

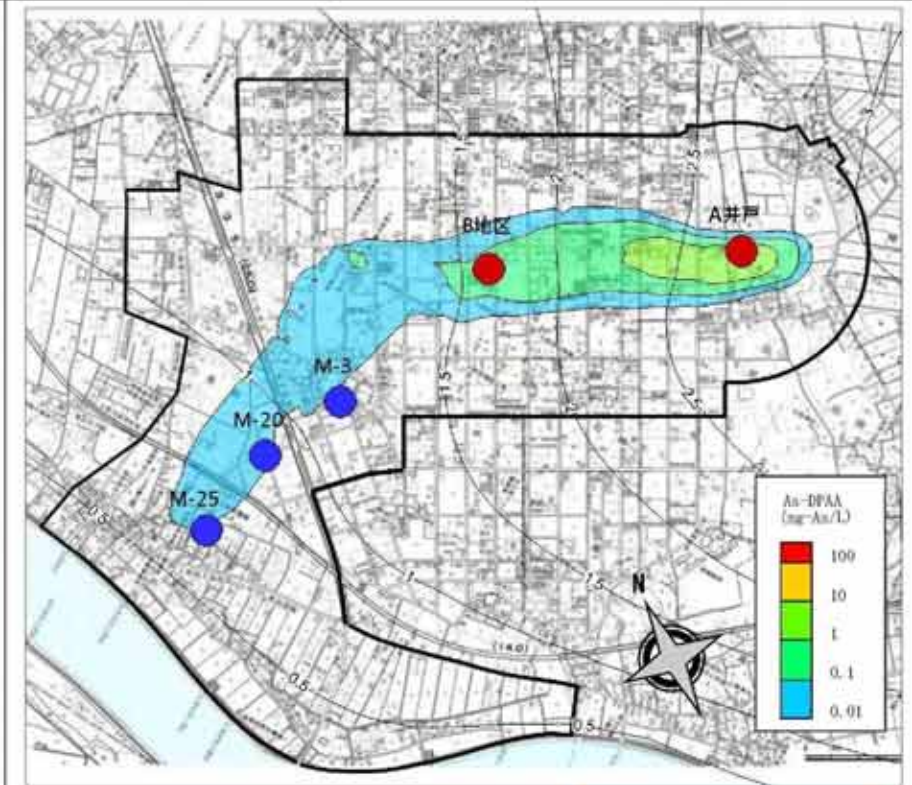
無対策時



2009年4月

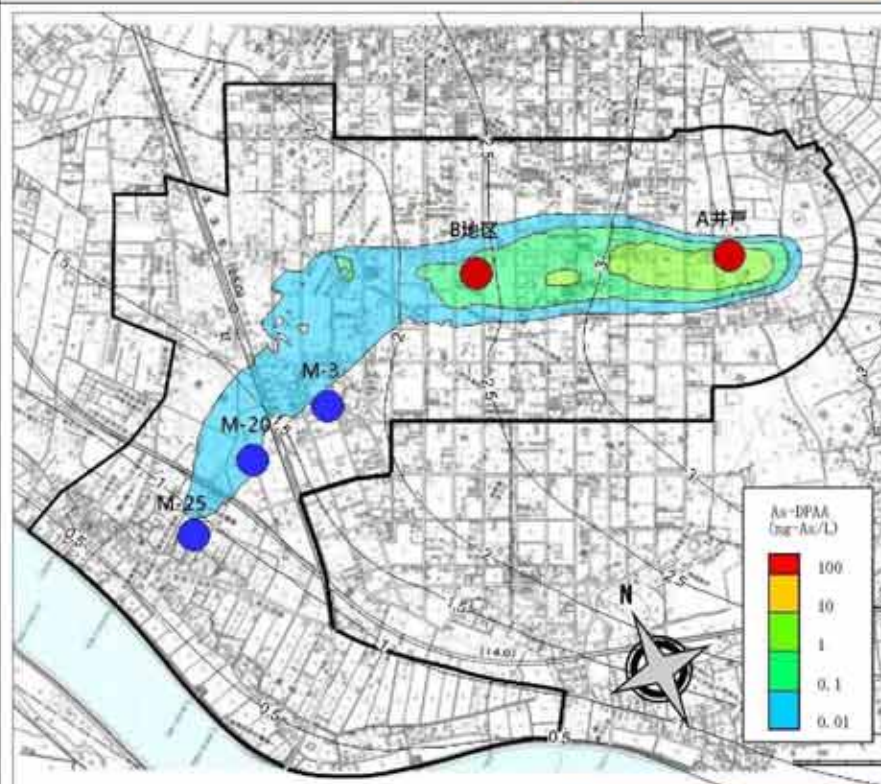


2010年4月

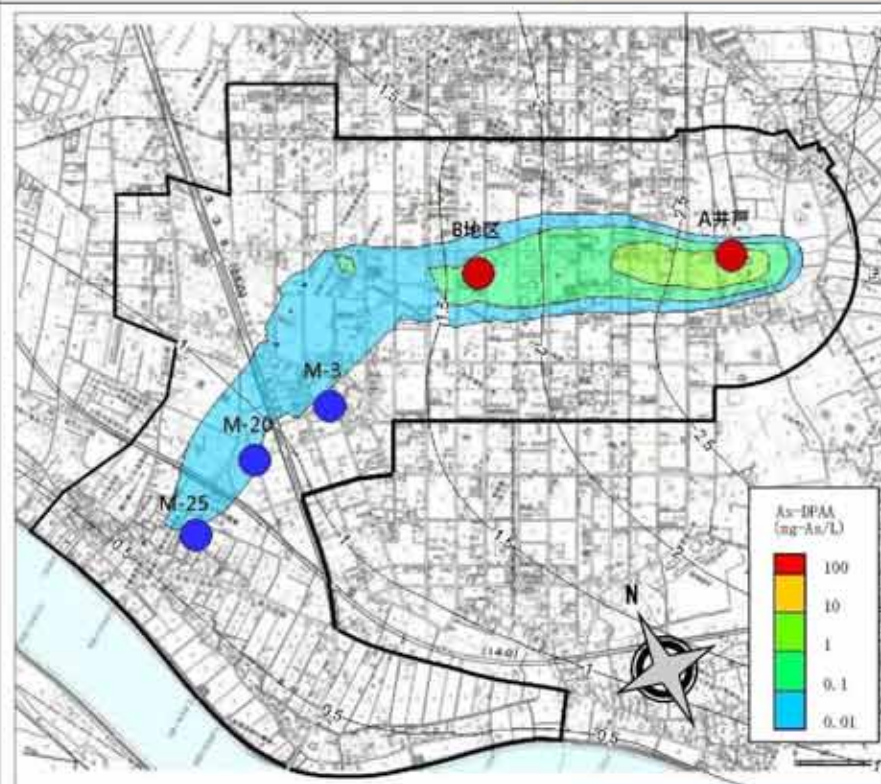


2011年4月

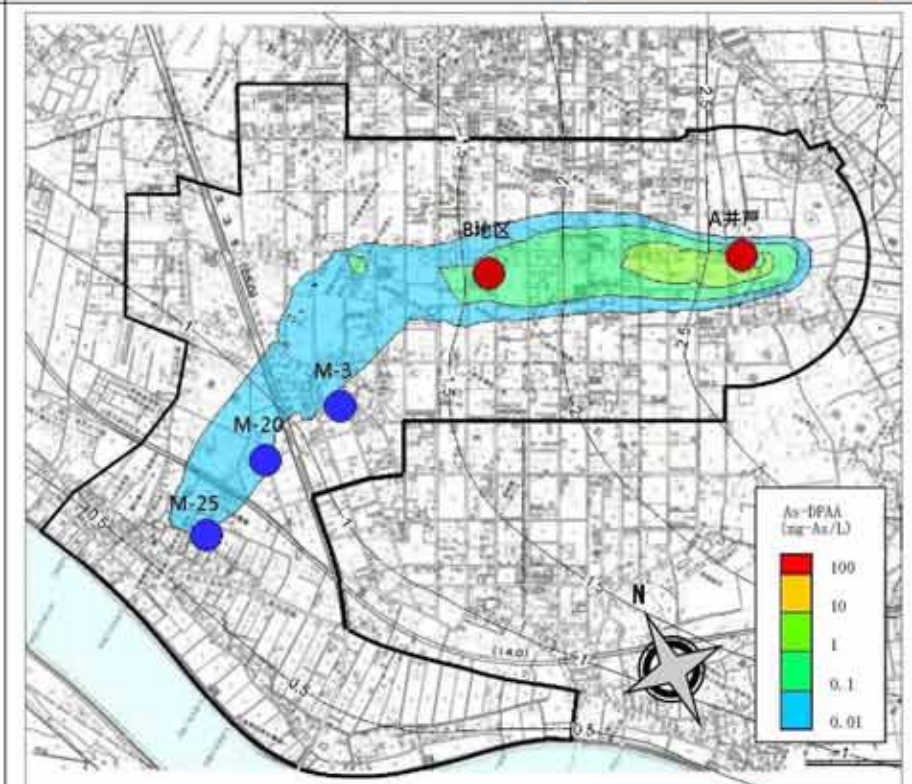
3年対策時



2009年4月



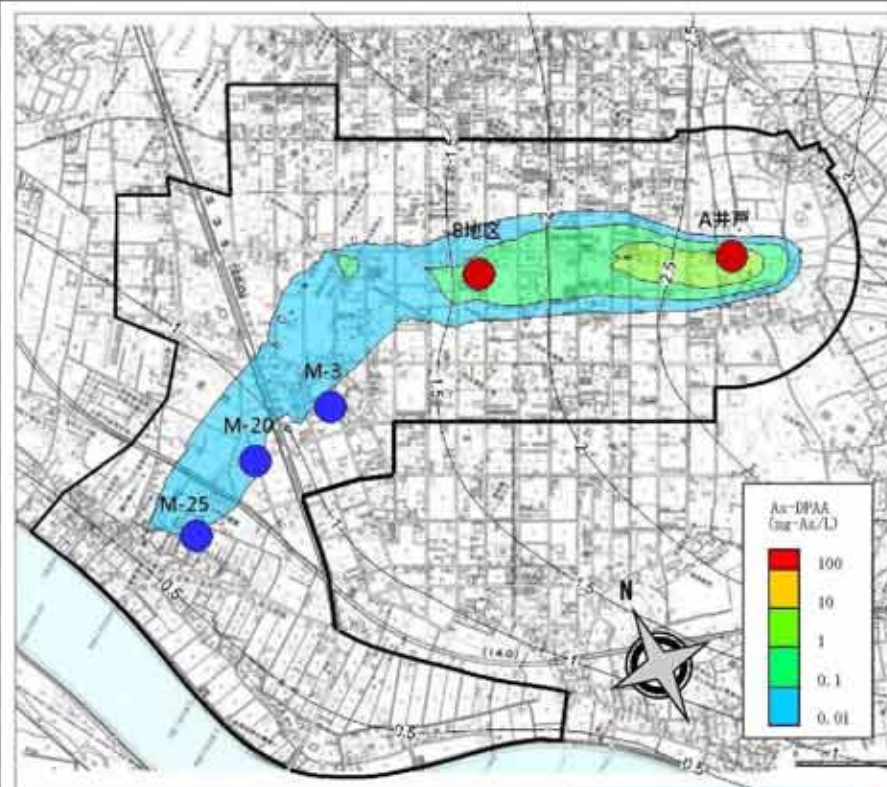
2010年4月



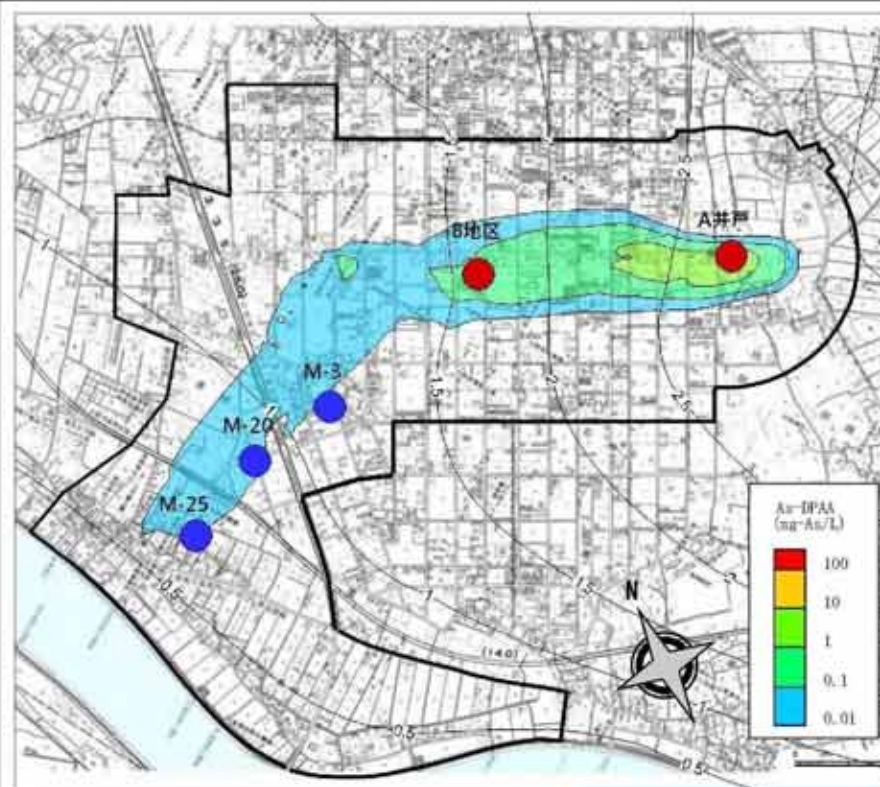
2011年4月

予測解析結果（無対策、3年対策）比較図：As-DPAA濃度コンター図（深度20m：2/4）

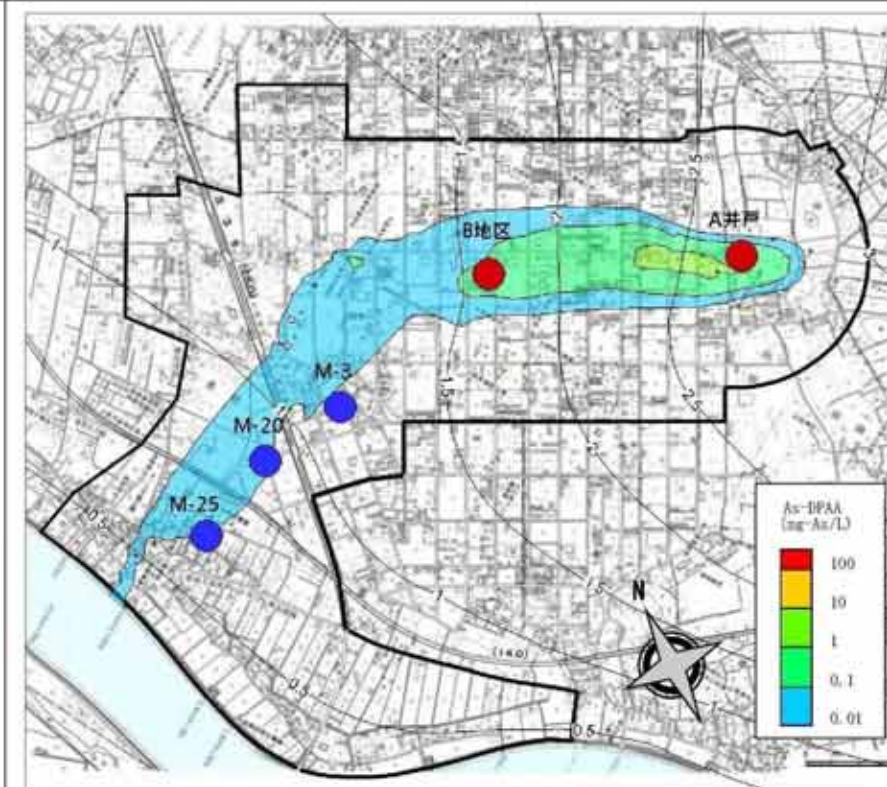
無対策時



2012年4月

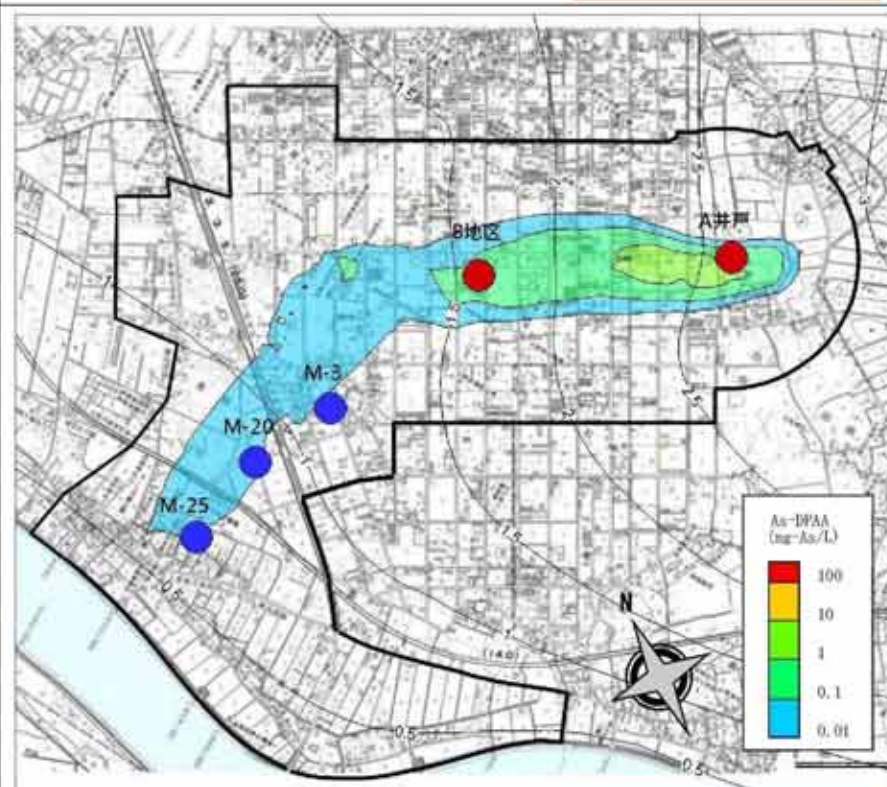


2013年4月

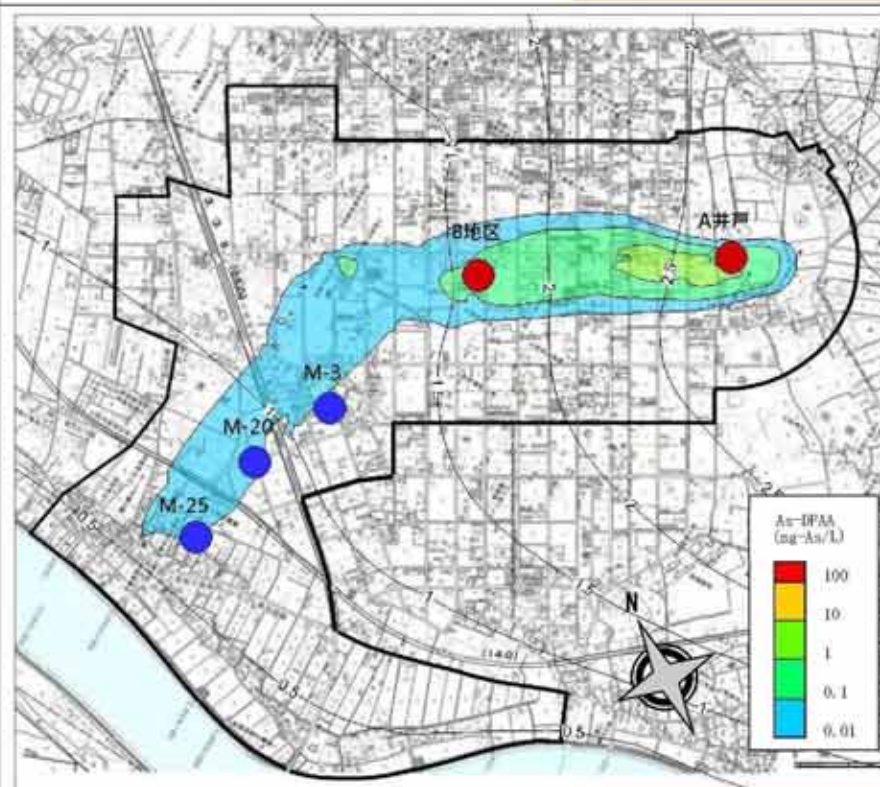


2017年4月

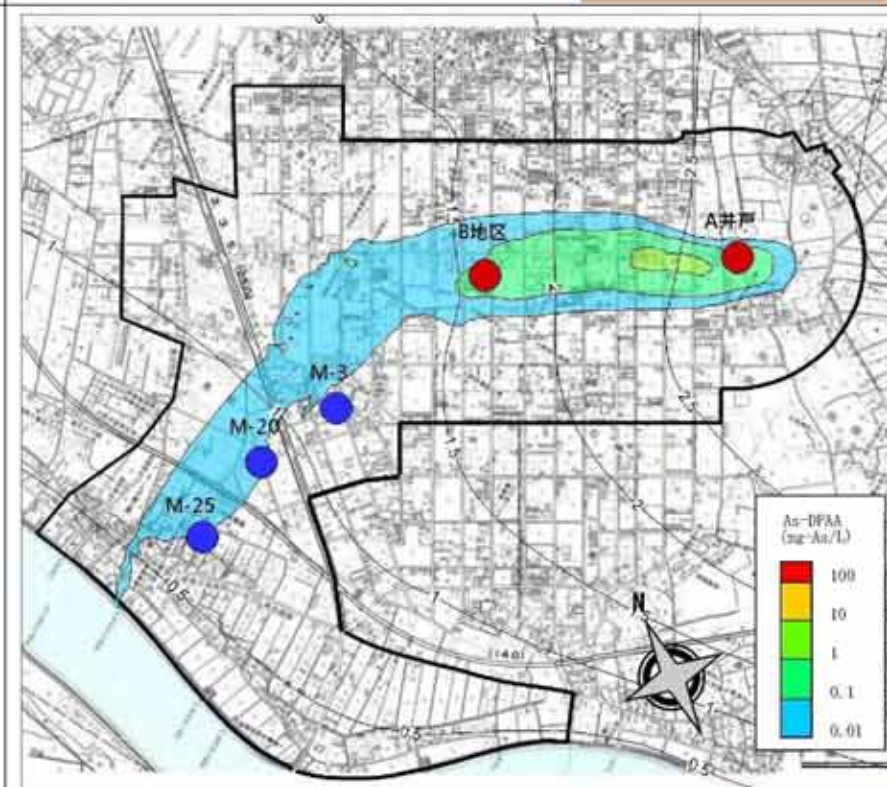
3年対策時



2012年4月



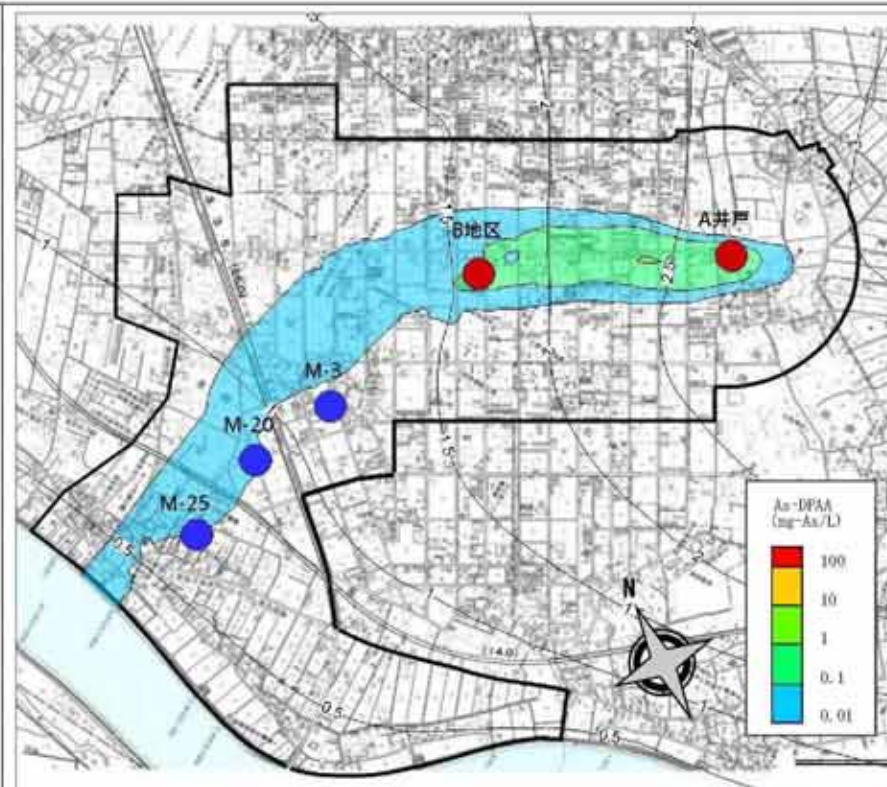
2013年4月(1年後)



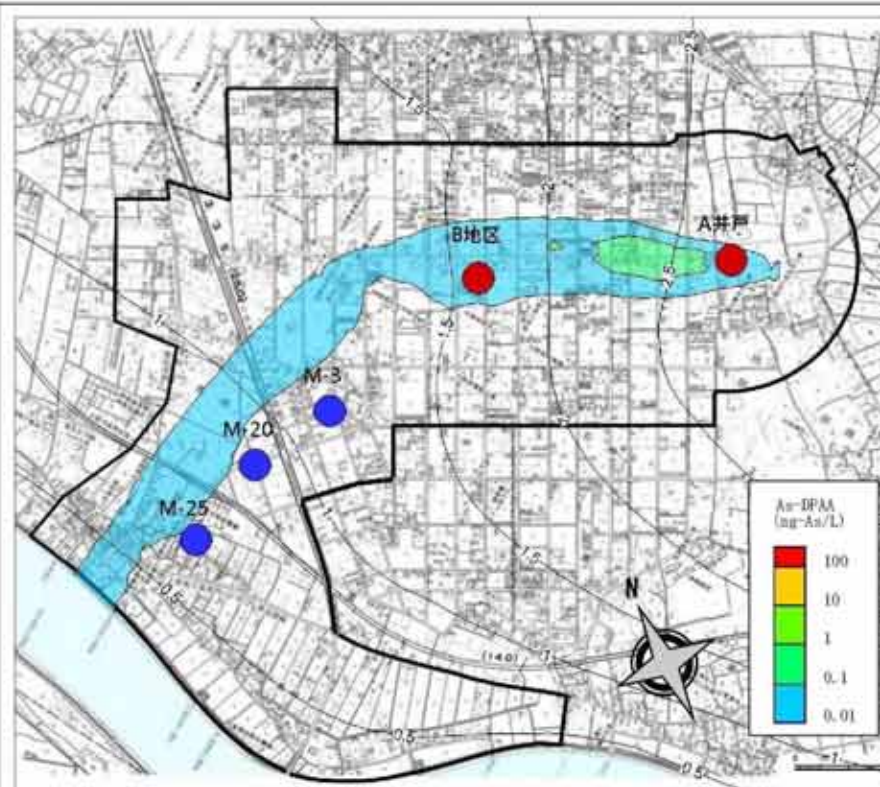
2017年4月(5年後)

予測解析結果（無対策、3年対策）比較図：As-DPAA濃度コンター図（深度20m：3/4）

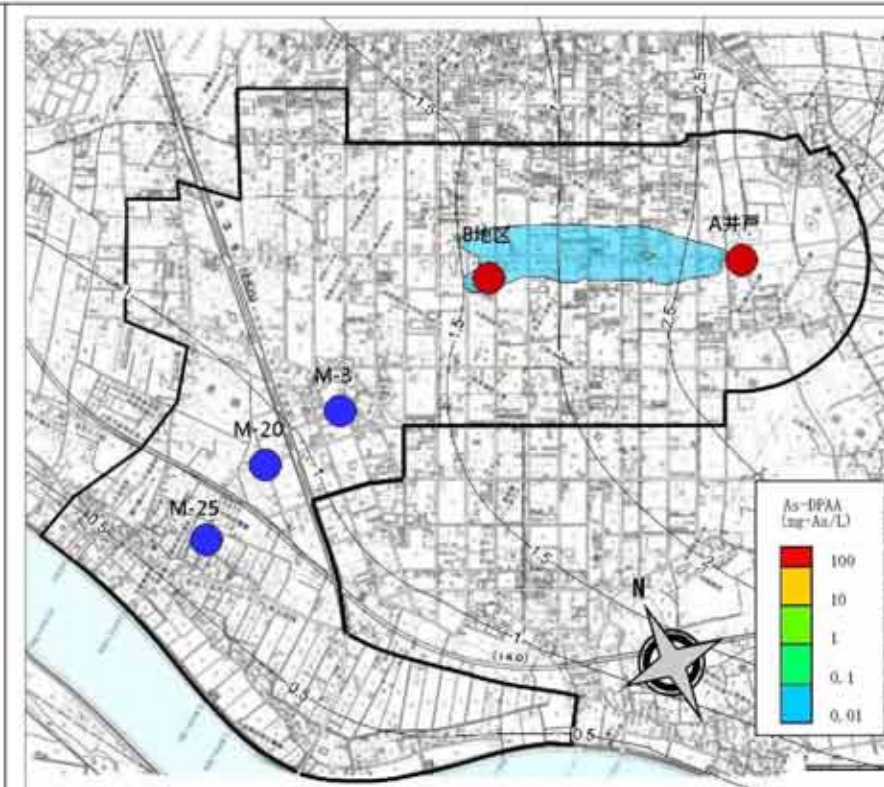
無対策時



2022年4月

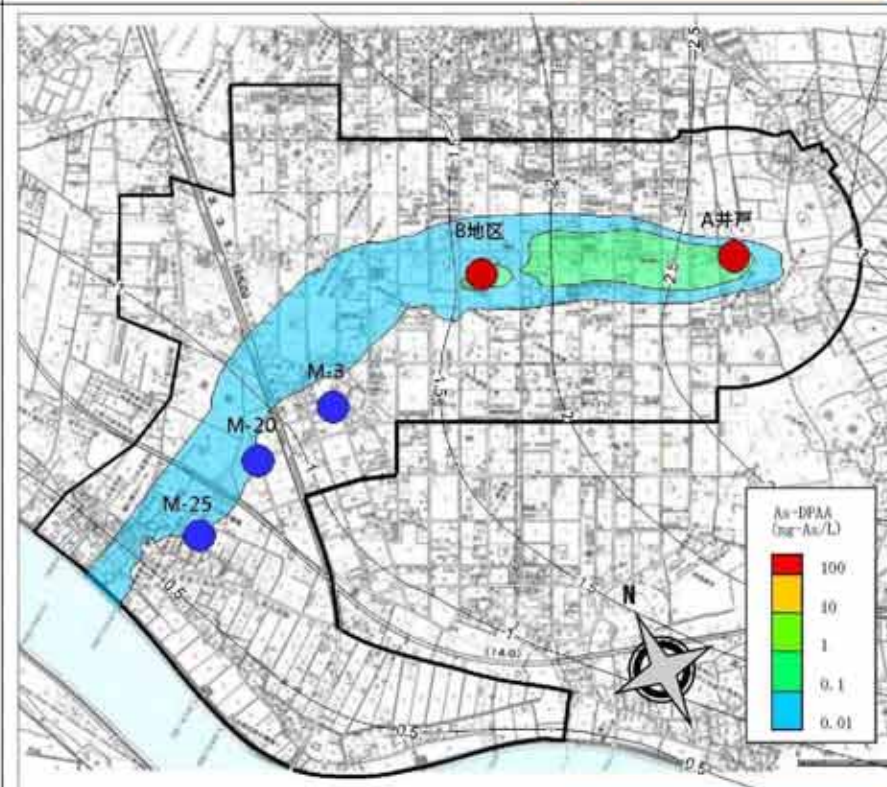


2032年4月

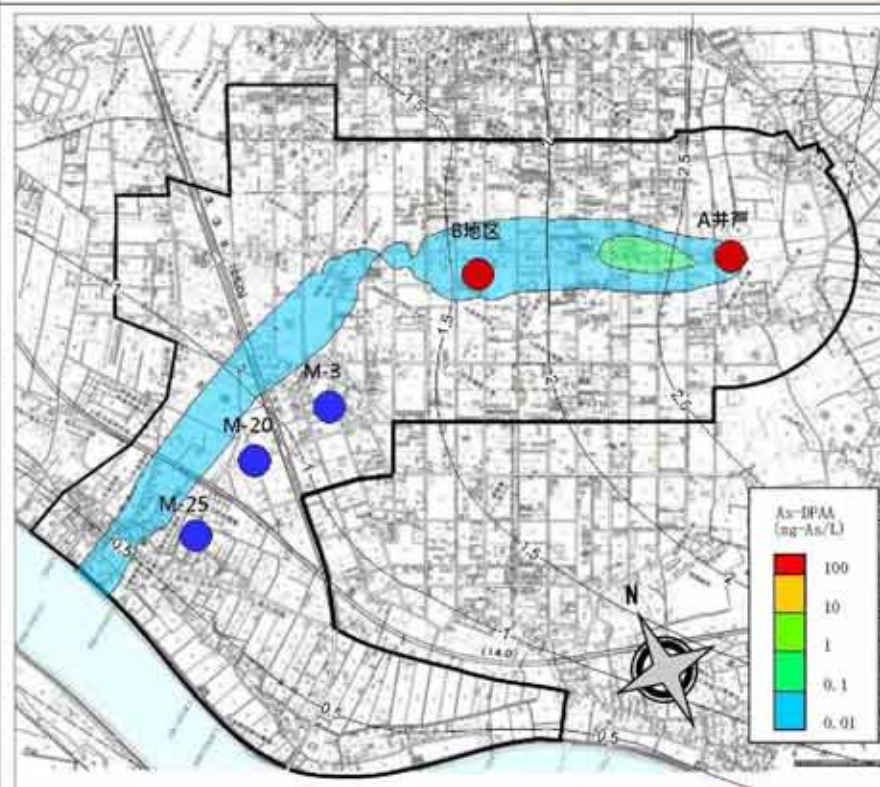


2042年4月

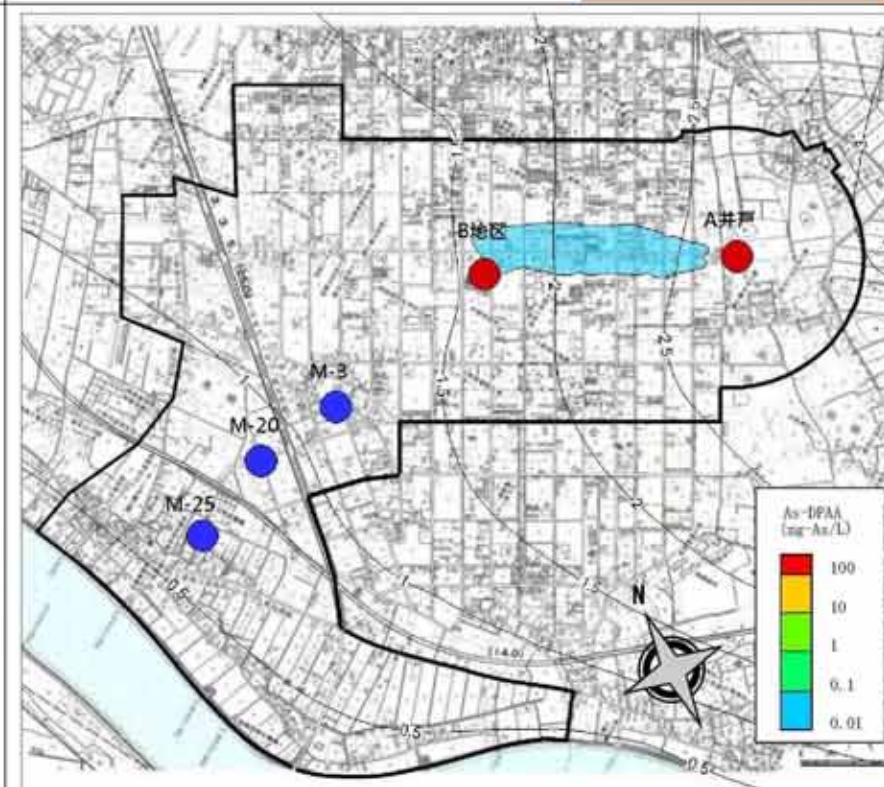
3年対策時



2022年4月(10年後)



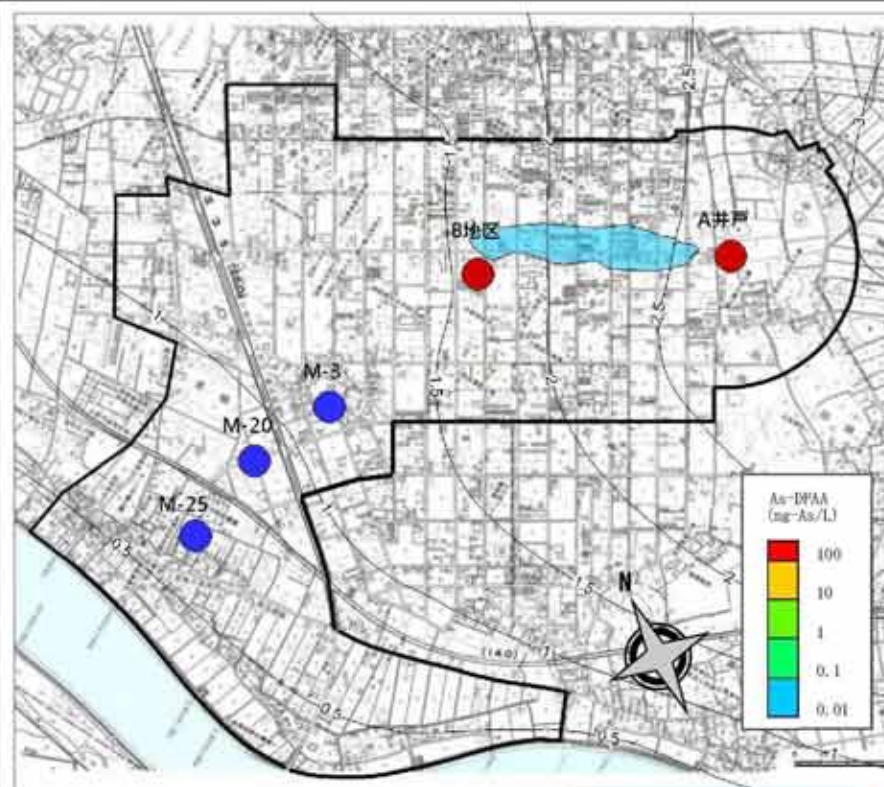
2032年4月(20年後)



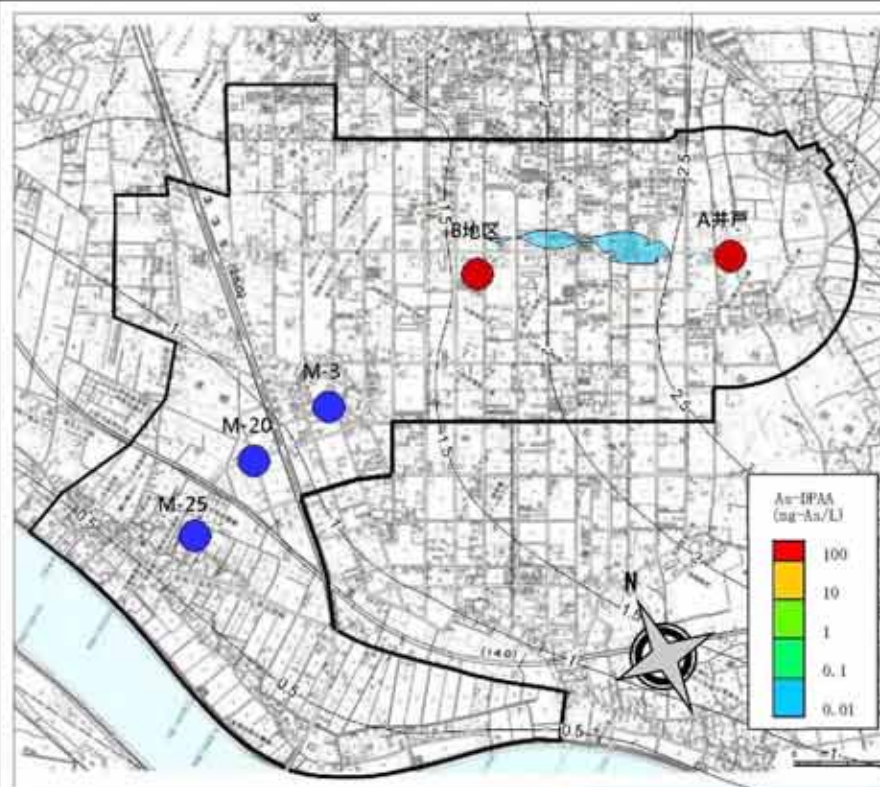
2042年4月(30年後)

予測解析結果（無対策、3年対策）比較図：As-DPAA 濃度コンター図（深度 20m : 4/4）

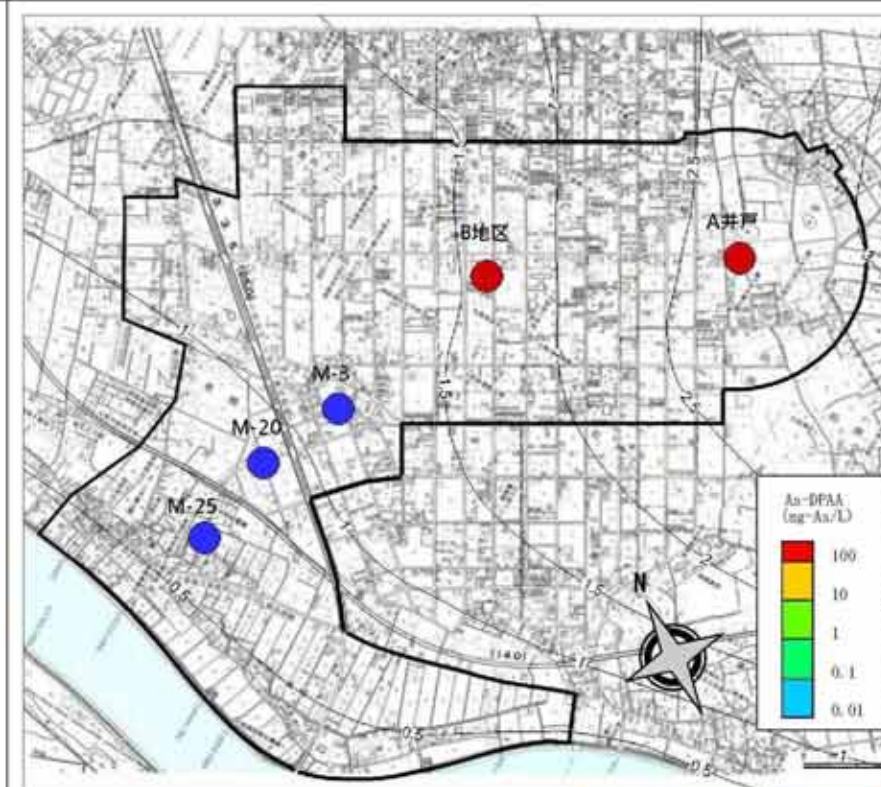
無対策時



2047年4月

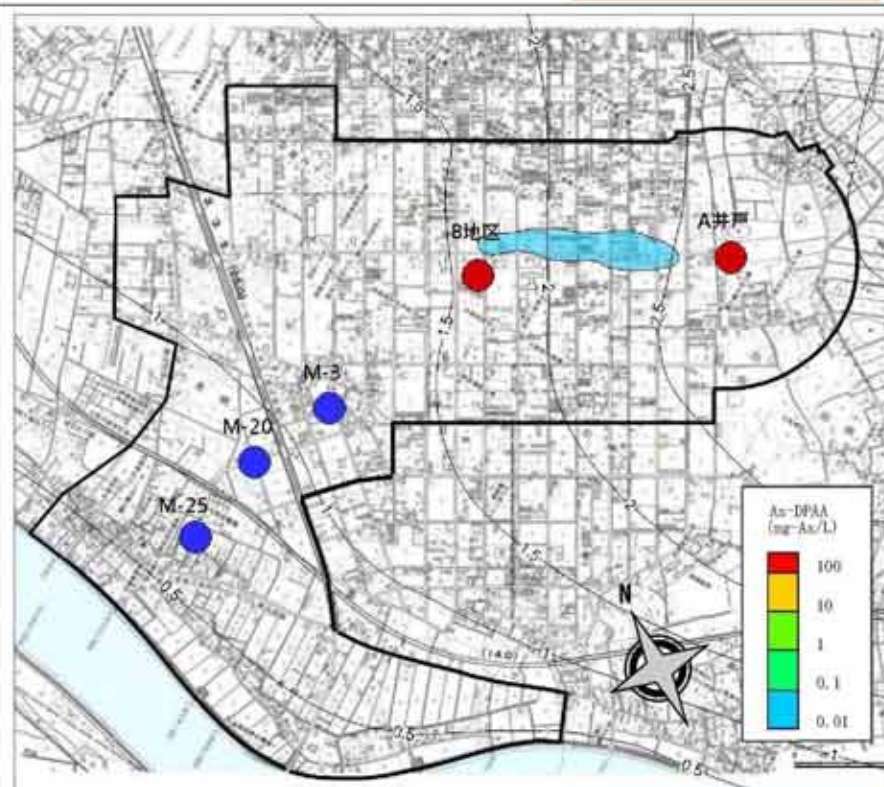


2052年4月

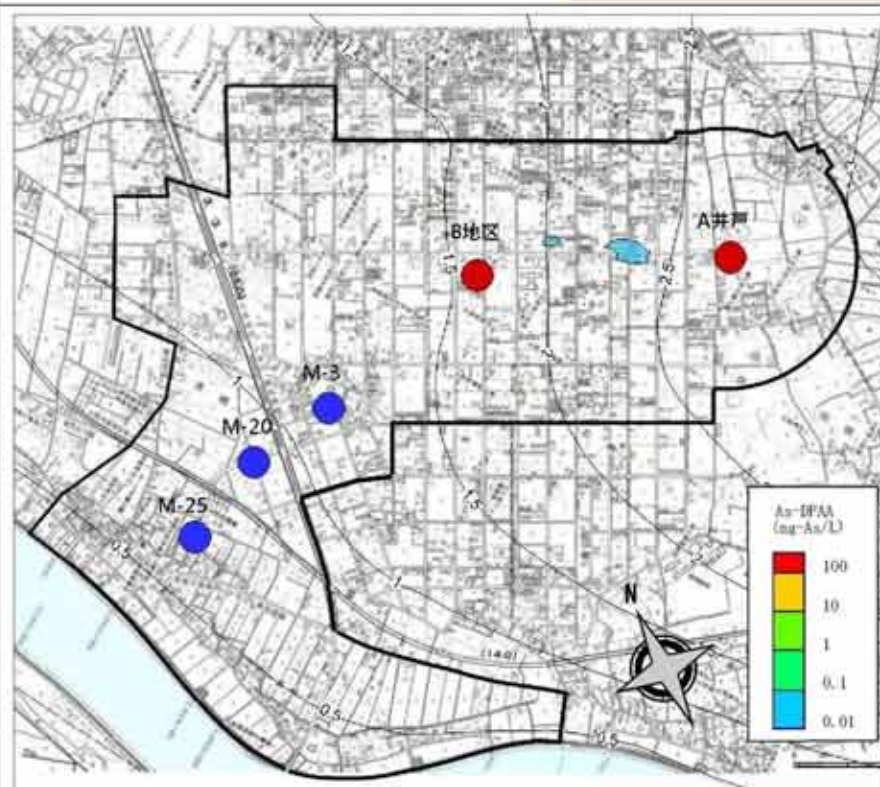


2057年4月

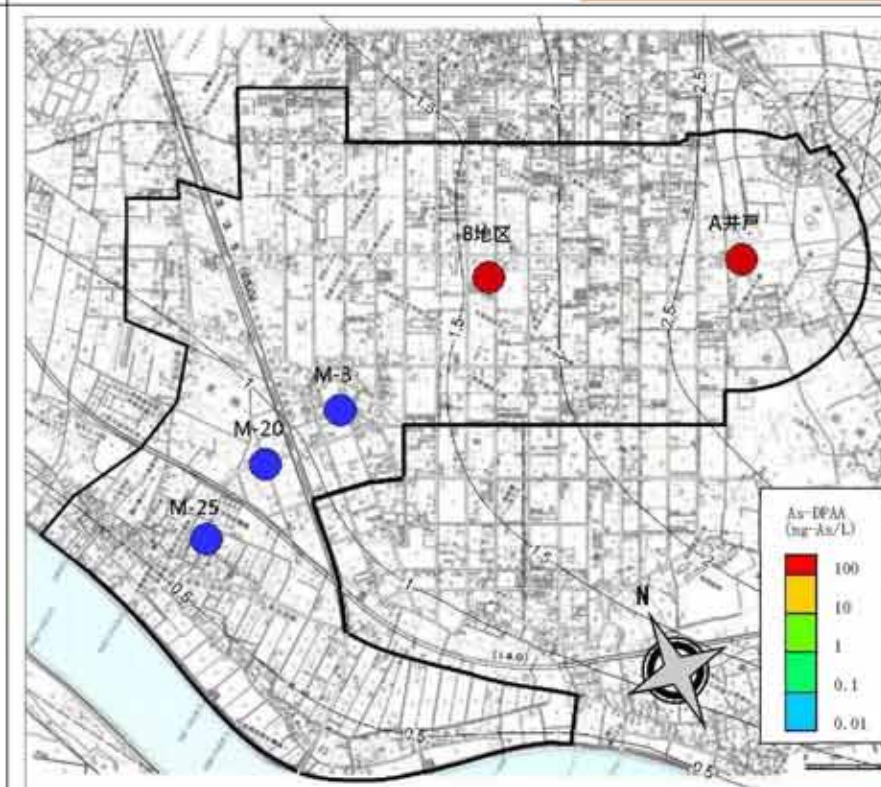
3年対策時



2047年4月(35年後)



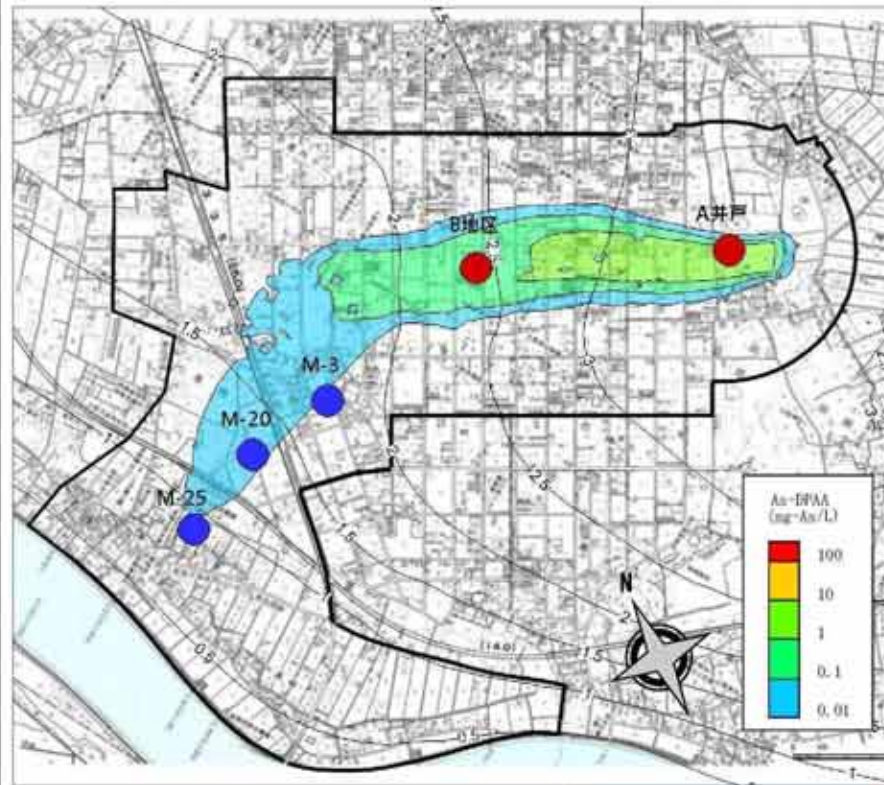
2052年4月(40年後)



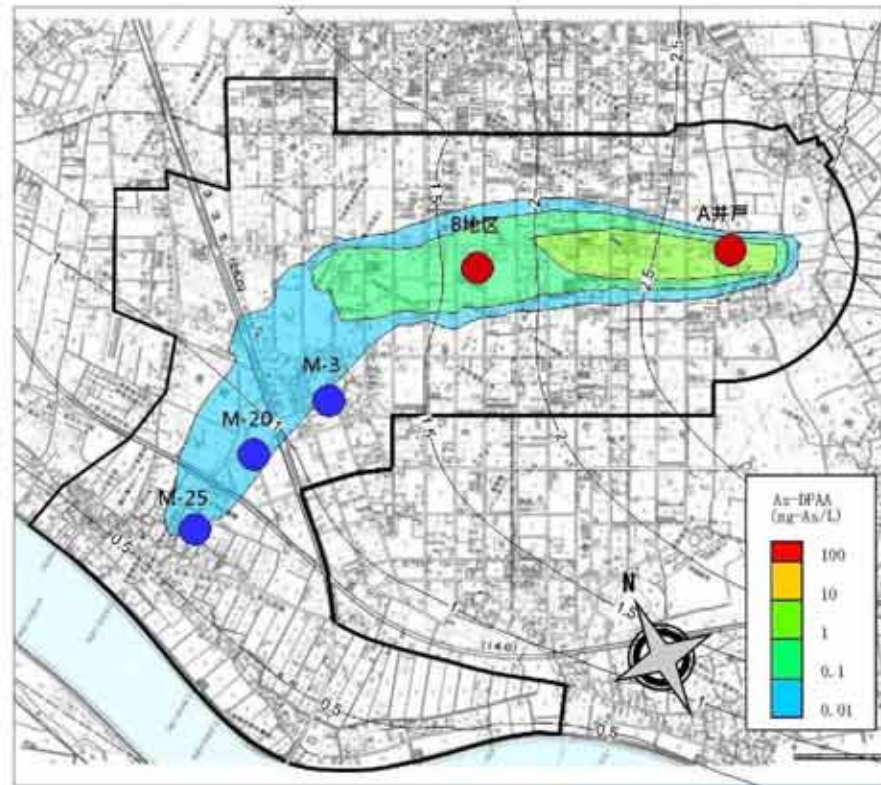
2057年4月(45年後)

予測解析結果（無対策、3年対策）比較図：As-DPAA 濃度コンター図（深度 30m : 1/4）

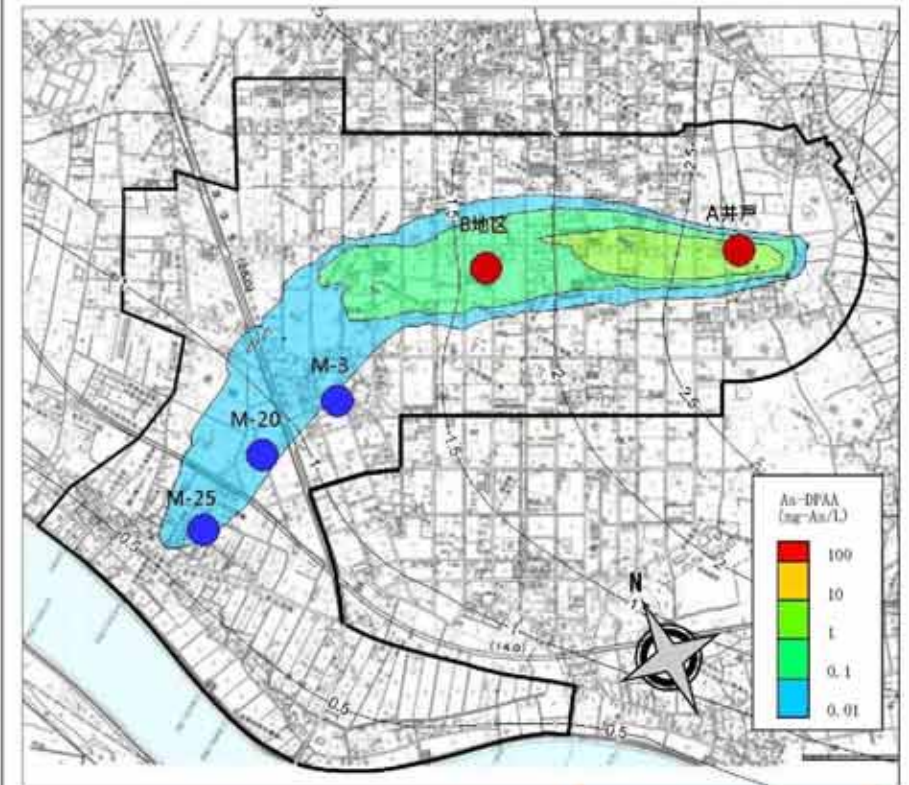
無対策時



2009年4月

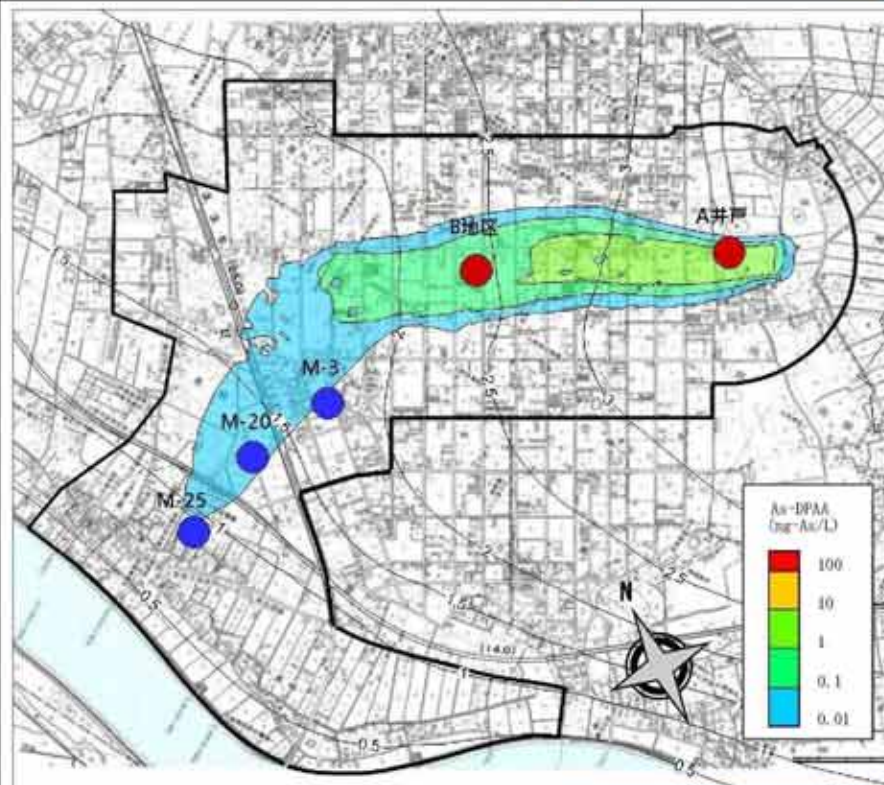


2010年4月

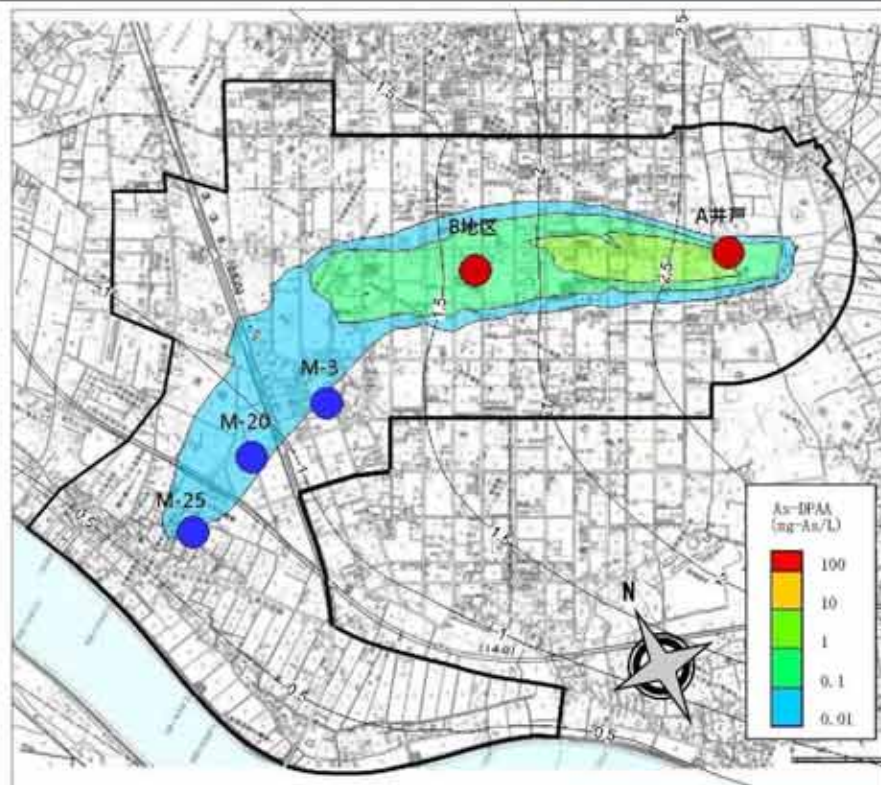


2011年4月

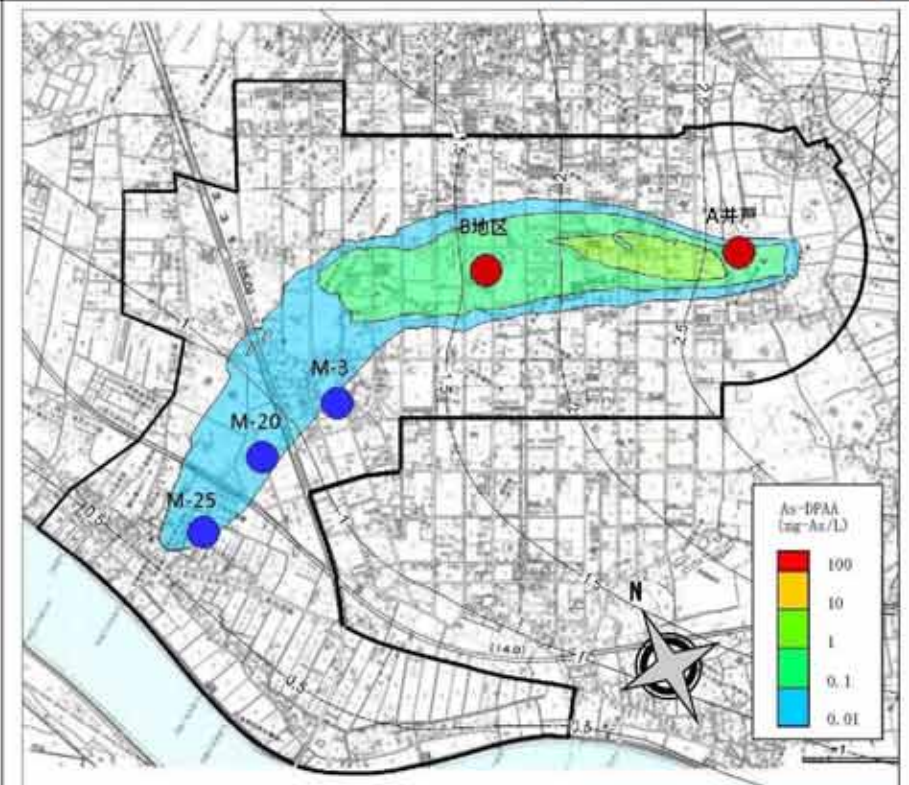
3年対策時



2009年4月



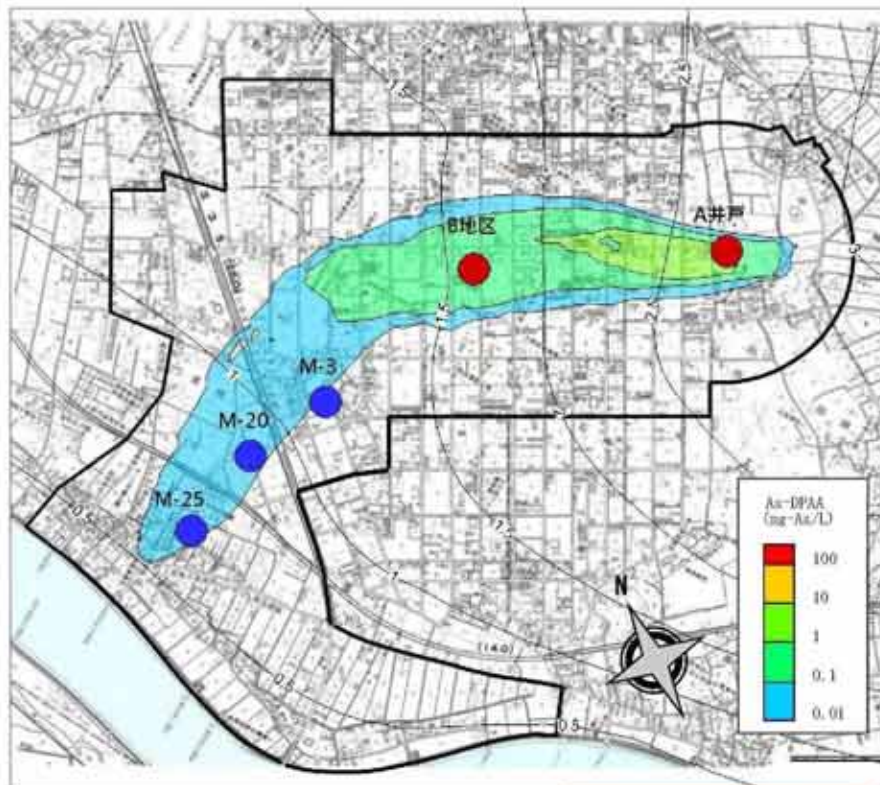
2010年4月



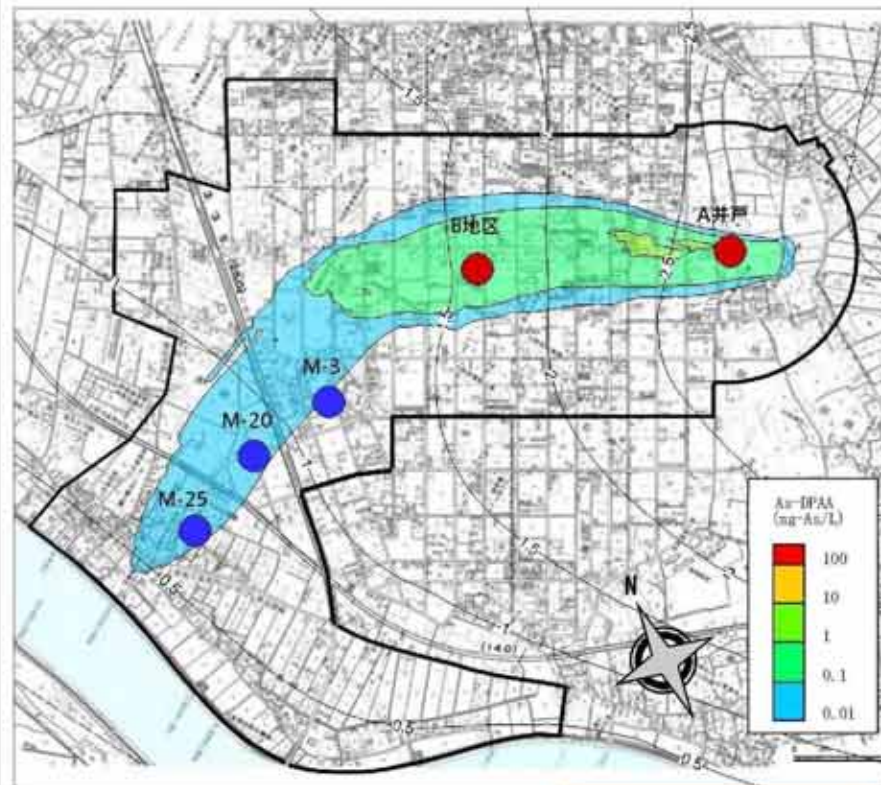
2011年4月

予測解析結果（無対策、3年対策）比較図：As-DPAA 濃度コンター図（深度 30m : 2/4）

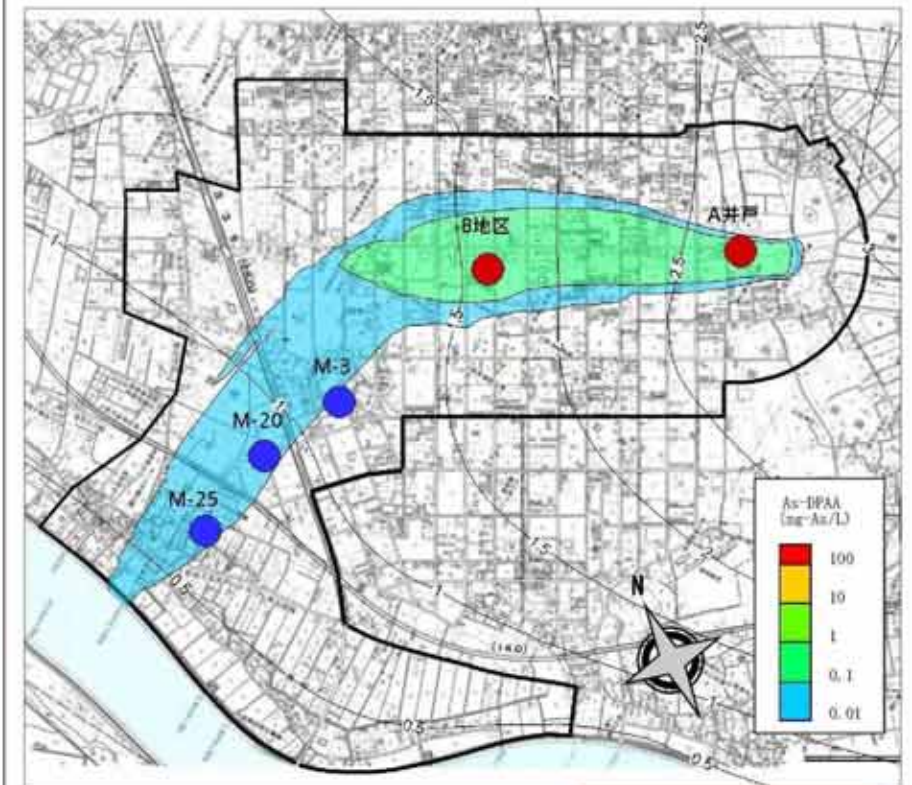
無対策時



2012年4月

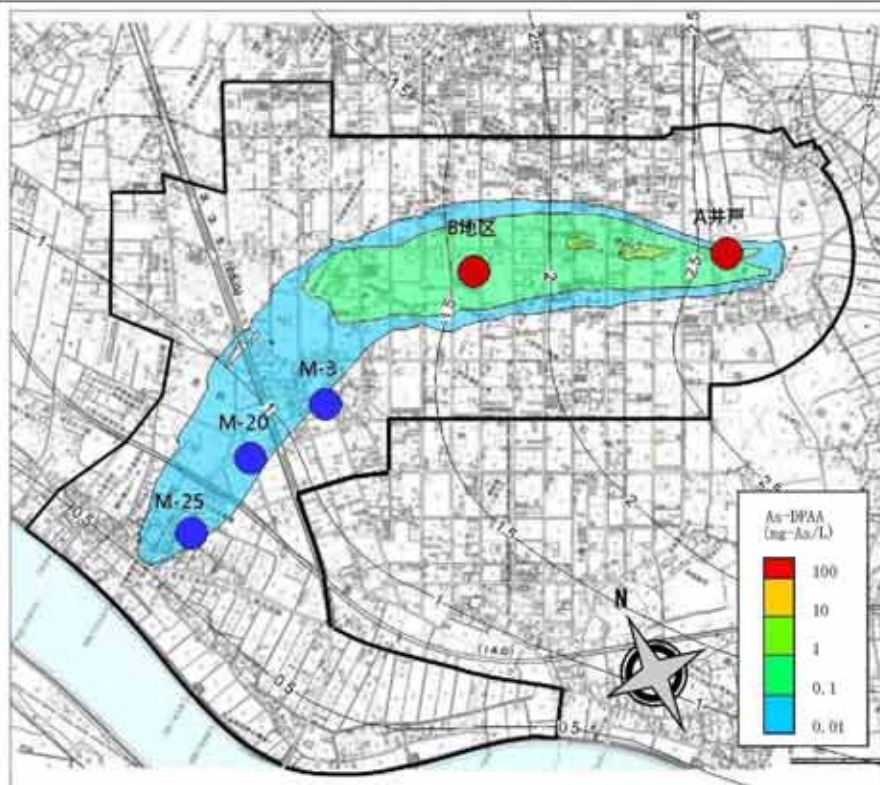


2013年4月

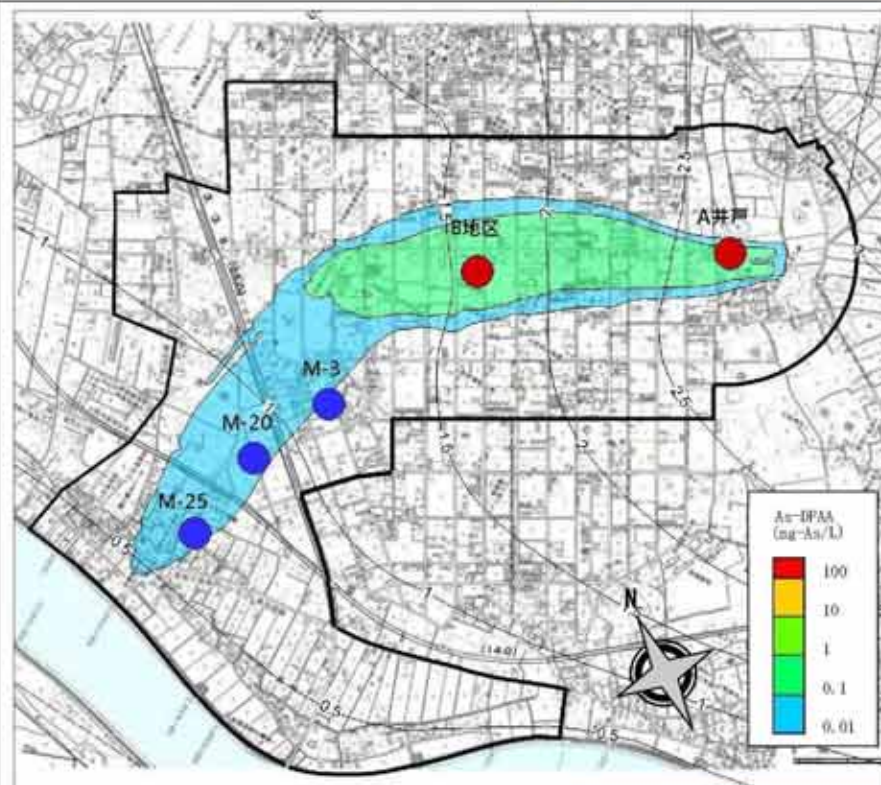


2017年4月

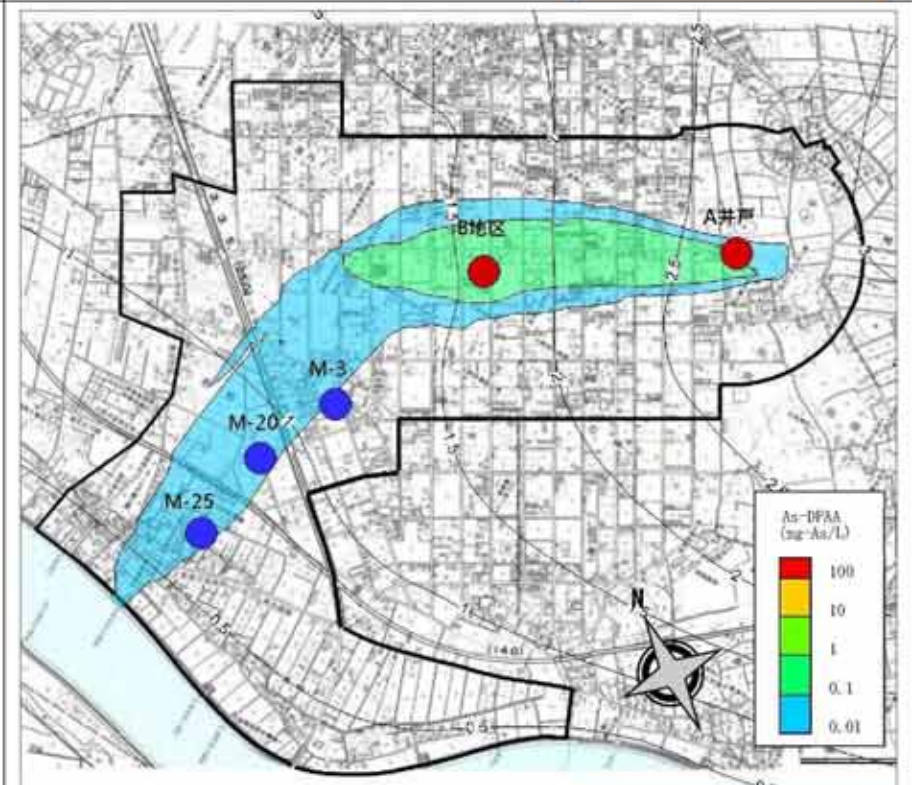
3年対策時



2012年4月



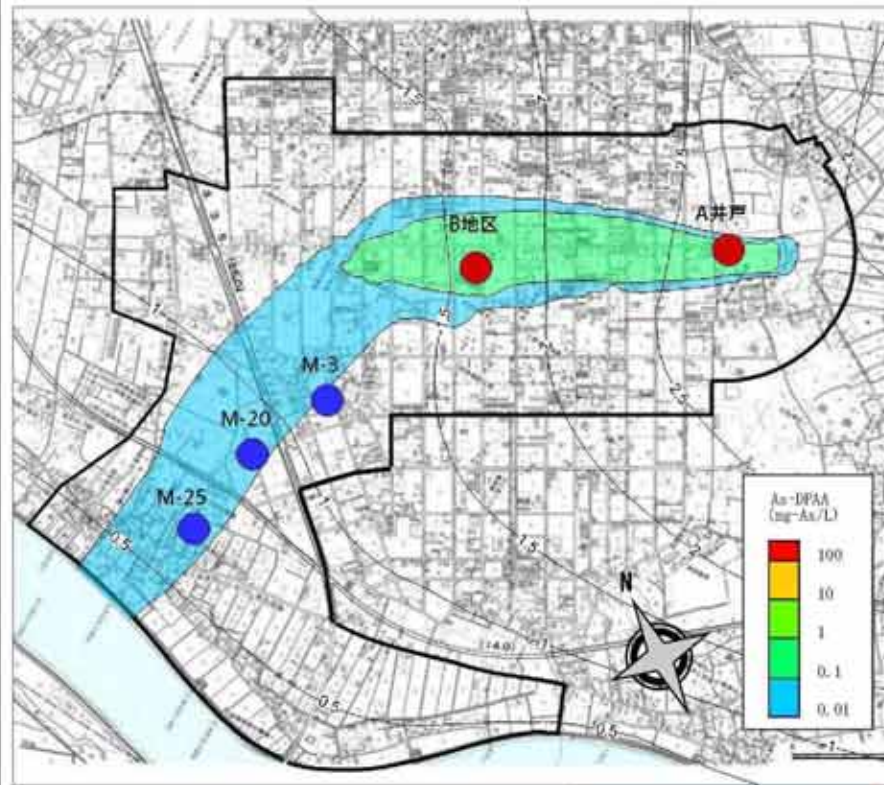
2013年4月(1年後)



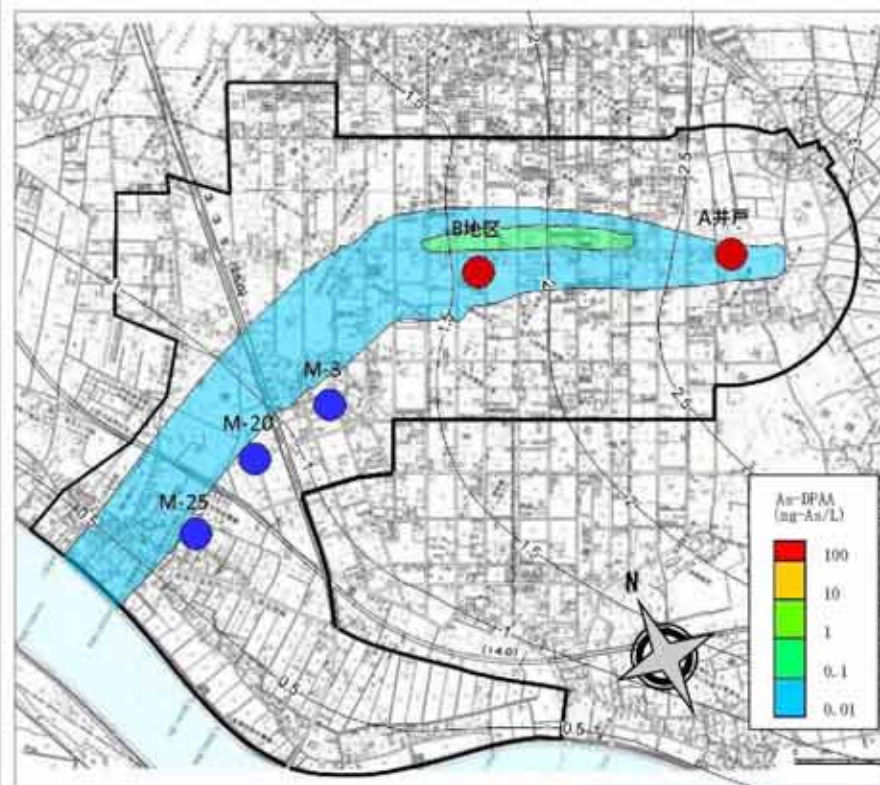
2017年4月(5年後)

予測解析結果（無対策、3年対策）比較図：As-DPAA 濃度コンター図（深度 30m : 3/4）

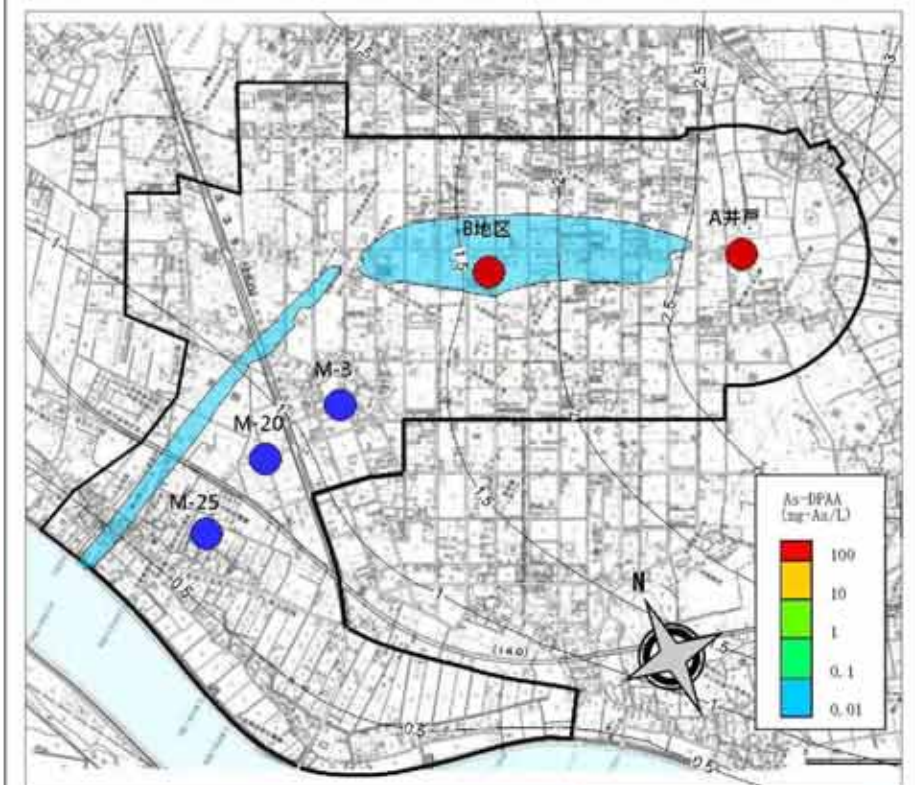
無対策時



2022年4月

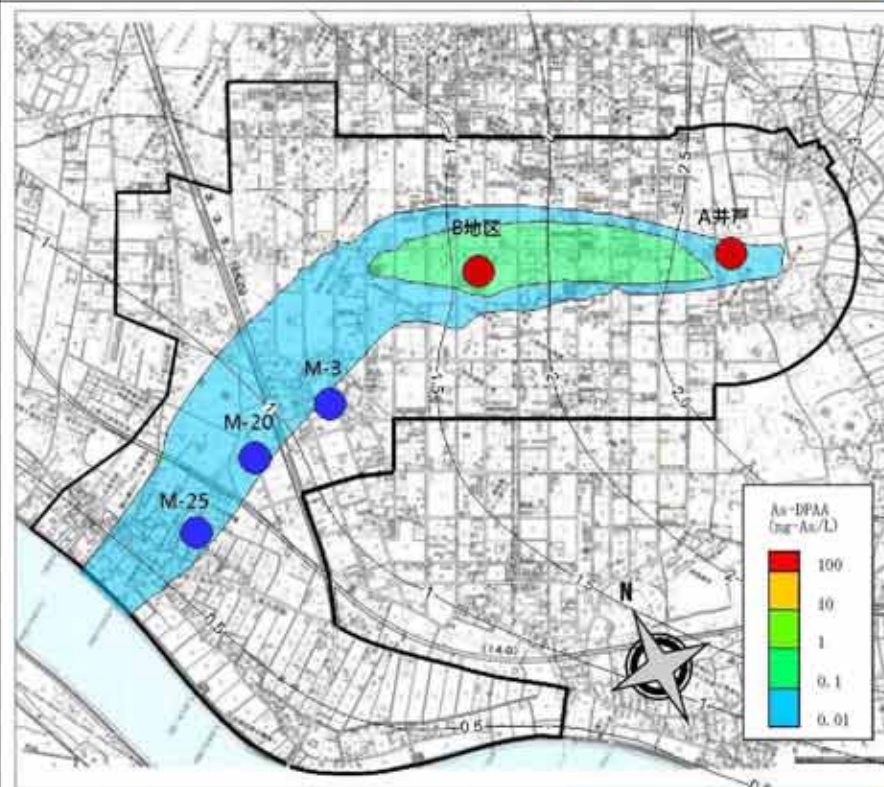


2032年4月

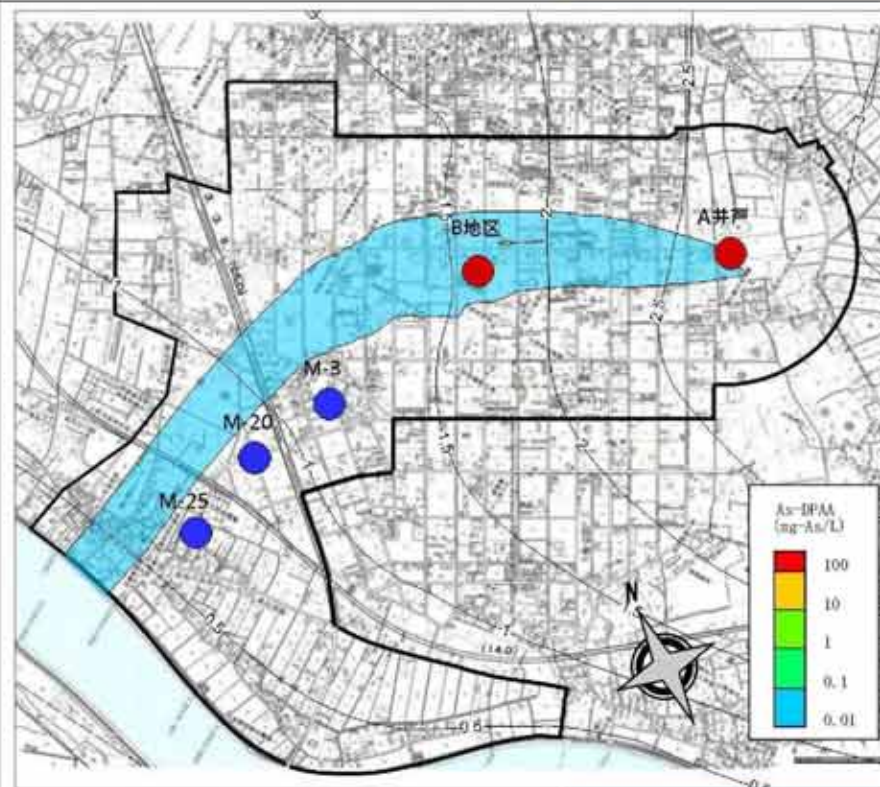


2042年4月

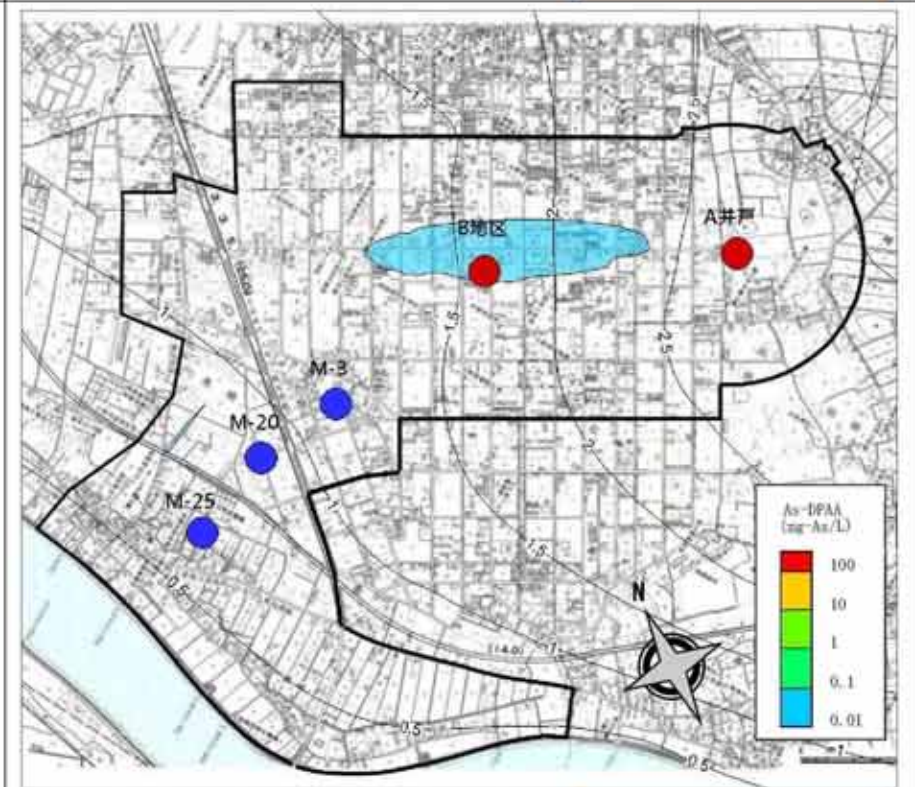
3年対策時



2022年4月(10年後)



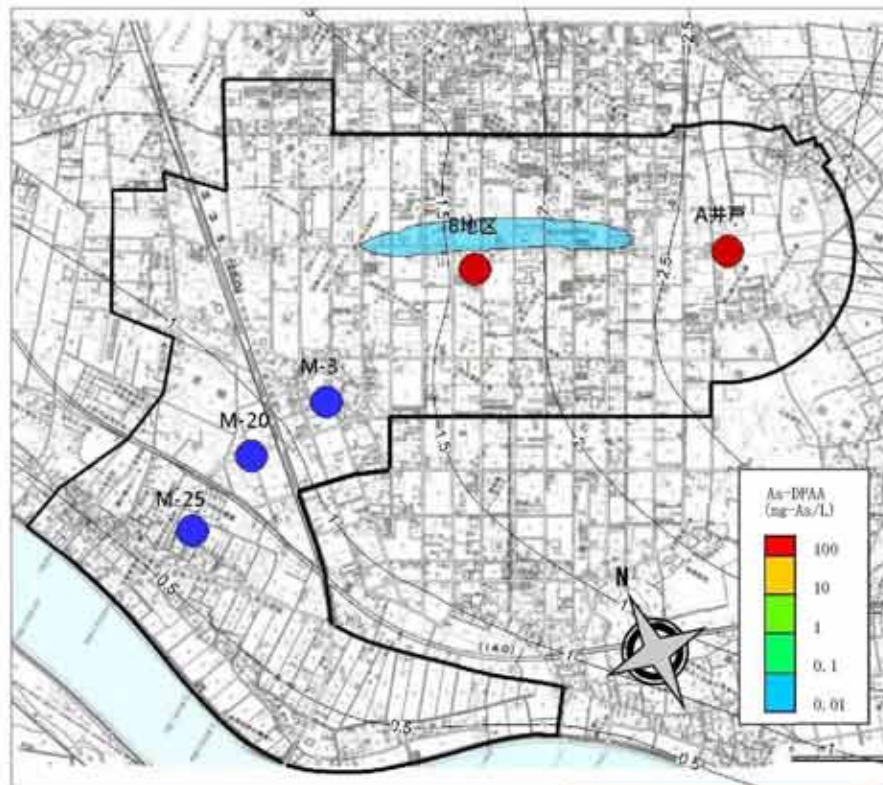
2032年4月(20年後)



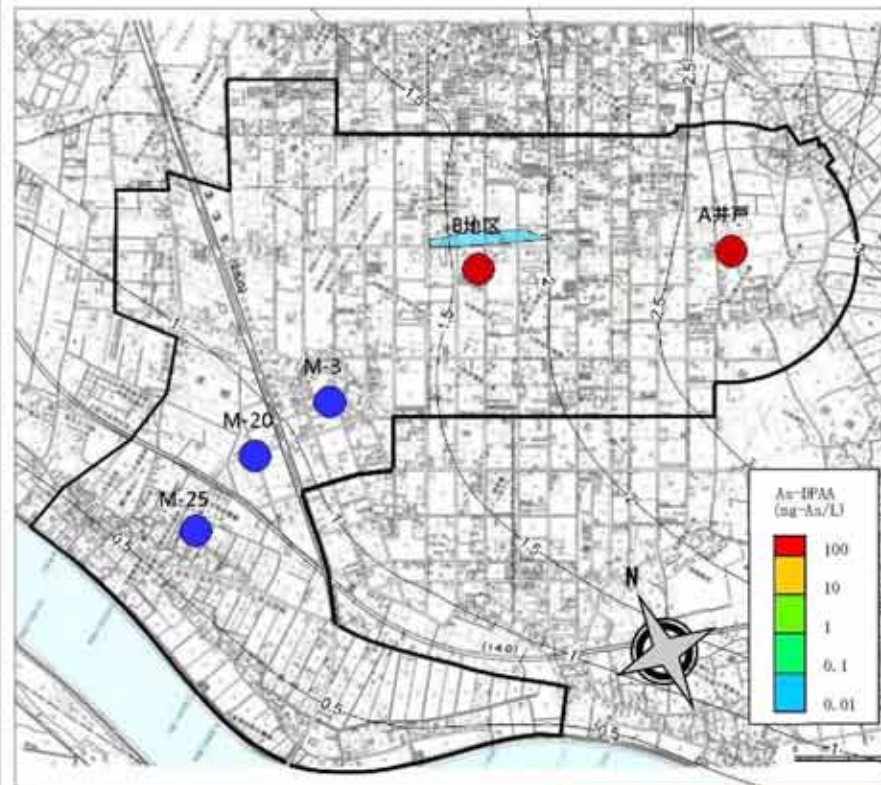
2042年4月(30年後)

予測解析結果（無対策、3年対策）比較図：As-DPAA 濃度コンター図（深度 30m : 4/4）

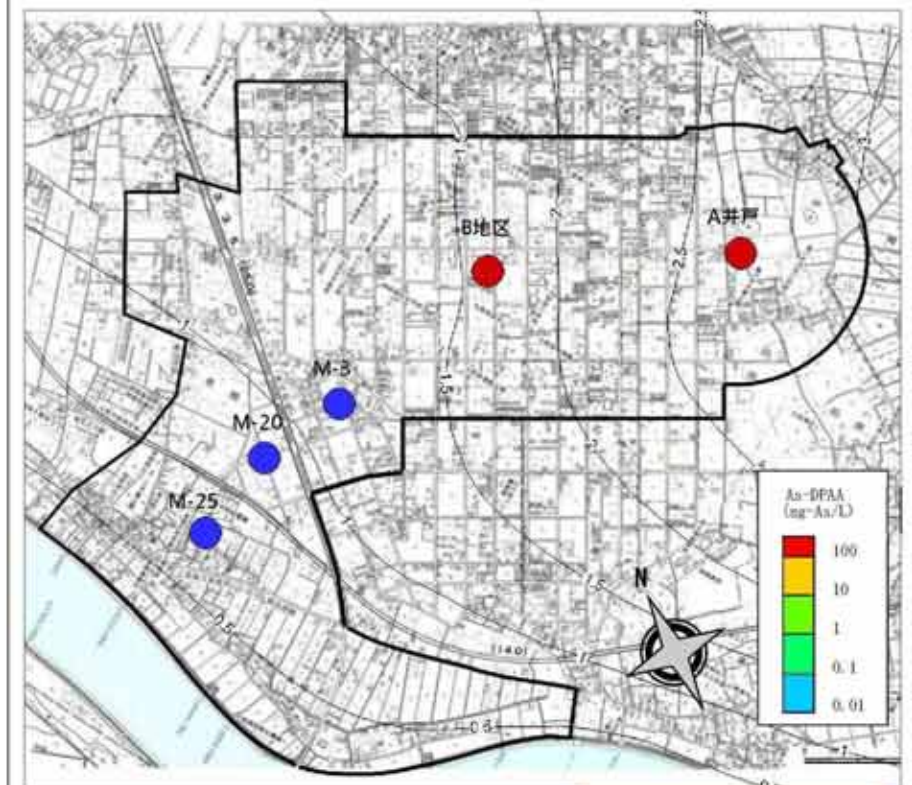
無対策時



2047年4月

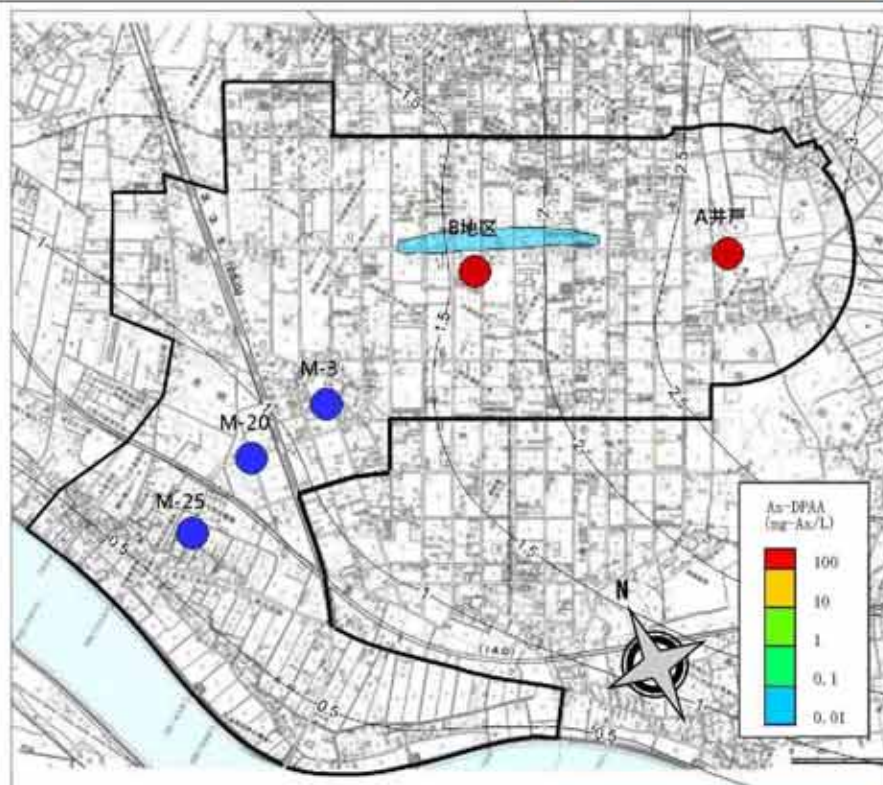


2052年4月

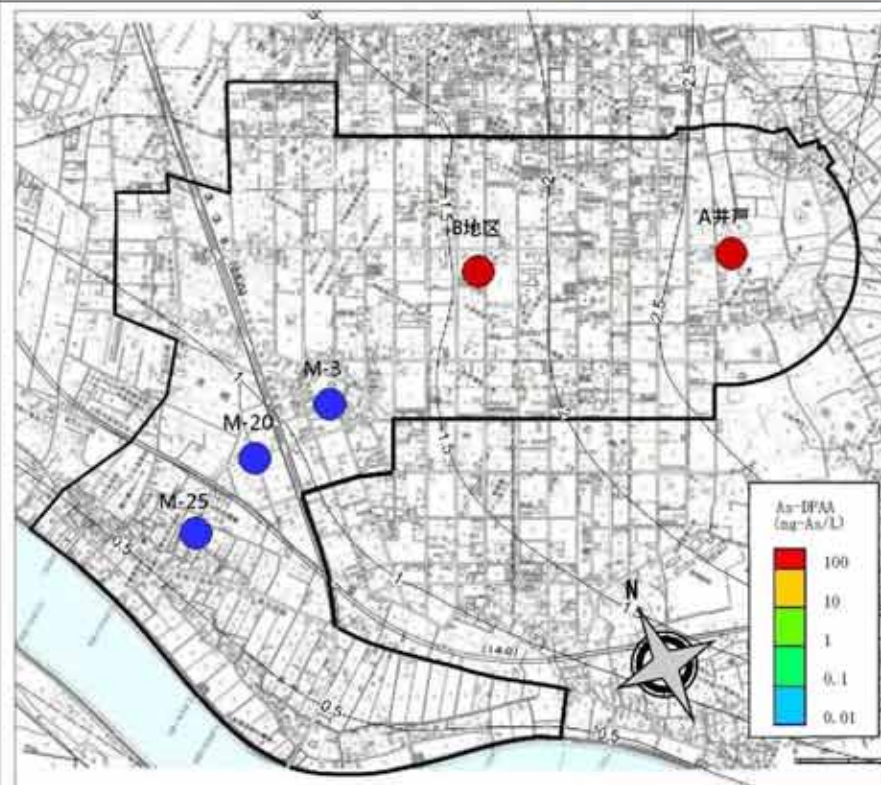


2057年4月

3年対策時



2047年4月(35年後)



2052年4月(40年後)