


平成24年度

地表水・地下水等調査検討業務委託

報 告 書

平成25年 3月

 八千代エンジニアリング株式会社

目次

| | | |
|-------|---------------------|-------|
| 1. | 業務概要 | 1-1 |
| 2. | 小水力発電関連調査 | 2-1 |
| 2.1 | 机上調査 | 2-1 |
| 2.1.1 | 制約条件 | 2-1 |
| 2.1.2 | 1次選定箇所 | 2-1 |
| 2.2 | 現地踏査（2次選定） | 2-3 |
| 2.2.1 | 1次調査（発電箇所抽出） | 2-3 |
| 2.2.2 | 2次調査（有望箇所諸言調査） | 2-3 |
| 2.2.3 | 3次調査（合同調査） | 2-9 |
| 2.3 | 調査結果の検討 | 2-10 |
| 3. | 地下熱関連調査 | 3-1 |
| 3.1 | 机上調査 | 3-2 |
| 3.1.1 | 地形 | 3-2 |
| 3.1.2 | 地質 | 3-3 |
| 3.1.3 | 気象 | 3-12 |
| 3.1.4 | 地下水位 | 3-18 |
| 3.1.5 | 湧出量 | 3-35 |
| 3.1.6 | 地下水質 | 3-36 |
| 3.1.7 | 河川流量 | 3-42 |
| 3.1.8 | 地下水揚水量 | 3-47 |
| 3.1.9 | 水田湛水実験データ | 3-62 |
| 3.2 | 実証試験データの整理 | 3-65 |
| 3.2.1 | 実証試験サイトの概要 | 3-65 |
| 3.2.2 | 原位置調査から把握された地下水特性 | 3-67 |
| 3.2.3 | 地下熱冷暖房システムの概要 | 3-75 |
| 3.2.4 | 地下水原位置観測 | 3-78 |
| 3.3 | 調査結果の検討 | 3-95 |
| 3.3.1 | 原位置観測結果の考察 | 3-95 |
| 3.3.2 | 蓄熱状況の評価 | 3-109 |
| 3.3.3 | 地下熱利用技術の導入にあたっての留意点 | 3-130 |
| 3.3.4 | 数値シミュレーションの基本条件 | 3-131 |
| 4. | 課題と来年度の方針 | 4-1 |
| 4.1 | 小水力発電関連の課題 | 4-1 |
| 4.2 | 地下熱関連の課題 | 4-1 |
| 4.3 | 平成25年度以降の調査（案） | 4-2 |

- 【資料編】 資料1 地下水位自記記録結果
資料2 現地観測結果（帯水層別地下水面）
資料3 現地観測結果（地下水温度プロファイル）

1. 業務概要

本業務は、(独)JST 科学技術イノベーション政策のための科学 研究開発プログラム『イノベーション政策に資する公共財としての水資源保全とエネルギー利用に関する研究』における『地表水及び地下水等の水資源の実態と基礎的課題の把握に関する自然科学的調査』の一環として、ナノ水力及び地中熱関連研究を進める上で必要となる地表水と地下水に係わる基礎データを収集・整理を行うとともに現地調査を行い、収集データを検討するものである。

(1) 委託業務名

平成24年度 地表水・地下水等調査検討業務委託

(2) 業務対象地域 (図-1.1～図-1.3 参照)

- 小水力関連：長野県下水内郡栄村
- 地下熱関連：松本盆地(安曇野市を中心とした松本平全般)

及び信州大学工学部キャンパス内



図-1.1 長野県全図

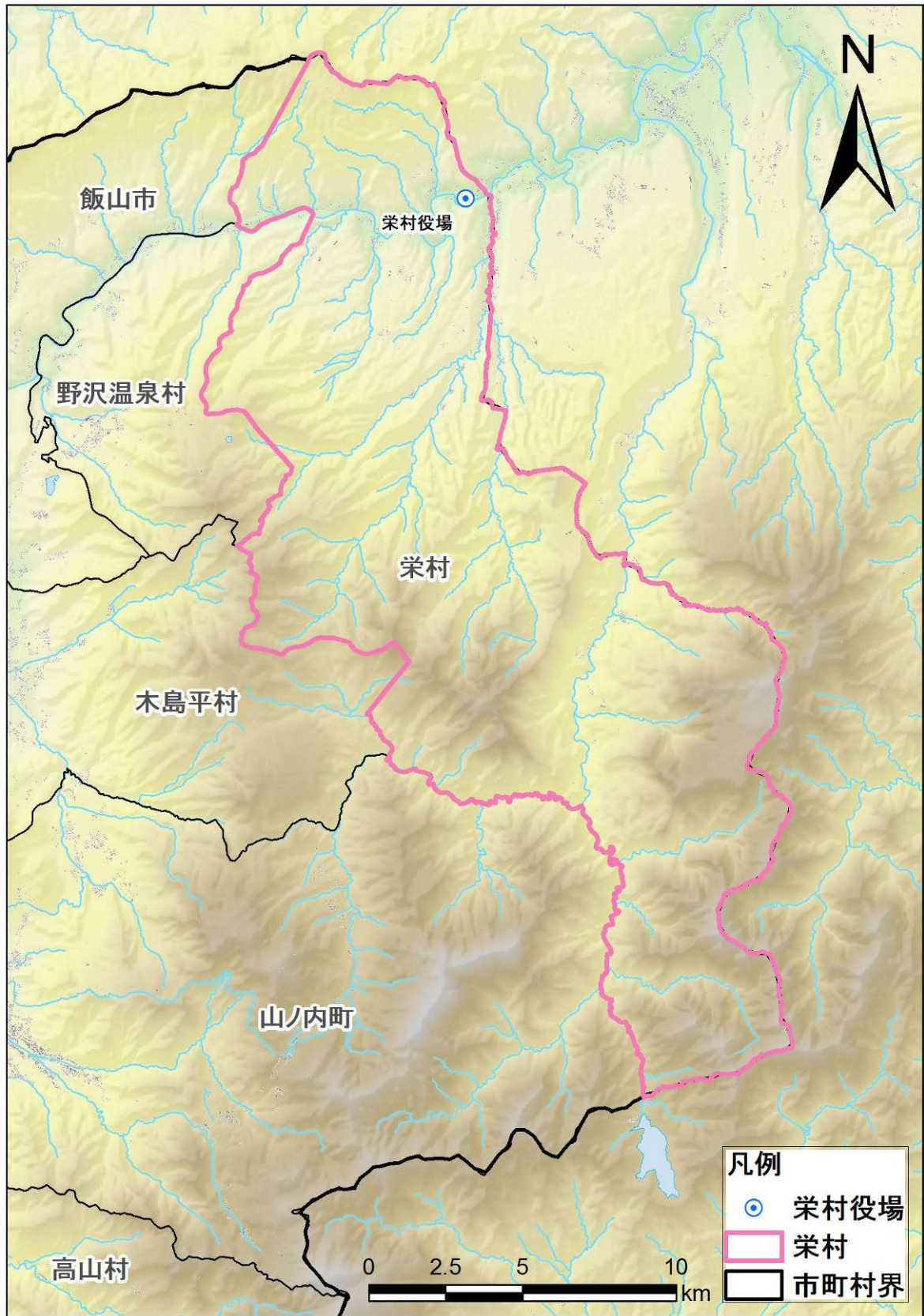


図-1.2 小水力発電施設関連調査の対象地域(長野県栄村)

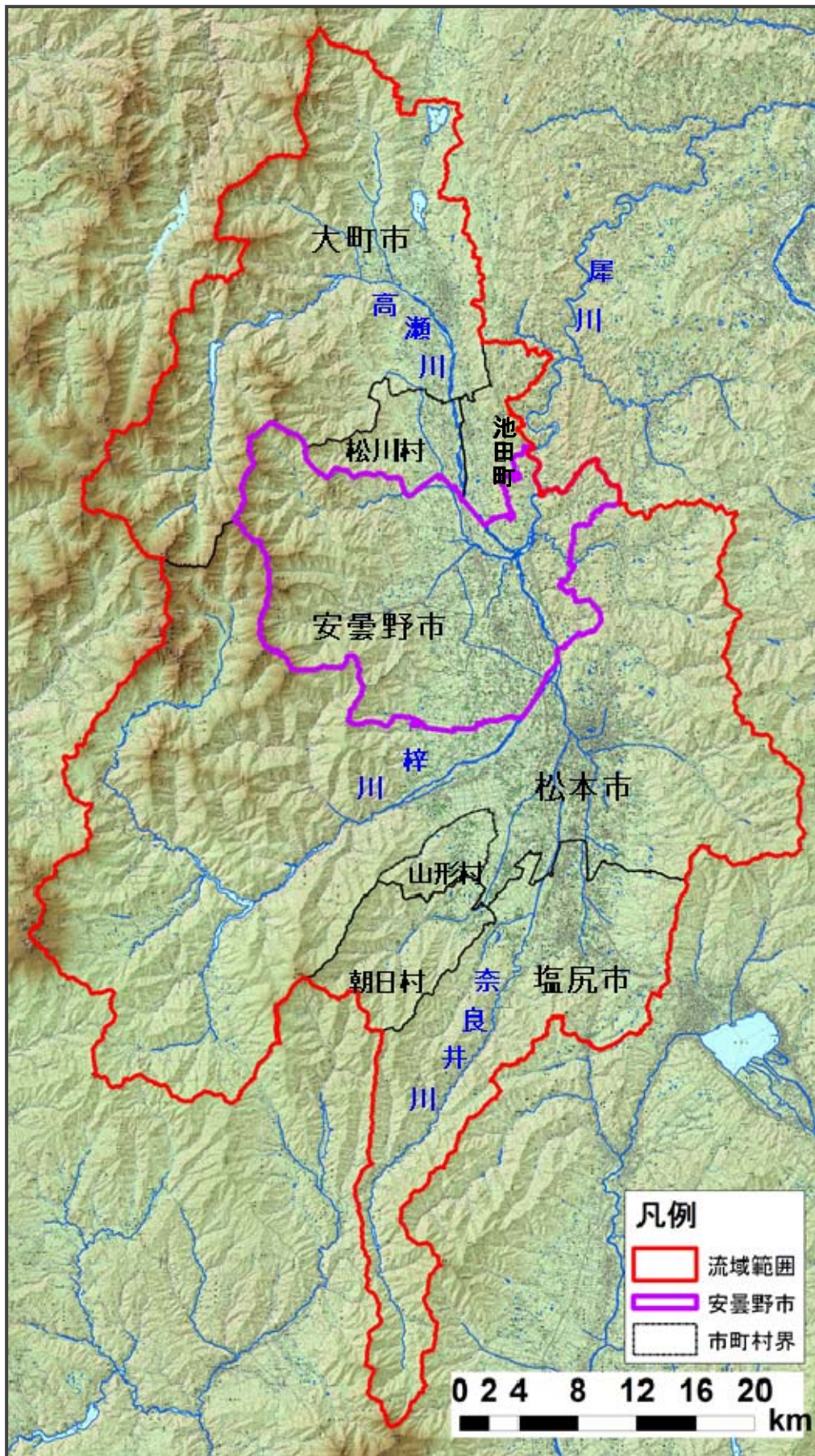


図-1.3 地下熱関連調査の対象地域(松本盆地全体及び安曇野市域)

(3) 委託期間

平成24年11月1日～平成25年3月29日

(4) 工程表

本業務の作業工程を表-1.1に示す。

表-1.1 作業工程表

| 項目 | 2011年 | | | | 2012年 | | | | | | | |
|---------------|---------------|-----|----|----|-------|----|----|----|----|---|---|---|
| | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | | | |
| 計画準備 | ■ | | | | | | | | | | | |
| 小水力発電 関連調査 | ① 机上調査 | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| | ② 現地踏査 | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| | ③ 水量観測(水位計設置) | | | ■ | | | | | | | | |
| | ④ 調査結果の検討 | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| 地下熱関連 調査 | ① 机上調査 | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | |
| | ② 実証試験データの整理 | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| | ③ 調査結果の検討 | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| 報告書作成 | | | | | | | | | | | ■ | ■ |

2. 小水力発電関連調査

2.1 机上調査

2.1.1 制約条件

栄村において、小水力発電を導入する地点を選定する。選定にあたっては以下の条件を考慮して机上選定を行う。

【条件】

- ①集落が近く、非常時の電源、平時のコミュニティの電源（集会所）として活用できる。
- ②電力会社の発電取水が行われている北野川、天代川の上流は、水利権の問題もあるので、候補地から避けること。

2.1.2 1次選定箇所

栄村管内図（S=1:25,000）より集落箇所を抽出した後、栄村都市計画図（S=1:2,500）を利用し、抽出の制約条件を踏まえて、水路、電力利用箇所の有無等をチェックした。

これにより、現地踏査を行う集落は、表-2.1.1に示すとおりである。

表-2.1.1 栄村 ナノ発電候補地机上選定（1次選定箇所）

| 地区名 | 水量 適量：○ 少量：× | 電力利用施設 公的施設有り：○ 公的施設無し：× | 水利権 発電所無し：○ 発電所有り：× | 調査対象 |
|-----|--------------------|--------------------------------|---------------------------|------|
| 白鳥 | × | — | ○ | |
| 平滝 | × | — | ○ | |
| 青倉 | ○ | ○ | ○ | ● |
| 泉平 | ○ | ○ | ○ | ● |
| 箕作 | ○ | ○ | ○ | ● |
| 大巻 | ○ | ○ | ○ | ● |
| 野田沢 | × | ○ | ○ | |
| 程久保 | — | × | ○ | |
| 大久保 | × | ○ | ○ | |
| 雪坪 | ○ | ○ | ○ | ● |
| 志久見 | ○ | ○ | ○ | ● |
| 切欠 | × | ○ | ○ | |
| 長瀬 | — | ○ | × | |
| 北野 | ○ | ○ | ○ | ● |
| 天代 | — | × | ○ | |
| 当部 | — | × | — | |
| 極野 | — | — | × | |
| 小赤沢 | ○ | ○ | ○ | ● |
| 屋敷 | ○ | ○ | ○ | ● |
| 上ノ原 | ○ | ○ | ○ | ● |

注) —：調査対象外

2.2 現地踏査（2次選定）

2.2.1 1次調査（発電箇所抽出）

机上調査で選定された10箇所のうち、「箕作」と「北野」の2箇所を除いた8箇所について、水路状況について平成24年11月24日に現地踏査を行い、ナノ発電有力地点について確認した。候補地点の位置図は図-2.2.1に示すとおりである。

代表的な水路状況は、表-2.2.1～表-2.2.4に示す上段の写真のとおりである。

2.2.2 2次調査（有望箇所諸言調査）

机上調査で選定された10箇所で、ナノ発電有望箇所について、水路諸元（水路幅・高、水深、落差）を平成25年12月1～2日にかけて実測を行い、当日での流量を算定している。

その結果は、表-2.2.1～2.2.4に示すとおりである。

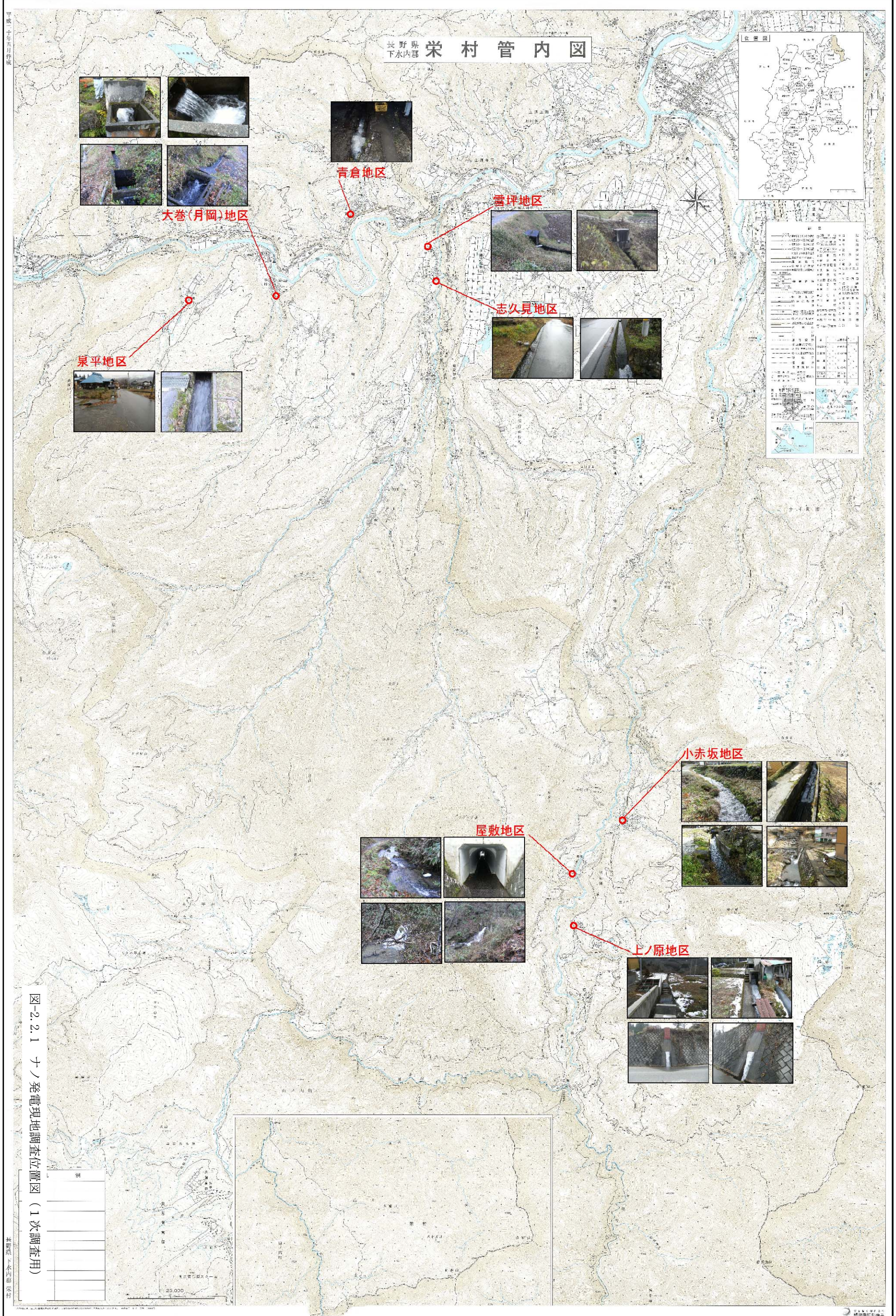









図-2.2.1 ナノ發電現地調査位置図(1次調査用)



表-2.2.1 栄村 ナノ発電候補地（1）

| 地区名 | 泉平 | 箕作 | 大巻(用水路) | 大巻(支川) |
|----------------------------|--|---|--|--|
| 通常時写真 |  | |  |  |
| 降雪時写真 |  |  |  |  |
| 水路幅 B(m) | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 4 |
| 水路高 H(m) | 0.4 | 0.4 | 0.3 | |
| 水深 h(m) | 0.13 | 0.11 | 0.18 | 0.06 |
| 落差工高 HH(m) | 0.5 | 0.5(仮値) | 0.8 | 1.3 |
| 流速 V(m/s) | 2.3 | 1.9 | 2.2 | 0.8 |
| 流量 Q(m ³ /s) | 0.18 | 0.13 | 0.20 | 0.19 |
| 推定発電量 P(KW) | 0.26 | 0.19 | 0.47 | 0.73 |
| 適用水車 | | | | |

注) 落差工で(仮値)としているのは、水路工で発電量算定のために便宜上設定したものの。

表-2.2.2 栄村 ナノ発電候補地（2）

| 地区名 | 青倉 | 雪坪 | 志久見(合流前) | 志久見(合流後) |
|----------------------------|--|---|---|--|
| 通常時写真 |  |  |  | |
| 降雪時写真 |  |  | |  |
| 水路幅 B(m) | 0.25 | 0.6 | 0.65 | 0.4 |
| 水路高 H(m) | 0.15 | 0.4 | 0.55 | 0.45 |
| 水深 h(m) | 0.1 | 0.06 | 0.05 | 0.07 |
| 落差工高 HH(m) | 1.0 | 1.3 | 0.5 | 0.5(仮値) |
| 流速 V(m/s) | 1.5 | 0.7 | 1.4 | 2.4 |
| 流量 Q(m ³ /s) | 0.04 | 0.03 | 0.05 | 0.07 |
| 推定発電量 P(KW) | 0.12 | 0.11 | 0.07 | 0.10 |
| 適用水車 | | | | |

表-2.2.3 栄村 ナノ発電候補地（3）











| 地区名 | 北野 | 小赤沢(下流端) | 小赤沢(排水路) | 屋敷 |
|----------------------------|--|---|--|--|
| 通常時 写真 |  |  |  |  |
| 降雪時 写真 |  |  |  |  |
| 水路幅 B(m) | 0.4 | 0.78 | 0.61 | 1.15 |
| 水路高 H(m) | 0.48 | 0.8 | | |
| 水深 h(m) | 0.06 | 0.05 | 0.09 | 0.025 |
| 落差工高 HH(m) | 0.5(仮値) | 0.5(仮値) | 3.0 | 2.0(下流堰堤利用すると) |
| 流速 V(m/s) | 2.2 | 1.4 | 1.2 | 2.8 |
| 流量 Q(m ³ /s) | 0.05 | 0.05 | 0.07 | 0.08 |
| 推定発電量 P(KW) | 0.07 | 0.07 | 0.62 | 0.47 |
| 適用水車 | | | | |

表-2.2.4 栄村 ナノ発電候補地（4）




| 地区名 | 上ノ原 |
|----------------------------|--|
| 通常時写真 |  |
| 降雪時写真 |  |
| 水路幅 B(m) | 0.59 |
| 水路高 H(m) | 0.57 |
| 水深 h(m) | 0.05 |
| 落差工高 HH(m) | 4.0 |
| 流速 V(m/s) | 2.1 |
| 流量 Q(m ³ /s) | 0.06 |
| 推定発電量 P(KW) | 0.71 |
| 適用水車 | |

2.2.3 3次調査（合同調査）

平成24年12月7日に、信州大学、日本フローサーブ、八千代エンジニアリングの3者で有力候補地点の合同調査を行った。各地点での所見は表-2.2.5に示すとおりである。

表-2.2.5 栄村 ナノ発電有力候補地点の合同調査所見

| 地区 | 箇所写真 | 所見 |
|--------|---|--|
| 箕作 |  | <p>▶流量はあるようにみえるが、落差工が無く、ナノ発電水車としても発電量は見込めないと考えられる。</p> <div style="text-align: right; border: 1px solid black; width: 40px; height: 40px; margin-left: auto; margin-right: 0;">×</div> |
| 大巻（月岡） |  | <p>▶大巻川の支流の二ノ入院沢は、流量、落差はあるが、ナノ発電水車設定は難しい。塵芥も多いように見受けられる。</p> <p>▶農業取水用水路は何箇所か落差工もあり有望とみられる。</p> <p>▶特に、大巻集落末端にある落差工は、工夫次第で設置可能。</p> <p>▶需要施設としては、対岸の公民館が考えられる。</p> <div style="text-align: right; border: 1px solid black; width: 40px; height: 40px; margin-left: auto; margin-right: 0;">○</div> |
| 青倉 |  | <p>▶近傍に公民館があるので、電力使用の点では効果がある。</p> <p>▶地元ヒヤリングでは、下記には水量が減るので発電は不可能と推測される。</p> <p>▶当該有望地点以外水量の多いところはなく、青倉地区での発電は難しい。</p> <div style="text-align: right; border: 1px solid black; width: 40px; height: 40px; margin-left: auto; margin-right: 0;">×</div> |








| | | | |
|----------------------|---|--|----------|
| <p>雪 坪</p> |  | <p>▶小落差はあるが流量が少ない。ナノ発電でも難しい。</p> | <p>×</p> |
| <p>志 久 見</p> |  | <p>▶流速は速いものの、やや落差が低く、水車の設置が難しい。</p> | <p>△</p> |
| <p>北 野</p> |  | <p>▶落差を有するところはあるが、流量が不安定のように見られる。 ▶道路脇であり、溢水対応のための側壁作成など工夫が必要。</p> | <p>×</p> |

2.3 調査結果の検討

現地踏査を踏まえて、有望地点の比較検討を行ったものを表-2.3.1に示す。

このなかで栄村役場に近い千曲川との合流域では大巻（月岡）地区が最も有望である。

表-2.3.1 発電箇所と比較検討表(1)

| 地区名 | 泉平 | 箕作 | 大巻(用水路) | 大巻(支川) |
|----------------------------|--|---|---|--|
| 通常時 写真 |  | |  |  |
| 降雪時 写真 |  |  |  |  |
| 水路幅 B(m) | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 4 |
| 水路高 H(m) | 0.4 | 0.4 | 0.3 | |
| 水深 h(m) | 0.13 | 0.11 | 0.18 | 0.06 |
| 落差工高 HH(m) | 0.5 | 0.5(仮値) | 0.8 | 1.3 |
| 流速 V(m/s) | 2.3 | 1.9 | 2.2 | 0.8 |
| 流量 Q(m ³ /s) | 0.18 | 0.13 | 0.20 | 0.19 |
| 推定発電量 P(KW) | 0.26 | 0.19 | 0.47 | 0.73 |
| 適用水車 | | | | |
| 合同調査での コメント | | <ul style="list-style-type: none"> ・流量はあるように見えるが、落差工が無く、ナノ発電水車としても発電量は見込めないと考えられる。 | <ul style="list-style-type: none"> ・大巻川の支流の二ノ入院沢は、流量、落差はあるが、ナノ発電水車設定は難しい。塵芥も多いように見受けられる。 ・農業取水用水路は何箇所か落差工もあり有望とみられる。 ・特に、大巻集落末端にある落差工は、工夫次第で設置可能。 ・需要施設としては、対岸の公民館が考えられる。 | |
| 評 価 | <ul style="list-style-type: none"> ・矩形水路であり、水車が付けやすい。 ・道路側溝であり、流量が増えた場合の溢水の懸念がある。 ・流速は早いので水車回転は上げられるが、落差工高は低い | <ul style="list-style-type: none"> ・矩形水路であり、水車が付けやすい。 ・農地排水路であり、流量が増えた場合の溢水の懸念がある。 ・流速は早いので水車回転は上げられるが、落差工高は低い | <ul style="list-style-type: none"> ・矩形水路であり、水車が付けやすい。 ・農地配排水路であり、流量が増えた場合の溢水の懸念がある。 ・既存枡を利用すれば、水車は付けやすい。 | <ul style="list-style-type: none"> ・大巻川の支川であり、準用河川とみられる。 ・流量と落差もあるが、自然河川でもあり、塵芥対策が重要。また、砂礫もありスクリーンなどの設置を行い、水路の限られた幅で発電することになる。 |
| | △ | △ | ◎ | △ |

注) 落差工で(仮値)としているのは、水路工で発電量算定のために便宜上設定したものの。

表-2.3.2 発電箇所と比較検討表(2)




| 地区名 | 青倉 | 雪坪 | 志久見(合流前) | 志久見(合流後) |
|----------------------------|--|--|--|--|
| 通常時写真 |  |  |  | |
| 降雪時写真 |  |  | |  |
| 水路幅 B(m) | 0.25 | 0.6 | 0.65 | 0.4 |
| 水路高 H(m) | 0.15 | 0.4 | 0.55 | 0.45 |
| 水深 h(m) | 0.1 | 0.06 | 0.05 | 0.07 |
| 落差工高 HH(m) | 1.0 | 1.3 | 0.5 | 0.5(仮値) |
| 流速 V(m/s) | 1.5 | 0.7 | 1.4 | 2.4 |
| 流量 Q(m ³ /s) | 0.04 | 0.03 | 0.05 | 0.07 |
| 推定発電量 P(KW) | 0.12 | 0.11 | 0.07 | 0.10 |
| 適用水車 | | | | |
| 合同調査でのコメント | <ul style="list-style-type: none"> ・近傍に公民館があるので、電力使用の点では効果がある。 ・地元ヒヤリングでは、下記には水量が減るので発電は不可能と推測される。 ・当該有望地点以外水量の多いところはなく、青倉地区での発電は難しい。 | <ul style="list-style-type: none"> ・小落差はあるが流量が少ない。ナノ発電でも難しい。 | <ul style="list-style-type: none"> ・流速は速いものの、やや落差が低く、水車の設置が難しい。 | |
| 評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・流量、落差もないが、地区の中心域にある上に、公民館も近接している。 ・既存落差工をうまく利用すれば、水車の設置も容易であることと、ナノ発電へのアピール度も高い | <ul style="list-style-type: none"> ・落差はあるものの、水量が少なく発電量は少ない。 ・集落とも離れており、給電での費用が高つく。 | <ul style="list-style-type: none"> ・矩形水路であり、水車が付けやすい。 ・道路排水路であり、流量が増えた場合の溢水の懸念がある。 ・流速は早いので水車回転は上げられるが、落差工高は低い。 | <ul style="list-style-type: none"> ・矩形水路であり、水車が付けやすい。 ・道路排水路であり、流量が増えた場合の溢水の懸念がある。 ・流速は早いので水車回転は上げられるが、落差工高は低い。 |
| | ○ | × | △ | △ |

表-2.3.3 発電箇所と比較検討表 (3)


| 地区名 | 北野 | 小赤沢(下流端) | 小赤沢(排水路) | 屋敷 |
|----------------------------|---|--|---|---|
| 通常時 写真 | |  |  |  |
| 降雪時 写真 |  |  | |  |
| 水路幅 B(m) | 0.4 | 0.78 | 0.61 | 1.15 |
| 水路高 H(m) | 0.48 | 0.8 | | |
| 水深 h(m) | 0.06 | 0.05 | 0.09 | 0.025 |
| 落差工高 HH(m) | 0.5(仮値) | 0.5(仮値) | 3.0 | 2.0(下流堰堤利用すると) |
| 流速 V(m/s) | 2.2 | 1.4 | 1.2 | 2.8 |
| 流量 Q(m ³ /s) | 0.05 | 0.05 | 0.07 | 0.08 |
| 推定発電量 P(KW) | 0.07 | 0.07 | 0.62 | 0.47 |
| 適用水車 | | | | |
| 合同調査でのコメント | <ul style="list-style-type: none"> ・ 落差を有するところはあるが、流量が不安定のように見られる。 ・ 道路脇であり、溢水対応のための側壁作成など工夫が必要。 | | | |
| 評 価 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 矩形水路であり、水車が付けやすい。 ・ 道路排水路であり、流量が増えた場合の溢水の懸念がある。 ・ 流速は早いので水車回転は上げられるが、落差工高は低い。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 矩形水路のところは、水車が付けやすい。 ・ 下流側は石積み水路であり、水車設置には矩形構造物などが必要である。 ・ 流速は早いので水車回転は上げられるが、落差工高は低い。 ・ 流路工の下流では自然斜面があり、落差工設けると落差は10m程度まで設定可能 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 矩形水路のところは、水車が付けやすい。 ・ 急流水路の落差を利用して、垂直水路を設置すれば、有効に落差が利用可能である。 ・ 民地横の水路であることと、河川区域を明らかにして、水車設置を考慮する必要がある。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 流速が速いが水深が小さいので、水車羽根を有効に回すことが難しい。 ・ 下流の堰堤の落差を利用することも考えられるが、アクセスが難しく、設置が難しい。 |
| | △ | ○ | ○ | △ |

表-2.3.4 発電箇所と比較検討表（4）

| | |
|----------------------------|---|
| 地区名 | 上ノ原 |
| 通常時写真 |  |
| 降雪時写真 |  |
| 水路幅 B(m) | 0.59 |
| 水路高 H(m) | 0.57 |
| 水深 h(m) | 0.05 |
| 落差工高 HH(m) | 4.0 |
| 流速 V(m/s) | 2.1 |
| 流量 Q(m ³ /s) | 0.06 |
| 推定発電量 P(KW) | 0.71 |
| 適用水車 | |
| 合同調査でのコメント | |
| 評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・矩形水路であり、水車は付けやすい。 ・落差が十分あり、位置エネルギーを利用しやすい。 ・道路に隣接しているため、水車の飛沫が道路面に飛散しない工夫が必要である。 |
| | ○ |

3. 地下熱関連調査

地下熱関連調査として、対象地域の松本盆地における地形、地質、気象、地下水・湧水の流量・水質、河川流量、地下水揚水量、水田湛水実験データ等の基礎データについて収集・整理する。

また、信州大学工学部キャンパス内講義棟に導入された地下水制御型ヒートポンプ空調システムに関連して設置された10孔の井戸を対象とし、システム実証試験に伴う地下水環境の変化を把握する目的で、現地観測データを整理する。次いで、データ整理結果を踏まえ、地下水解析に必要となる各種データを整理・統合するとともに、地下熱冷暖房システムの現地観測データ整理結果について考察する。

さらに、次年度に実施する地下水シミュレーションモデルの基本条件について整理し、次年度以降の調査計画を立案する。

なお、前述した信州大学構内における実証試験は、(独)新エネルギー・産業技術開発機構(NEDO)より、「次世代型ヒートポンプシステム研究開発『地下水制御型高効率ヒートポンプ空調システムの研究開発』」の採択を受けて、信州大学と清水建設株式会社が実施したものであり、本業務の成果の一部は、当該プロジェクトで実施された研究成果を含んでいる。

3.1 机上調査

3.1.1 地形

松本盆地は山地あるいは丘陵と、この間に南北に細長く延びる段丘面あるいは沖積面からなる(図-3.1.1参照)。段丘面は盆地内で広い平坦な地形を形成しており、形成年代の違いから「波田面」及び「森口面」に区分される。これらの段丘は、現在の各河川によって形成されたもので、その分布も河川に沿ったものが多い。各段丘面は上流から下流へと高度を下げ、沖積面下に没している。沖積面は盆地全域に広く分布している。

犀川、穂高川と高瀬川の三河川が合流する狭い地域は、北は青木湖・北アルプスの槍ヶ岳、西は安房峠から穂高岳・上高地、南は塩尻・中央アルプスに囲まれた広い地域の降水を集める特殊な地域である。さらに、この地域は地下水の流出も同様に集中するため、水量の豊富な湧泉帯(わさび田)を形成している。

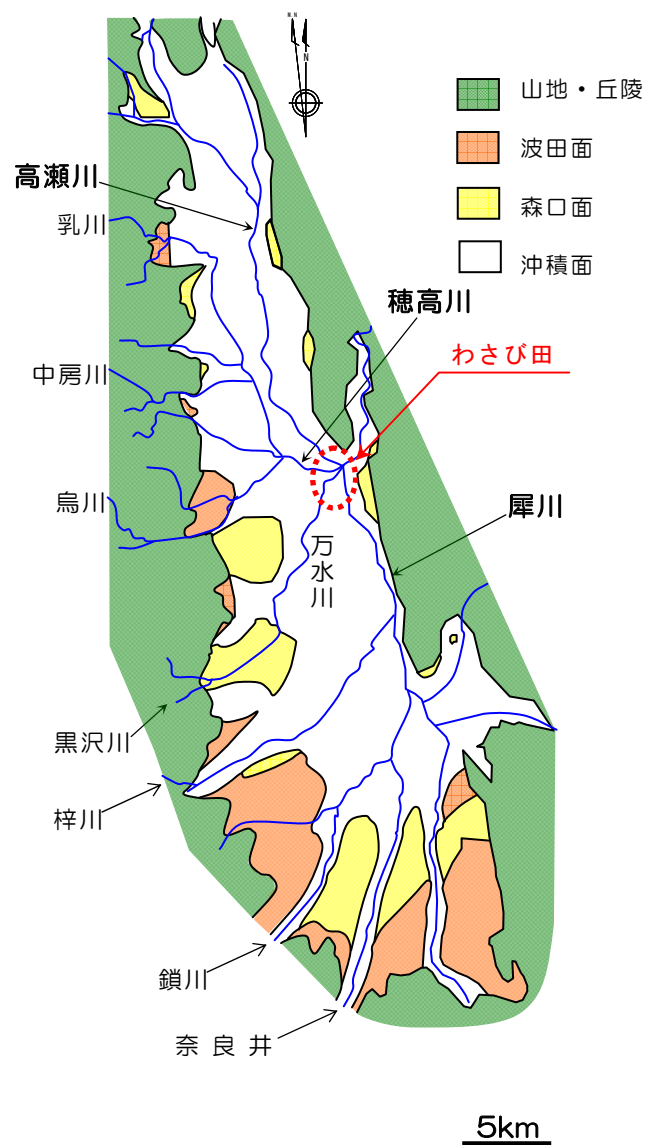


図-3.1.1 対象地の地形

3.1.2 地質

(1) 地層区分

対象地には糸魚川－静岡構造線の主断層とされる姫川断層をはじめ、南北方向の断層が分布する(図-3.1.2および図-3.1.3参照)。この姫川断層の西側には北アルプスの山々が連なり、先第三系である美濃帯と花崗岩が分布する。一方、小谷-中山断層の東側には、フォッサマグナとよばれる凹地に侵入した海を埋積した新第三紀中新世から新第三紀鮮新世の地層(複数の地層からなるため、以下では単に「中新統」と呼称する)が分布する。姫川断層と小谷-中山断層の間には新第三紀鮮新世から新第三紀鮮新世の大峰累層が分布する。

松本盆地を埋める堆積物は一般に砂礫などの粗粒相が主体をなし、その厚さは300～400mに達する。これらは、古いものから梨ノ木礫層(中期更新世初期)、片丘礫層(中期更新世中期)、赤木山礫層(中山泥炭層を含む。中期更新世後期～後期更新世初期)、波田・千石礫層(後期更新世中期)、森口礫層(後期更新世後期)、沖積層(完新世)に区分され(表-3.1.1参照)、いずれも帯水層として機能している。これらの地層は東側で松本盆地東縁断層により境される。

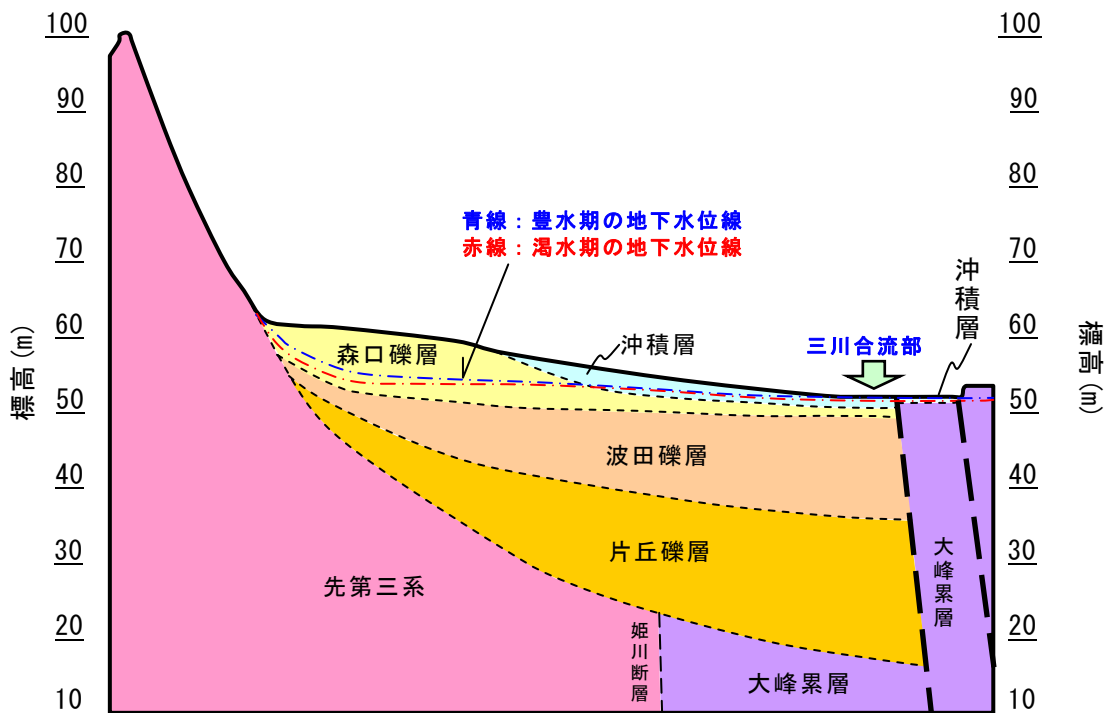
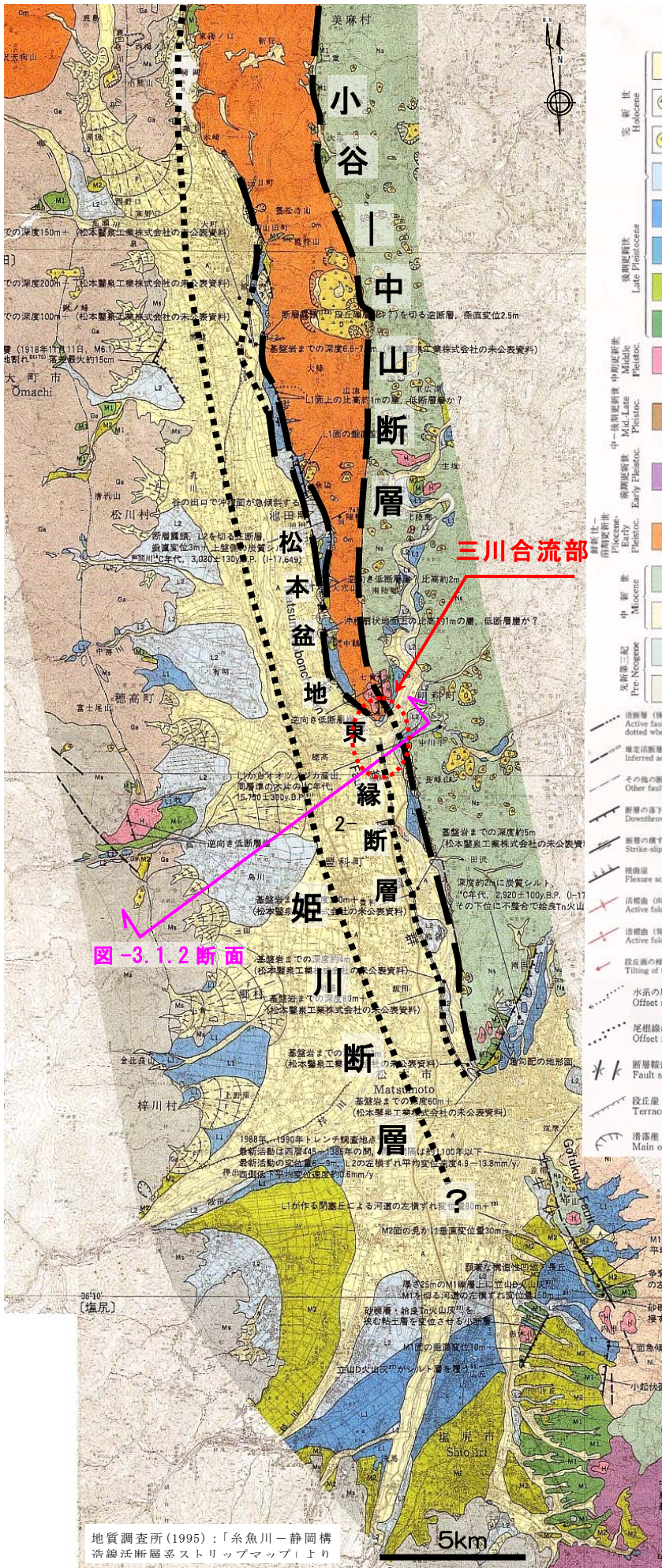


図-3.1.2 対象地の模式断面(断面位置は図-3.1.3参照)



凡例
LEGEND

| | |
|---|-------|
| 沖積層 Alluvium | 沖積面 |
| 扇状地堆積物 Alluvial fan deposits | |
| 地すべり堆積物 (中-後期更新世のものを含む) Landslide mass (including Middle to Upper Pleistocene) | |
| L2 低位段丘2堆積物 Lower terrace 2 deposits | (森口面) |
| L1 低位段丘1堆積物 Lower terrace 1 deposits | 森口面 |
| L 低位段丘堆積物 (未区分) Lower terrace deposits (Unclassified) | |
| M2 中位段丘2堆積物 Middle terrace 2 deposits | 波田面 |
| M1 中位段丘1堆積物 Middle terrace 1 deposits | |
| H 高位段丘堆積物 Higher terrace deposits | |
| 八ヶ岳火山岩類(Y), 黒富士火山岩類(Kr), 及び白馬大池火山岩類(So) Yatsugatake Volcanics(Y), Kurofujii Volcanics(Kr) and Shirouma-ike Volcanics(So) | |
| En 嵐嶺層 Ezrei Formation | |
| Om 大峰層 Omine Formation | |
| Ns 砕屑岩類 Clastic rocks | |
| Ni 貫入岩類 Intrusive rocks | |
| Ms 砕屑岩類 Clastic rocks | |
| Ga 貫入岩類 (Ga) 及び蛇紋岩類 (Sp) Intrusive rocks (Ga) and Serpentine (Sp) | |

| | |
|--|--|
| 活断層 (後期更新世以降に活動したもの)。点線は伏在部分 Active fault (active during Late Pleistocene to Holocene), dotted where concealed | |
| 推定活断層。白のみ線は伏在部分 Inferred active fault, opened where concealed | |
| その他の新層 (後期更新世以降に活動していないもの) Other faults (inactive during Late Pleistocene to Holocene) | |
| 新層の落下側 Downthrown side of fault | |
| 断層のずれセンス (左ずれ) Strike-slip sense of fault (left-lateral) | |
| 撓曲崖 Flexure scarp | |
| 活断層 (山折) Active fold (syncline active during Late Pleistocene) | |
| 活断層 (背折) Active fold (anticline active during Late Pleistocene) | |
| 段丘面の傾動 Tilting of terrace surface | 断層露頭 Fault exposure |
| 水系の屈曲 Offset stream | その他の露頭及び変動地形観察地点 Other exposures and observation point of tectonic landforms |
| 尾根線の屈曲 Offset ridge | トレンチ調査地点 Location of trench excavation survey |
| 断層鞍部 Fault saddle | 断層の走向及び傾斜 Strike and dip of fault |
| 段丘崖 (同一区分の段丘内のもの) Terrace scarp | |
| 清溝崖 Main or lateral scarp | |

図-3.1.3 対象地の地質平面

表-3.1.1 対象地の地層構成

| 地質時代 | | 地層名 | | 地形面 | 層相・岩相 | 地下水賦存状況 | |
|------|-----------|---------------|-----------|--------------------------|--------------|---------------|------|
| 第四紀 | 完新世 | 沖積層 扇状地堆積物 | | 氾濫原 新期扇状面 | 砂, 礫, 粘土 | 賦存 | |
| | | 後期 | 森口礫層 | | 森口面 | 砂, 礫, 粘土 | 賦存 |
| | 波田礫層・千石礫層 | | 波田面 | 砂, 礫, 粘土 | 賦存 | | |
| | 赤木山礫層 | | 赤木山面 | 砂, 礫, 粘土 | 賦存 | | |
| | 更新世 | 中期 | 中山泥炭層 | | — | シルト, 泥炭, 砂, 礫 | 賦存せず |
| | | | 片丘礫層・城山礫層 | | 小坂田面・城山面 | 砂, 礫, 粘土 | 賦存 |
| | | 梨ノ木礫層 | | 梨ノ木面 | 砂, 礫, 粘土(風化) | 賦存少 | |
| | | 前期 | 大峰累層 | | 上部 | 火山岩類 | 賦存少 |
| | 下部 | | | | 泥岩, 砂岩, 礫岩 | 賦存少 | |
| | 新第三紀 | 鮮新世 | 基盤岩類 | 中新統 柵層 小川層・ 青木層 | 山地 | 泥岩, 火砕岩層 | 賦存極小 |
| 中新世 | | 砂岩, 泥岩 | | | | 賦存極小 | |
| 先第三紀 | | | | 美濃帯 | | 泥岩, 砂岩, チャート | 賦存極少 |
| | | | | 花崗岩 | | 花崗岩類 | 賦存極少 |

以下、各層について整理する。

一：先第三系

① 花崗岩

姫川断層より西側に分布する。表層では盆地北部西側山地部に分布し、北アルプスを形成している。中粒の角閃石黒雲母花崗岩あるいは桃色のカリ長石を含む黒雲母花崗岩からなる。

② 美濃帯

姫川断層より西側に分布し、表層では主に盆地南部西側山地部に分布する。三畳～ジュラ紀の砂岩・泥岩・チャートの厚い地層からなり、近畿地方の丹波帯の東方延長にあたる。層序は層状の珪質泥岩を最下位とし、この上位にチャート・泥岩・砂岩の順で重なることが特徴で、この組み合わせをチャート-碎屑岩ユニットと呼ぶ。このユニットの厚さは数百～1,000mに達する。

一：新第三系中新統

小谷-中山断層の東側に分布する。下位より青木層、小川層及び柵層に区分される(表-3.1.2参照)。これらは、新第三紀中新世中期から鮮新世後期までの堆積物からなるが、本業務ではこれらを一括し、「中新統」と呼称する。礫岩・砂岩・泥岩などからなり、鮮新世の一部には火山岩類が含まれる。北東-南西を軸とする褶曲が著しく層厚は3,000mに達する。

一：大峰累層

姫川断層と小谷-中山断層の間に分布するが、大半は砂礫層に覆われている。表層では盆地東部の山地に分布している。新第三紀鮮新世から第四紀更新世前期の泥岩・砂岩・礫岩からなる下～中部層と、第四紀更新世前期の火山岩類からなる上部層に区分される。松本東縁断層により盆地側が大きく沈降しているのが特徴的である。

表-3.1.2 対象地周辺の新第三系地質層序
(植村ほか(1988), 日本の地質「中部地方I」より引)

| 地質時代 | 標準層序 区区分 | 水内地域 (矢野・村山, 1976) | 河東山地 (上田地方～松代地域) (山岸, 1964 加藤・伊藤 1986) | 内村～諏訪 地域 (歌代ほか, 1958 山岸, 1963 高木, 1986) | 内山地域 (野村・小坂, 1987) |
|------|-------------|-----------------------|--|---|--------------------------|
| 更新世 | 22 | 豊野層 | | 塩嶺累層 | |
| | 21 | 猿丸層 | | | 水落観音 層 |
| 鮮新世 | 19 | 萩久保 砂岩泥岩層 | 寄妙山 火山岩 | 赤波 沢 層 | 志賀溶結 凝灰岩層 |
| | 18 | 荒倉山火砕岩層 | 保基谷 火山岩 | | 平尾 火山岩層 |
| | 17 | 権田礫岩・高府 砂岩層 | 牧内 安山岩 | | 香坂 礫岩層 |
| 中期 | 16 | 境ノ宮 砂岩泥岩層 | | 小滝山累層 (ニツ山累層) | 香坂 層 |
| | 15 | 青木層 | 青木層 | | |
| 新中期 | 14 | 千見砂岩泥岩層 | | | |
| | 13 | 西京泥岩層 | | | |
| 前期 | 12 | 別所層 | 伊勢山層 | | 八重久保層 |
| | 11 | 内村層 | 横尾層 | 富士山層 | 駒込層 |
| 前期 | 10 | 守屋層 | 太郎山層 | 本郷層 | 内山層 |
| 前期 | 9 | | 大峯山層 | 武石層 | |

対象地に分布する地層

一：第四系（図-3.1.4参照）

① 梨ノ木礫層

梨ノ木礫層は更新世中期に始まる松本盆地形成過程初期の礫層である。主に盆地南縁の塩尻市洗馬梨ノ木、朝日村などに分布し、層厚は約30mである。礫は粒径の小さい円礫を主体とし、風化が進み「くさり礫」となっており、もろく軟らかい。また、礫層中には火山灰層が数層準に挟在している。盆地南部の地下には広く分布すると推察されるが、北部への連続性は不明である。直上を火山礫凝灰層及び火山灰層からなる梨ノ木ローム層が覆っている。

② 片丘礫層・城山礫層

片丘礫層は、松本盆地南部の盆地東縁塩尻市小坂田・片丘、松本市城山・松本カントリークラブ付近及び盆地中央部西縁の穂高町穂高カントリークラブ付近に厚く（層厚100m前後）分布する。梨ノ木礫層とは不整合の関係にある。礫は後背地の地質を強く反映し、各所で構成礫種が異なる。亜角礫で風化していないが粘土層を挟む。盆地内では150～200mの層厚を示すと推定される。なお、城山礫層は片丘礫層のうち、特に松本市城山に分布するものを指す。

③ 赤木山礫層（中山泥炭層を含む）

松本市赤木山・中山・岡田などの盆地南部東縁に分布する淘汰不良の亜角礫層で、片丘礫層とは不整合の関係にある。この下位に分布する中山泥炭層は、泥炭層を挟在するシルト層などの細粒堆積物からなる。これらの層厚は45～60mである。盆地北部への連続性は不明である。

④ 波田礫層・千石礫層

松本盆地南部で広く平坦な波田面を形成し分布する。盆地中央部では鳥川北半部、北アルプス山地縁辺部に分布する。扇状地性の淘汰の良い円礫からなる砂礫層で、基質は中粒砂を主体とする。層厚は盆地縁辺部で30～50m、盆地中心部では80～100mに達する。盆地中～北部では地表面に露出せず、森口砂礫、沖積層に覆われるが、地下では厚さをもって広く分布する。赤城山礫層とは不整合の関係にある。

⑤ 森口礫層

波田礫層を浸食した上に厚さ10～20mの層厚をもって現河川沿いに分布する。沖積層に覆われる箇所では地下で厚さをもって拡がっている。砂礫層からなり玉石を含んだり、基質がやや粘土質の部分もあり場所による層相変化がある。直上を火山灰層からなる波田ローム層最上部に覆われる。

⑥ 沖積層

盆地において、地表面での地層の分布は沖積層が最も広い。その大部分は盆地低地の氾濫原堆積物である。その基底面は他の堆積物に比べ勾配が緩く平坦である。この氾濫原堆積物は一般に薄く20～30mにすぎない。波田礫層や森口礫層に比べ一般に細粒であり、松本市街地や豊科・穂高などの低地帯では粘土・シルト等の細粒物質に富む。盆地西縁に発達する新时期扇状地堆積物は一般に薄く粗粒な礫層からなる。

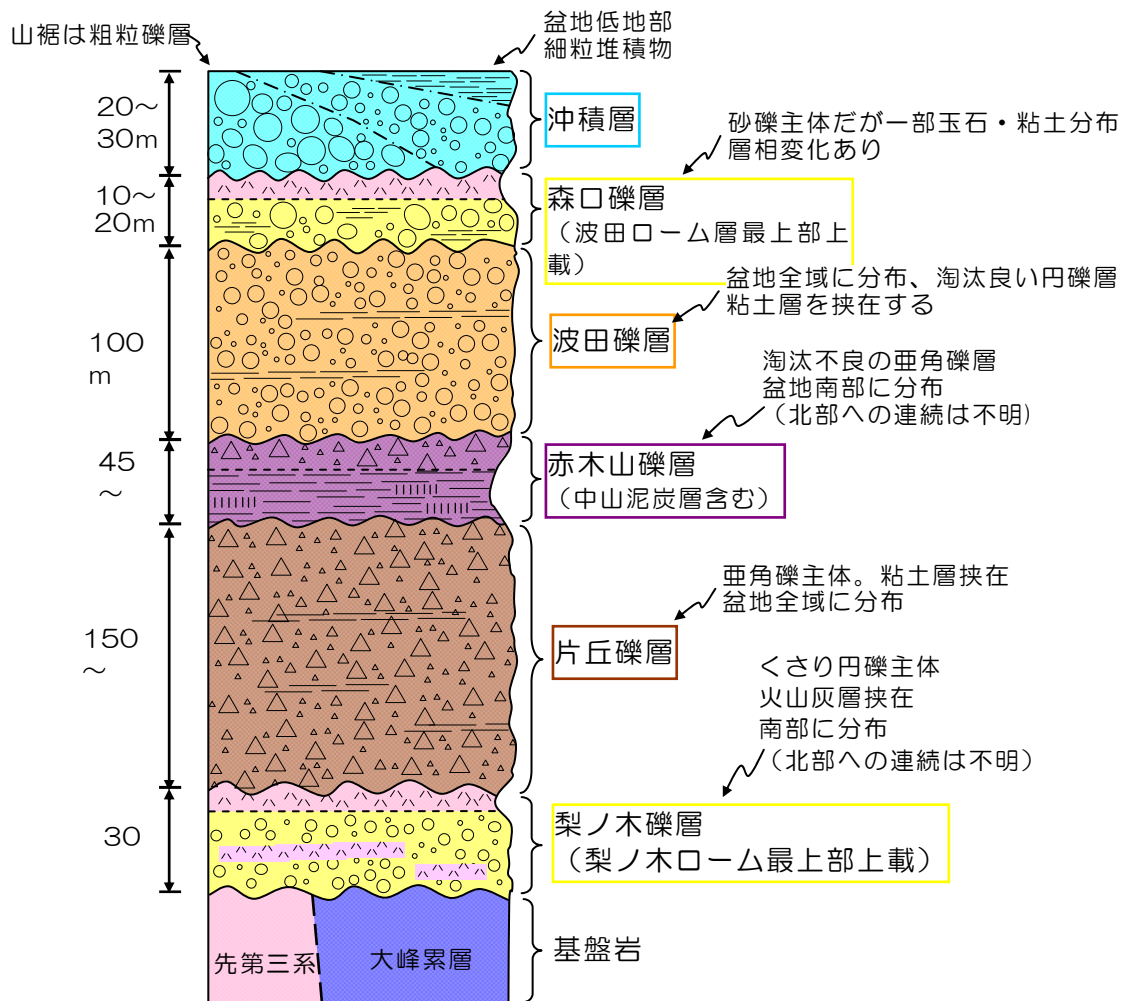


図-3.1.4 対象地周辺の地質層序模式

(2) 帯水層特性

対象地に広く分布する波田，森口礫層及び沖積層は良好な帯水層となっている。これらの礫層は粘土層などの細粒堆積物を稀に挟在するが、面的な拵りに欠けるため、全体として一連の厚い帯水層と見なせる。既存文献^{※1}によれば、礫層の透水係数を以下のように整理している(図-3.1.5参照)。

- ・ 砂礫層は形成時代及び土質等の違いから、上位から下位へ順に沖積層(I層)，森口礫層(II層)及び波田礫層(III層)に区分される。
- ・ 透水係数は下位ほど小さい傾向にありバラツキが非常に大きいものの、大まかに以下のとおりとなる。

I層(沖積層) : 10^{-1} (cm/s)オーダー～ 10^0 (cm/s)オーダー
 II層(森口礫層) : 10^{-2} (cm/s)オーダー～ 10^0 (cm/s)オーダー
 III層(波田礫層) : 10^{-3} (cm/s)オーダー～ 10^{-1} (cm/s)オーダー

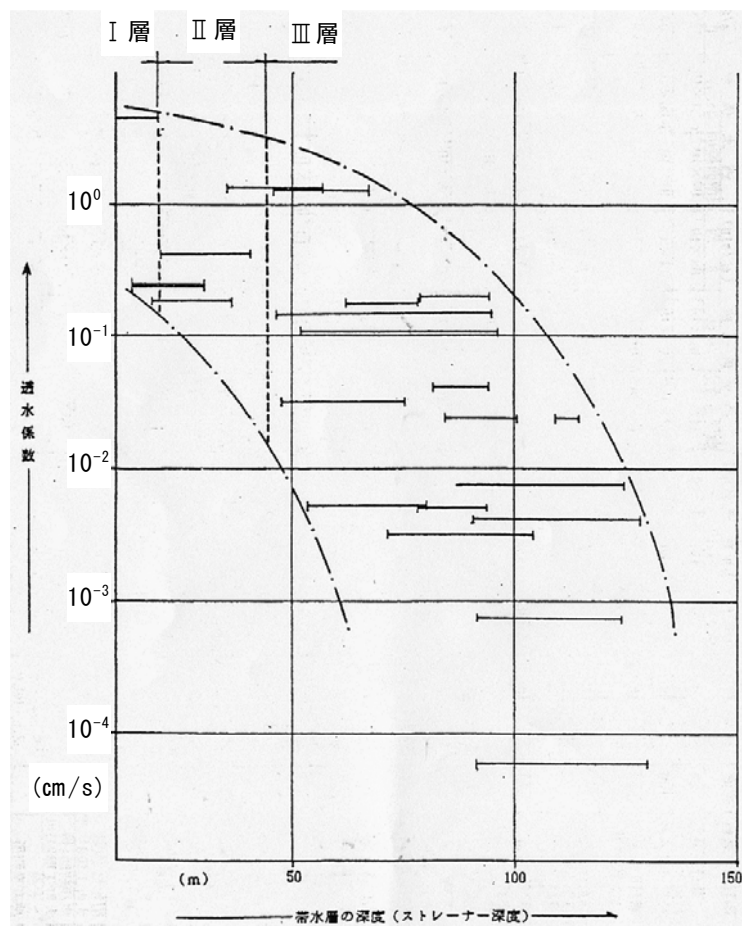


図-3.1.5 帯水層別透水係数分布

※1 農林水産省(1990), 農業用地下水調査地下水保全かん養調査松本盆地北部地区報告書

(3) 形成史

松本盆地形成過程は以下のように整理される(図-3.1.6参照)。

① 新第三紀鮮新世末期(300万年前)

盆地東縁にはフォッサマグナと呼ばれる凹地が広がっており、広大な水域となっていた。ここに大峰累層及びこれに対比される塩嶺累層^{※1}が堆積した。

② 第四紀更新世初期(200万年前)

盆地中央部を走る糸魚川-静岡構造線が大峰累層堆積盆地の西縁部として活動した。堆積盆地を埋積したのは西方山地(北アルプス)からの砂礫と盆地底から噴出した酸性火山岩類で、これらも大峰累層の一部となった。

③ 第四紀更新世前期末(70万年前)

広域隆起の時代で大峰累層の上に広大な浸食平坦面(大峰面)が形成された。この平坦面は現在の中山山地内に点在して認められる。

④ 第四紀更新世中期初(50万年前)

周辺山地の隆起運動が激しくなり、この過程で生じた南北系の断層により松本盆地の輪郭が形成され、盆地には梨ノ木礫層が堆積した。

⑤ 第四紀更新世中期末(15万年前)

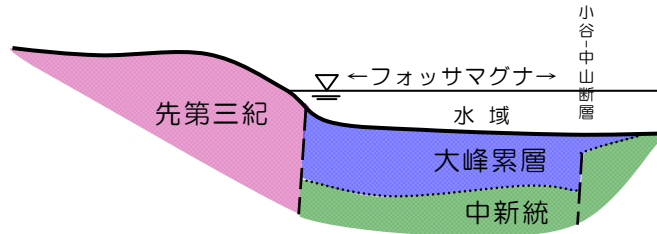
周辺山地の隆起が進行し、これに伴い片丘礫層や赤城山礫層等が堆積した。北アルプスもこの時期さらに上昇し、その東側斜面に階段状の断層崖が形成された。

⑥ 第四紀更新世後期(2~5万年前)

北アルプスの上昇と侵食は一層進行し、これに伴い盆地内には多量の砂礫が供給された。この時期に形成されたのが波田礫層や森口礫層である。これに続き、完新世(1万年前)には沖積層が堆積した。

^{※1} 松本盆地南東縁の塩尻峠～東山一帯・美ヶ原に広く厚く分布する上部先新統～下部更新統。安山岩溶岩、火山碎屑岩類からなり、大峰累層に対比される。

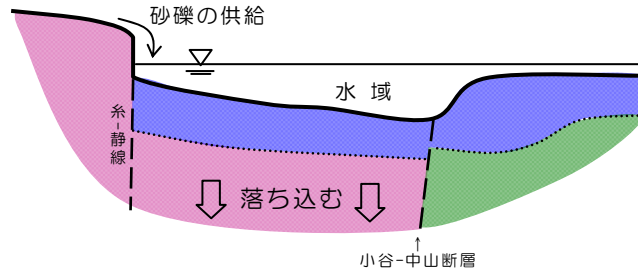
鮮新世末
(300万年前)



フォッサマグナに
拡がる水域に大峰累層
が厚く堆積



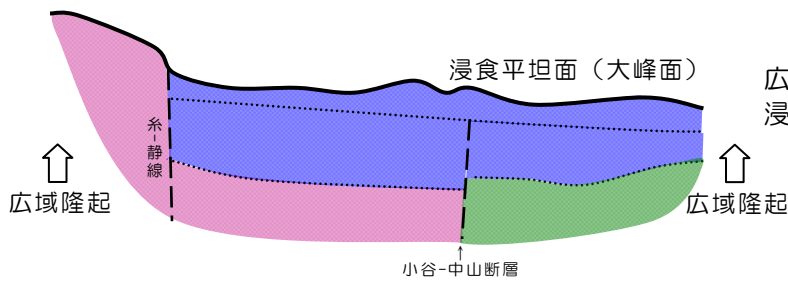
更新世前期初
(200万年前)



糸魚川-静岡構造線の
活動による堆積盆地
の形成と堆積



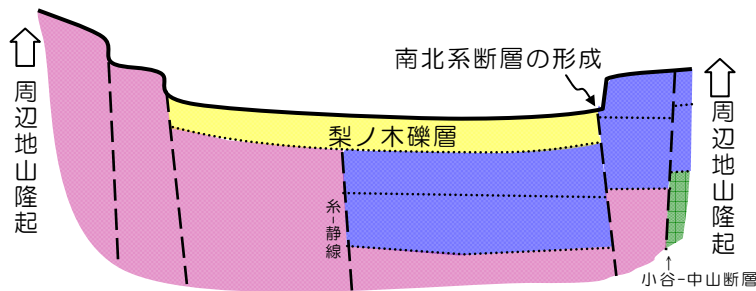
更新世前期末
(70万年前)



広域隆起による
浸食平坦面の形成



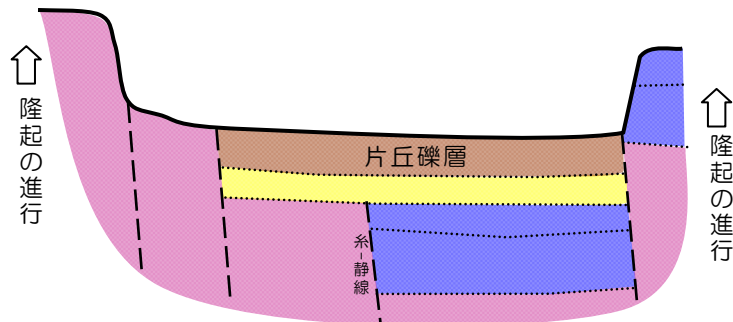
更新世中期初
(50万年前)



周辺隆起による
南北系断層及び
松本盆地の
輪郭形成と
梨ノ木礫層の堆積



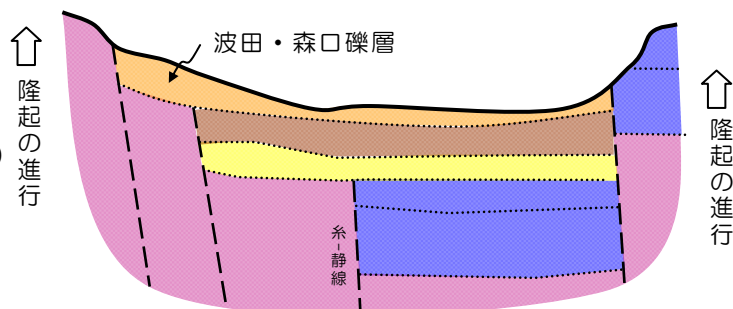
更新世中期末
(15万年前)



周辺隆起の
進行に伴う
片丘礫層の堆積



更新世・後期
(2~5万年前)



周辺隆起の
進行に伴う
波田・森口礫層
の堆積

図-3.1.6 松本盆地形成史

3.1.3 気象

松本盆地周辺の気象観測体制を図-3.1.7に示す。観測データが年間を通して入手可能なのは、気象庁によるアメダス9箇所と国土交通省による4箇所である(表-3.1.3参照)。気象庁では降水量のほか、気温等も観測されているが、国土交通省では降水量のみである。

表-3.1.3 松本盆地周辺の気象観測箇所諸元一覧

| 記号 | 観測機関 | 観測点名 | 所在地 | | | | 観測開始 | ※1 データ整備 (公開)状況 | 収集項目 | |
|----|-------|------|---------------------|------------|-------------|---------------|------|-----------------------|------|-----|
| | | | 住所 | 北緯(度) | 東経(度) | 標高 (EL. m) | | | 気温 | 降水量 |
| ● | 気象庁 | 松本 | 松本市沢村 | 36.2450000 | 137.9700000 | 610 | M30 | ○ | ○ | ○ |
| | | 大町 | 大町市大町 | 36.5233333 | 137.8333333 | 784 | S51 | ○ | ○ | ○ |
| | | 穂高 | 安曇野市穂高 | 36.3400000 | 137.8816667 | 540 | S51 | ○ | ○ | ○ |
| | | 奈川 | 松本市奈川 | 36.0883333 | 137.6833333 | 1,068 | S53 | ○ | ○ | ○ |
| | | 木曾平沢 | 塩尻市大字木曾平沢 | 35.9833333 | 137.8350000 | 900 | S51 | ○ | ○ | ○ |
| | | 燕岳 | 安曇野市穂高有明字中房国有林 | 36.3883333 | 137.7383333 | 1,840 | S51 | △ | | |
| | | 上高地 | 松本市安曇上高地国有林 | 36.2466667 | 137.6333333 | 1,510 | S51 | ○~△ | | ○ |
| | | 高ボッチ | 岡谷市横川 | 36.1500000 | 138.0450000 | 1,670 | S51 | △ | | |
| | | 松本今井 | 松本市大字空港東 | 36.1666667 | 137.9216667 | 658 | H15 | ○ | ○ | ○ |
| ■ | 国土交通省 | 大町ダム | 大町市大字平なろを大くぼ2112-71 | 36.5163889 | 137.7822222 | 927 | - | △ | | |
| | | 信濃坂 | 安曇野市中房7568 | 36.3744444 | 137.7972222 | 840 | S29 | △ | | |
| | | 堀金 | 安曇野市鳥川32-44 | 36.3125000 | 137.8436111 | 670 | S49 | △ | | |
| | | 東朝日 | 東筑摩郡朝日村大字古見1513-1 | 36.1269444 | 137.8677778 | 820 | S57 | △ | | |
| | | | | | | | | | | |

※1 ○：年間を通した連続データが取得できる △：季節によって欠測がある ×：短期間のデータしか公開されていない

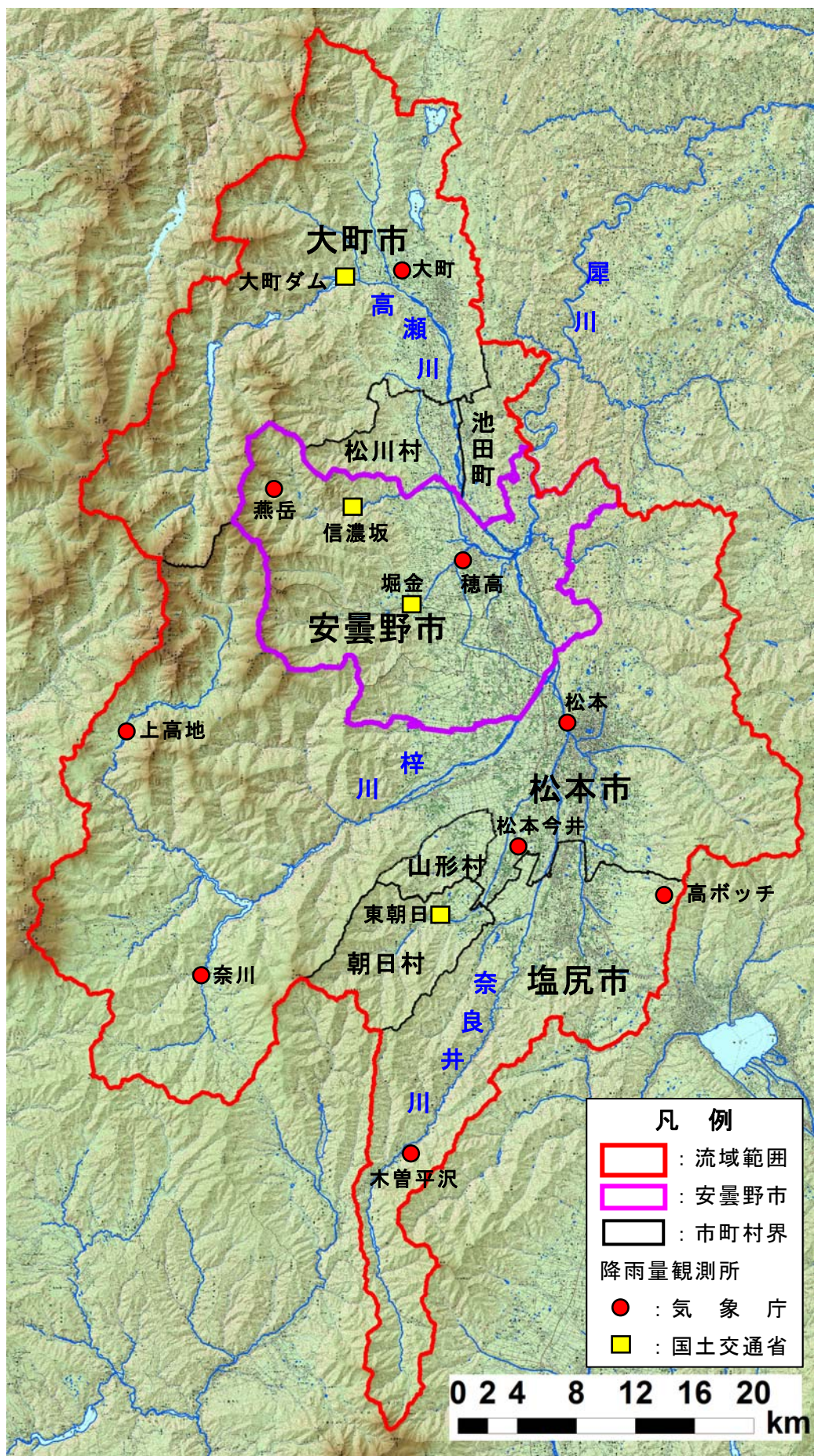


図-3.1.7 松本盆地周辺の気象観測体制 (Esri社GISデータを引用)

(1) 経年変化

気象庁のデータを対象に経年変化を把握した。結果を以下に整理する。なお、整理対象期間は昭和61年から平成22年の25年間とした。

1) 気温

気温の経年的な変化を図-3.1.8に示す。松本(標高610m)と穂高(標高540m)で11~12℃、奈川(標高1,068m)で13~14℃と標高が低いほど気温は高い。経年的にはいずれも上昇傾向を示す。

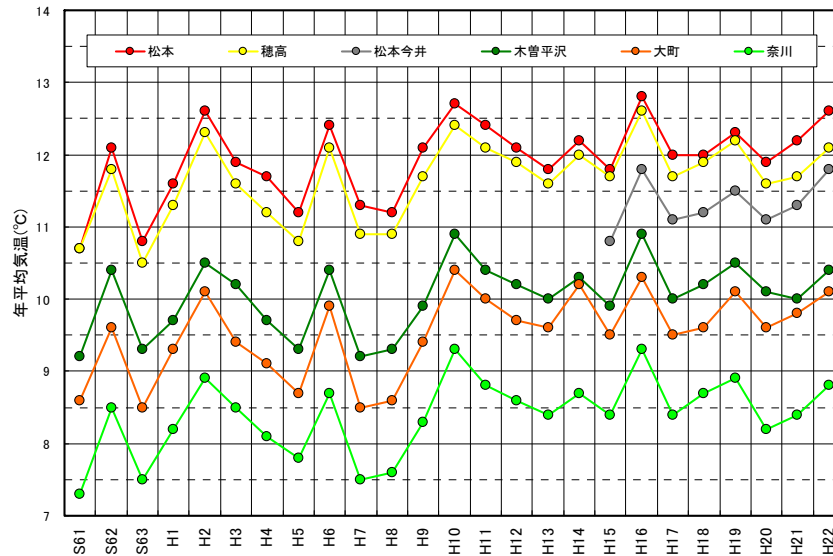


図-3.1.8 年平均気温の経年変化(気象庁データを引用)

2) 降水量

降水量の経年的な変化を図-3.1.9に示す。山地に位置する上高地で2,700mm/年程度と最も多い。少ないのは、松本、穂高および松本今井等の盆地平坦面に位置する観測点で、1,100mm/年程度を示す。経年的には、ほぼ横ばいで推移している。

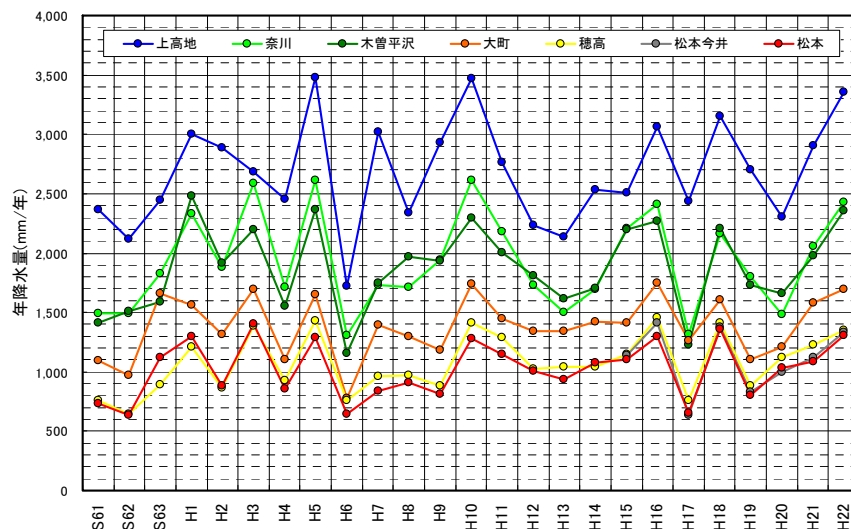


図-3.1.9 年降水量の経年変化(気象庁データを引用)

(2) 月変化

1) 気温

気温の月毎の変化を図-3.1.10に示す。8月が最も高く1月に最も低くなる。1月はいずれの地点も氷点下に達する。

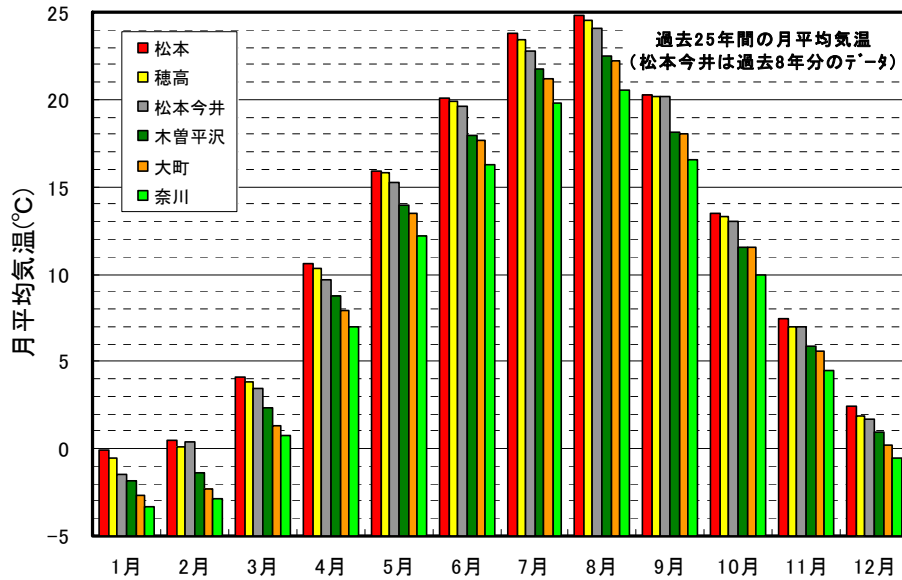


図-3.1.10 月毎の平均気温分布 [過去25年間(S61~H22)の気象庁データを引用]

2) 降水量

降水量の月毎の変化を図-3.1.11に示す。7月にピークが見られ、12月から2月に降水量が少ない。上高地の降水量は他と比べ多い。山地部は盆地平坦面(松本、穂高等が位置する平坦面)に比べ、降水量が多い(図-3.1.12参照)。

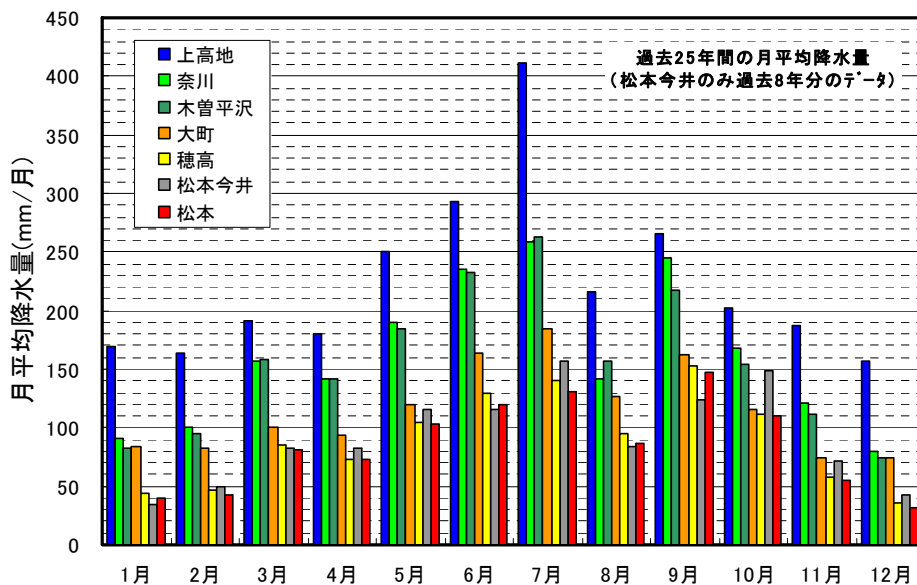


図-3.1.11 月降水量分布 [過去25年間(S61~H22)のデータを引用]

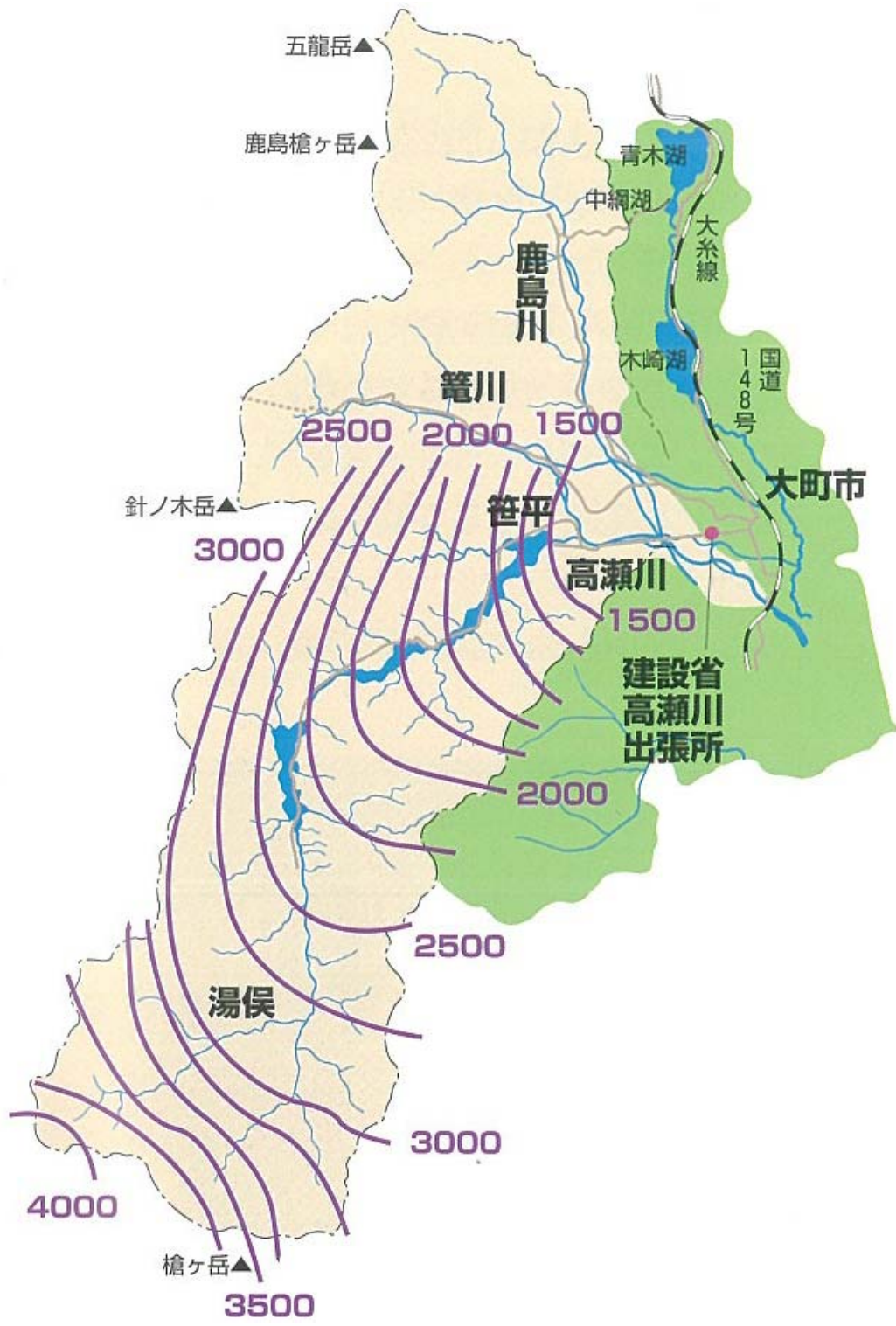


図-3.1.12 長野県高瀬川流域における山地部の年間降水量分布
 (高瀬川砂防半世紀を超えて、北陸地整松本砂防工事事務所を引用・加筆)

(3) 標高と降水量の関係

標高と降水量の関係を図-3.1.13に示す。標高と降水量には正の相関が見られ、標高が高いほど降水量が多い。また、盆地平坦面に位置する観測点に比べ、山地に位置する観測点（上高地、奈川）で降水量が多いのが特徴である。

松本盆地では、標高が高いほど降水量が多く、本地域における水収支（山地や盆地平坦面への降水による地下水涵養→その流動過程での水利用→三川合流部からの域外流出）に対して、インプットデータとしての降水量を検討する上で考慮すべき点である。

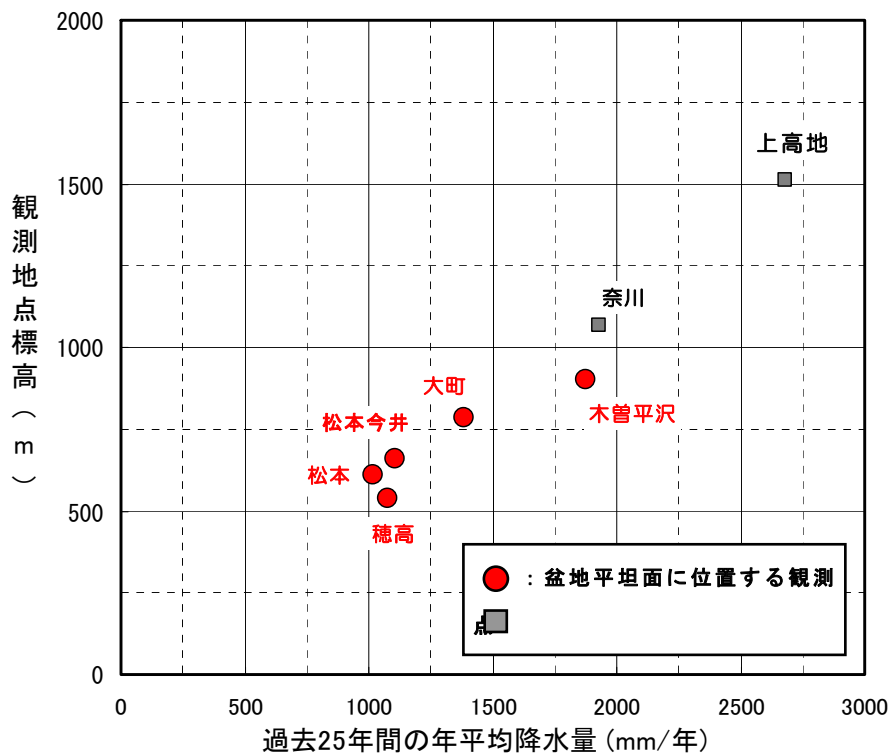


図-3.1.13 標高と降水量の関係 [過去25年間 (S61~H22) のデータを引用]

3.1.4 地下水位

(1) 広域地下水位の経年変化

松本盆地では、昭和46年に経済産業省（当時の通商産業省）の直轄事業として設置された松本市および塩尻市の3ヶ所の井戸をはじめとして、公共機関や民間企業により多くの地点で経年的に地下水位が観測されている。以下に地下水位の観測状況と経年変化を整理した。

1) 観測状況

長期的な地下水位の観測状況を表-3.1.4に、観測地点位置図を図-3.1.14に示す。近年、観測が終了し、観測地点数が減る傾向にあるが、計25地点で地下水位の長期的な観測が行われている。

2) 経年変化の実態

地下水位の観測結果を地域別に整理して図-3.1.15に示した。ほとんどの地点において長期的に見た地下水位の経年変化は横ばい状態である。ただし、広域地下水流動の上流に位置する大町地域、松本南部地域の一部で概ね平成10年以降、僅かに低下傾向が見られる。

表-3.1.4 松本盆地の長期的な地下水位観測状況

| 市町村 区分 | 地点名 | 基準点標高 (EL.m) ^{注1)} | 地下水位深度 (m) | 観測期間 (データ収集期間) | 観測頻度 | 備考 |
|-----------|-----------------------|--------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------|------|
| 大町市 | 0318 | 714.00 ^{※1} | 8.81 ~ 41.300 | S58.1.~H7.3 | 月1回 | 観測終了 |
| | 0316 | 714.00 ^{※1} | 10.08 ~ 43.85 | S58.1.~H7.3 | 月1回 | 観測終了 |
| | 0335 | 714.00 ^{※1} | 11.72 ~ 46.56 | S58.1.~H7.3 | 月1回 | 観測終了 |
| | 03103 | 702.50 ^{※1} | 38.50 ~ 60.76 | H1.8~H6.9 | 月1回 | 観測終了 |
| | 0380 | 684.45 | 14.60 ~ 48.70 | S58.7~H22.2 | 月1回 | |
| | 0379 | 684.40 | 17.95 ~ 50.60 | S58.7~H22.2 | 月1回 | |
| | 0386 | 682.20 | 19.00 ~ 51.20 | S58.7~H22.2 | 月1回 | |
| | 0605 | 803.71 | 18.87 ~ 26.29 | H9.2~H21.1 | 日1回 | |
| | 0606 | 728.61 | 73.21 ~ 91.67 | H9.2~H21.1 | 日1回 | |
| | 0348 | 650.09 ^{※2} | 11.30 ~ 31.90 | S62.3~H7.2 | 不定期 | 観測終了 |
| 0902 | 641.82 | 4.15 ~ 11.69 | H13.11~H18.11 | 日1回 | 観測不能 | |
| 池田町 | 0901 | 607.73 | 1.60 ~ 9.82 | H13.11~H22.2 | 日1回 | |
| 松川村 | 0903 | 584.27 | 2.02 ~ 5.47 | H13.11~H22.2 | 日1回 | |
| 安曇野市 | 0401 | 552.00 ^{※1} | 5.32 ~ 8.01 | S60.3~H22.2 | 日1回 | |
| | 0502 | 541.40 ^{※1} | 5.74 ~ 11.58 | S60.4~H22.2 | 日1回 | |
| | 0402 | 560.00 ^{※1} | 23.08 ~ 28.43 | S60.3~H22.2 | 日1回 | |
| | 0503 | 525.50 ^{※1} | 0.60 ~ 1.62 | S60.4~H22.2 | 日1回 | |
| | 0403 | 530.00 ^{※1} | 0.32 ~ 3.27 | S60.3~H22.2 | 日1回 | |
| | 0602 | 657.18 | 114.09 ~ 120.94 | H4.12~H20.1 | 日1回 | 観測終了 |
| | 0601 | 667.22 | 115.52 ~ 121.26 | H4.11~H19.10 | 日1回 | 観測終了 |
| | 0603 | 619.00 | 33.62 ~ 47.03 | H4.11~H20.1 | 日1回 | 観測終了 |
| | 0604 | 608.00 | 52.92 ~ 77.03 | H4.11~H20.1 | 日1回 | 観測終了 |
| | 0405 | 604.00 ^{※1} | 43.55 ~ 67.44 | H3.3~H22.2 | 日1回 | |
| | 0504 | 561.00 ^{※1} | 17.09 ~ 28.27 | H7.10~H22.2 | ~H18.3 : 月2、3回 H18.4~ : 日1回 | |
| | 0501 | 561.10 ^{※1} | 6.53 ~ 16.41 | S60.5~H22.2 | 日1回 | |
| 0404 | 563.00 ^{※1} | 7.81 ~ 17.18 | S60.3~H22.2 | 日1回 | | |
| 松本市 | 0203 | 599.50 | 2.30 ~ 9.04 | S47.2~H21.3 | ~S60.3 : 月3回 S60.4~ : 日1回 | |
| | 0201 | 586.44 | 3.20 ~ 10.56 | S47.2~H21.3 | ~S60.3 : 月3回 S60.4~ : 日1回 | |
| | 1319 | 615.748 ^{※2} | 11.14 ~ 21.45 | S54.4~H22.1 | 月1回 | |
| | 1304 | 593.575 ^{※2} | 0.30 ~ 11.14 | H10.5~H22.1 | 月1回 | |
| | 1305 | 595.00 ^{※1} | 0.87 ~ 11.57 | H10.5~H22.1 | 月1回 | |
| | 1302 | 609.40 | 9.55 ~ 24.40 | H10.5~H22.1 | 月1回 | |
| | 1307 | 637.579 ^{※2} | 29.08 ~ 50.71 | H10.5~H22.1 | 月1回 | |
| | 0202 | 647.00 ^{※1} | 11.30 ~ 39.40 | S47.2~H21.3 | ~S60.3 : 月3回 S60.4~ : 日1回 | |
| 1315 | 661.475 ^{※2} | 5.43 ~ 10.35 | H10.5~H22.1 | 月1回 | | |

注1) 基準点標高は、H19年度国土交通省業務(「犀川上流域水利用状況検討業務」)のボーリング柱状図資料等に記載された地盤高さとした。ただし、※1、※2の地点については、以下のとおりとした。

※1 : 1/2500地形図からの読み取り値。

※2 : 井戸枠を基準とした標高を基に、H19年度国土交通省業務の地下水一斉観測時の現地測量により、井戸管頭の高さ(孔口標高)を求めた値。井戸枠の標高は、H18年度国土交通省業務(「平成18年度犀川上流域水利用計画調査業務」)報告書の巻末資料に示してあり、各市町村発行の1/2500地形図上の標高点を基準にH18年度既往業務の現地測量にて求めた値で±0.6~0.7mの精度を持つ。

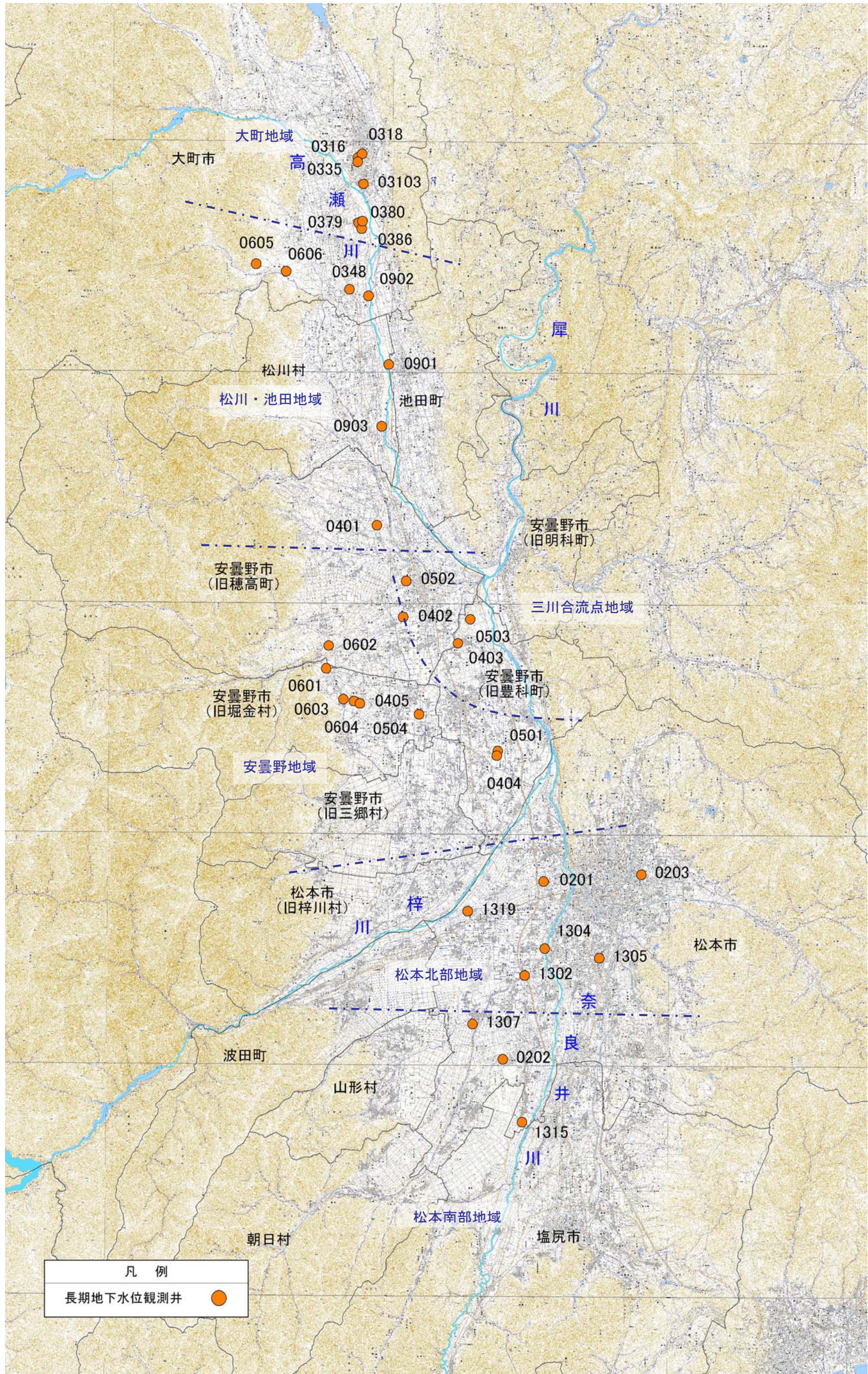


図-3.1.14 長期的な地下水位観測地点位置図

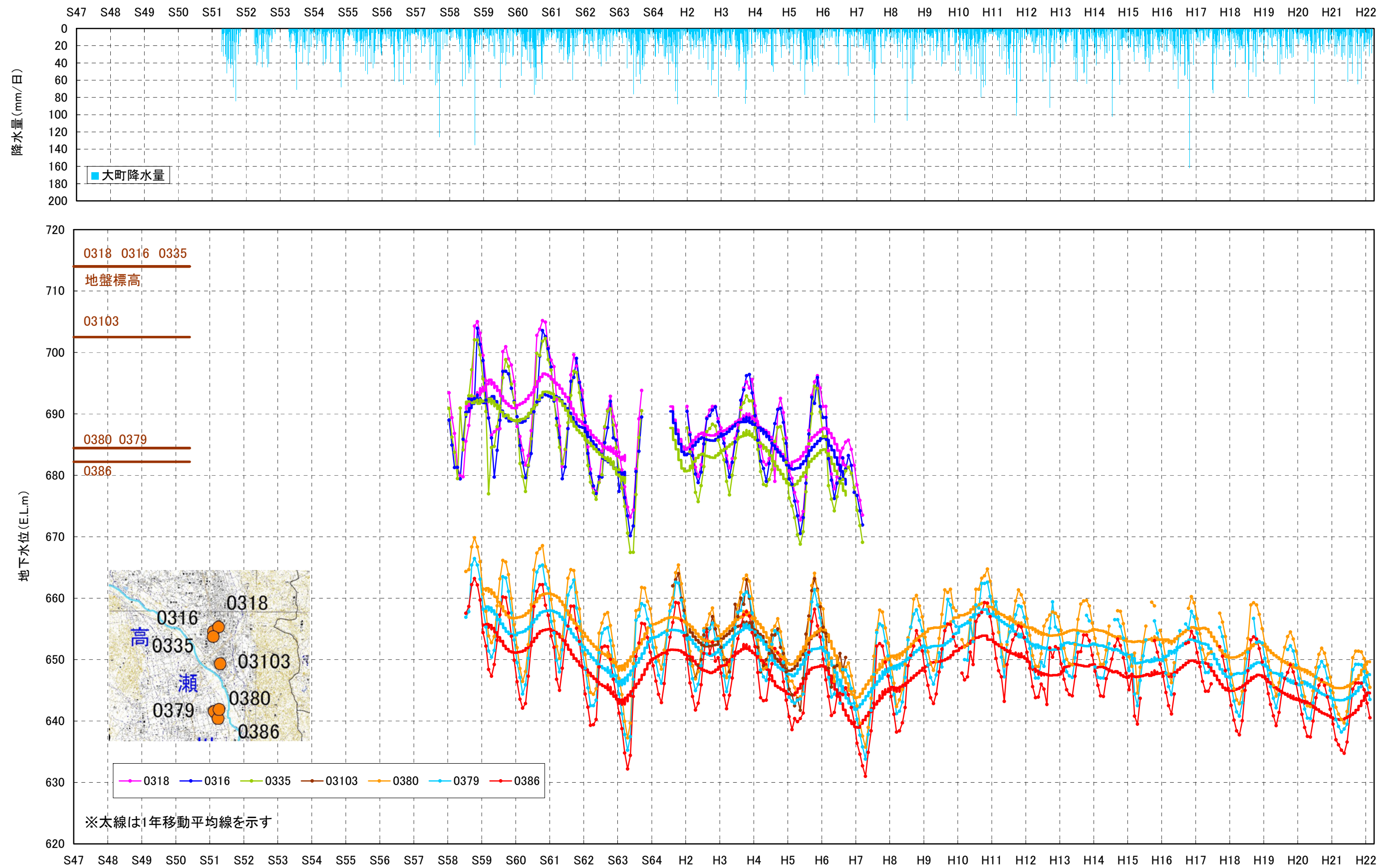


図-3.1.15(1) 松本盆地の地下水位の経年変化（大町地域）

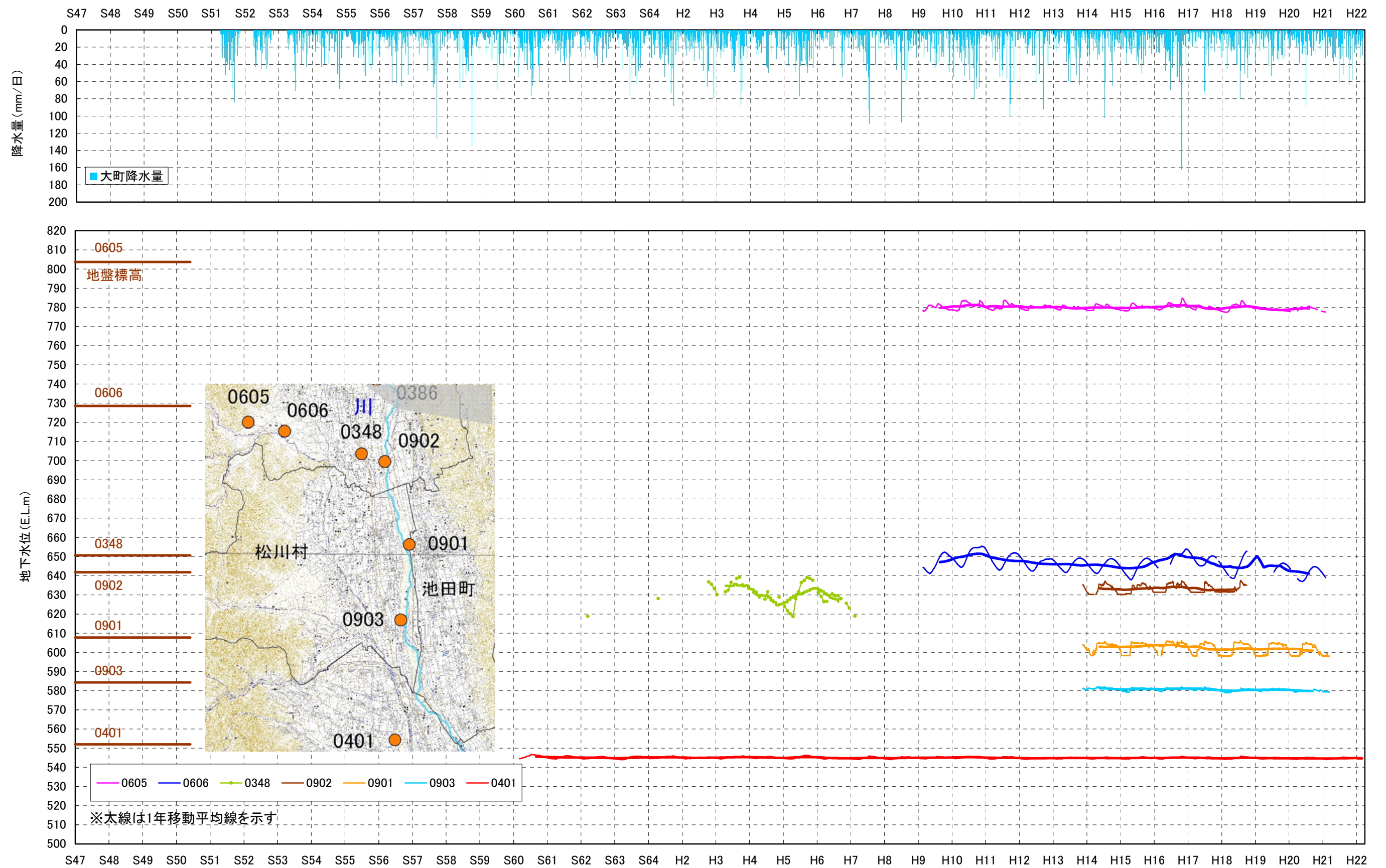


図-3.1.15(2) 松本盆地の地下水位の経年変化 (松川・池田地域)

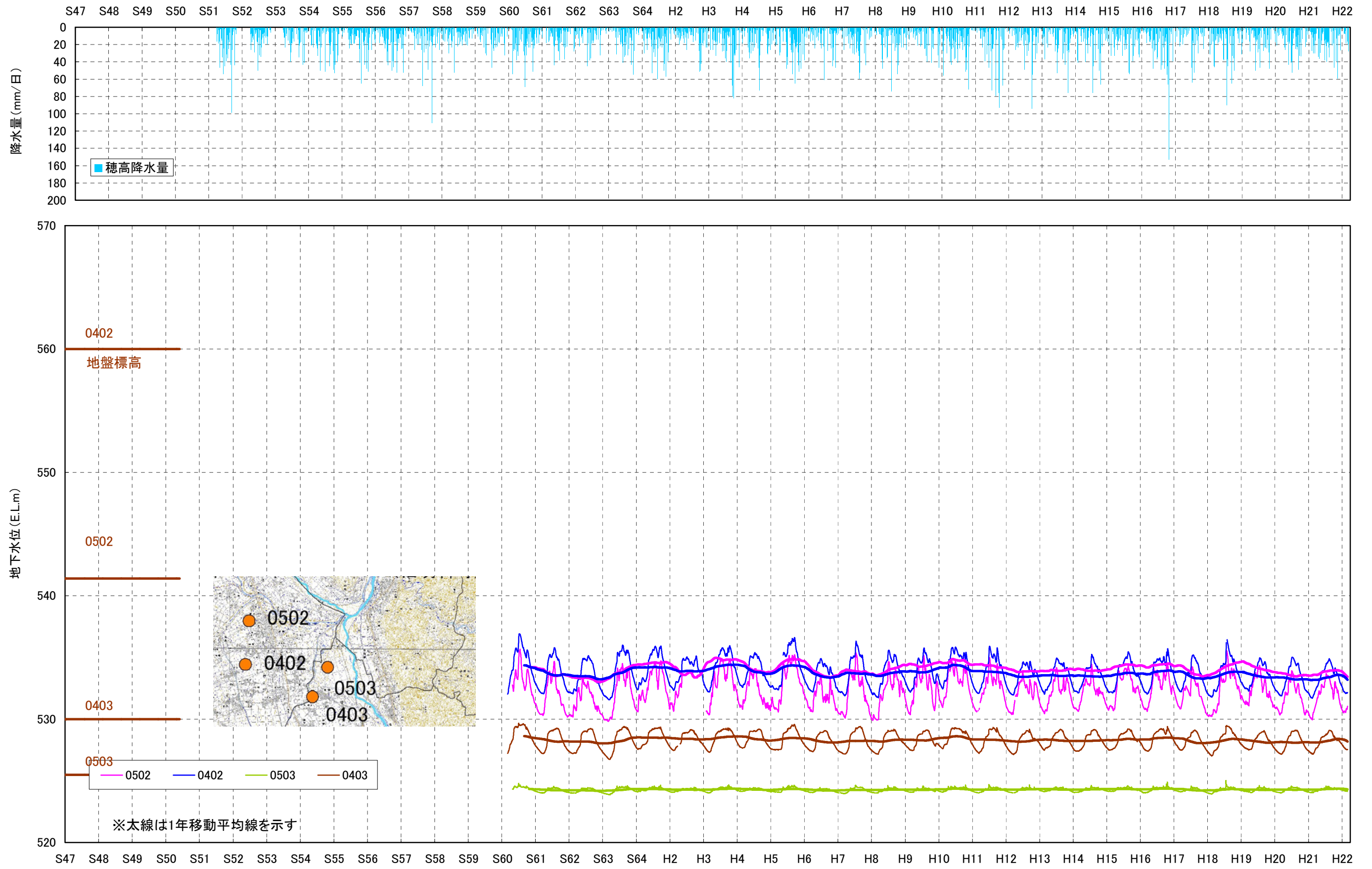


図-3.1.15(3) 松本盆地の地下水位の経年変化（三川合流点地域）

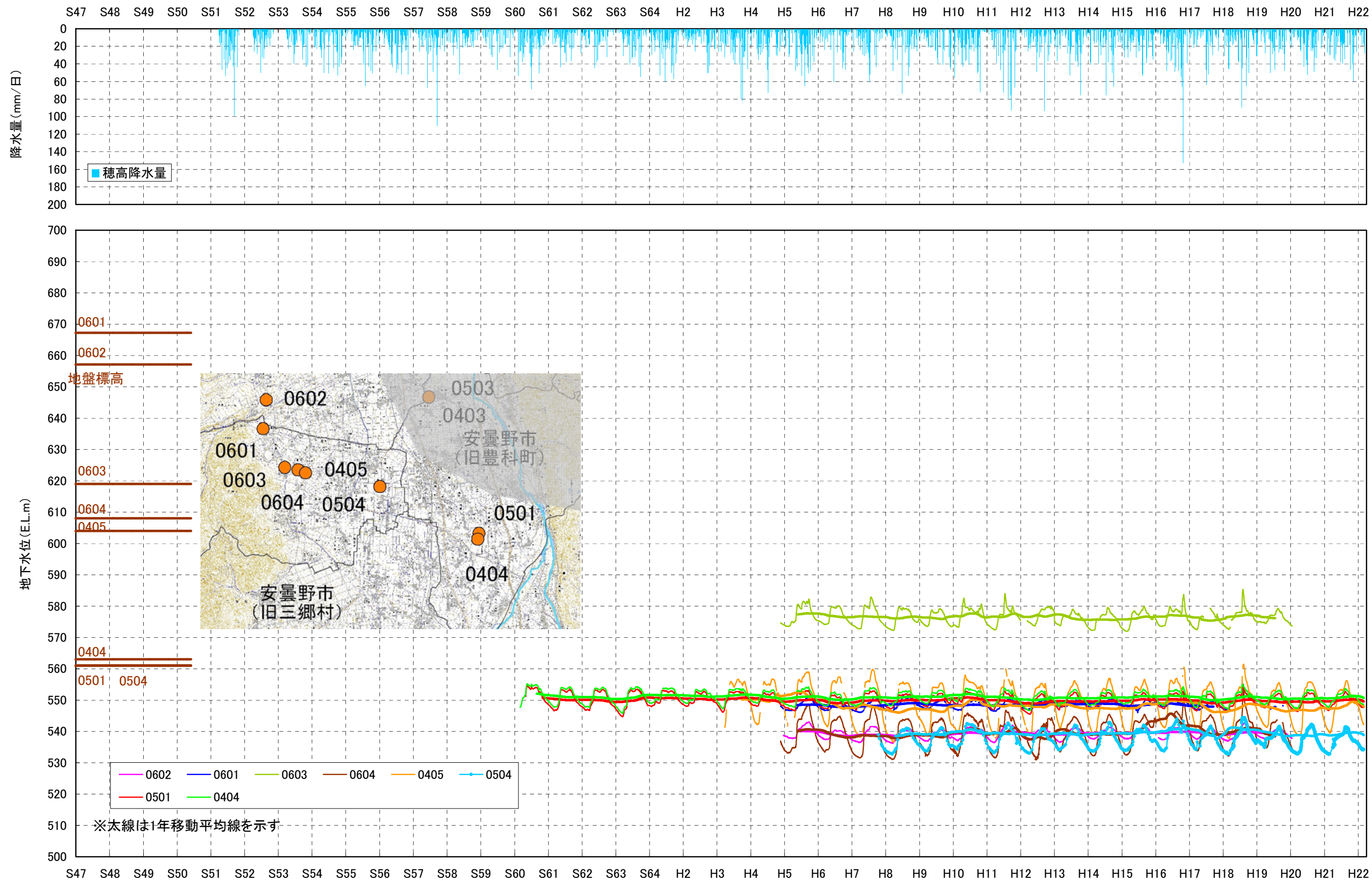


図-3.1.15(4) 松本盆地の地下水位の経年変化（安曇野地域）

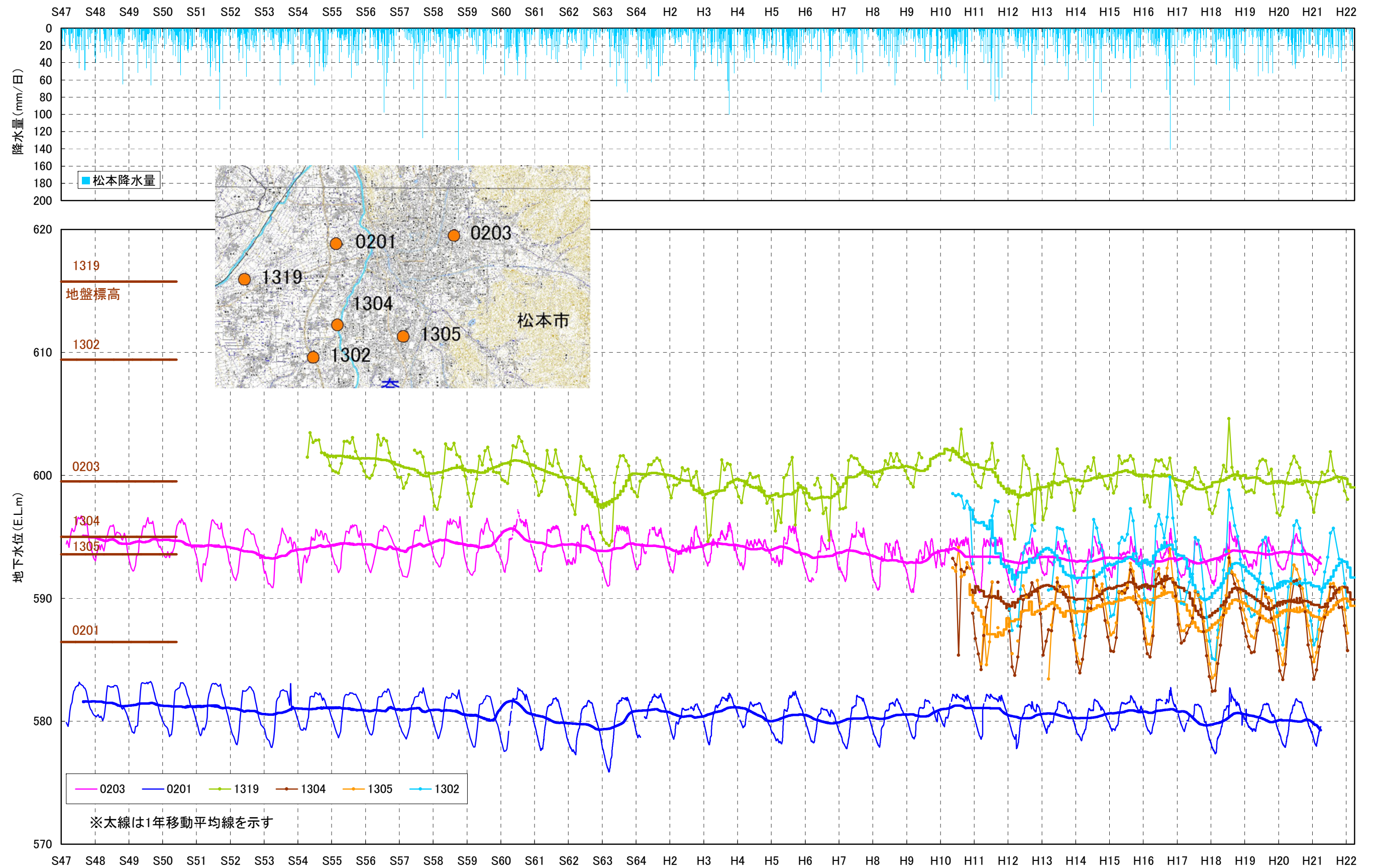


図-3.1.15(5) 松本盆地の地下水位の経年変化（松本地域）

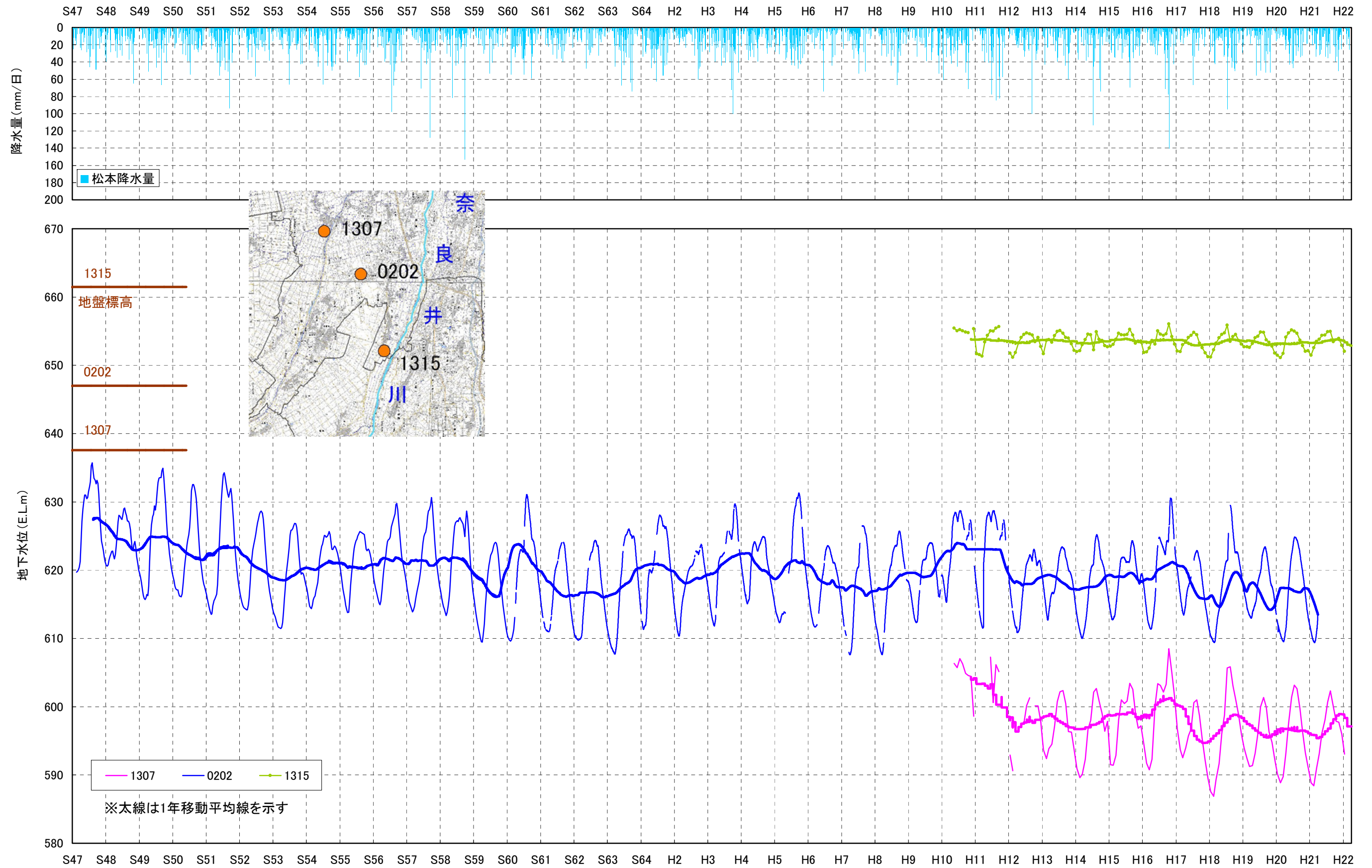


図-3.1.15(6) 松本盆地の地下水位の経年変化 (松本南部地域)

(2) 三川合流点周辺の地下水位の経年変化

犀川、高瀬川、穂高川の三川合流点周辺は、広大な複合扇状地の扇端にあたり、清冽で豊富な湧水が湧き出している。この湧水群は、「安曇野わさび田湧水群」として環境省選定の「名水百選」にも選ばれ、わさび栽培やニジマスの養殖などの地場産業を支える源泉となっている。以下に三川合流点周辺の地下水位の観測状況と経年変化を整理した。

1) 観測状況

三川合流点周辺の地下水位および河川水位等の観測状況、観測地点位置図を表-3.1.5および図-3.1.16に示した。

右岸側では、明科地区のわさび田を中心に国土交通省千曲川河川事務所による地下水位、河川水位の観測が行われている。

左岸側では、大王わさび田周辺で長野県による万水川の河川改修事業に伴う大王わさび田への影響および下水道敷設に伴う周辺地下水への影響把握を目的とした地下水位、河川水位の観測が行われているのに加え、安曇野市による地下水位、湧水量等の観測が行われている。

表-3.1.5 三川合流点周辺の地下水位等観測状況

| 管轄 | 地点名 | 観測項目 | 基準点標高 | 孔長 | 観測期間 (データ収集期間) | 観測頻度 | 観測状況 | 備考 | |
|-------------------------|---------------------------|--------|-------------|--------------|-----------------------------|-------|------|---------------------------|--|
| | | | (m) | (m) | | | | | |
| 国土交通省 (千曲川 河川事務所) | R-61.25 (犀川) | 河川水位 | - | - | H12.4~H18.6 | 1時間1回 | 観測終了 | H18.7の出水により欠損 | |
| | R-61.99 (犀川) | 河川水位 | - | - | H18.12~H22.3 | | 観測中 | 欠損したR-61.25の 代替点 | |
| | L-61.38 (犀川) | 河川水位 | - | - | H18.12~H19.7 H20.2~H22.3 | | 観測中 | H19.7欠損 H20.2再設置 | |
| | Q-1 (明科わさび田) | 水路水位 | 519.4 | 1.8 | H14.9~H22.3 | | 観測中 | | |
| | Q-2(万水川) | 河川水位 | 518.5 | - | S52.1~H17.12 | | 観測終了 | | |
| | Q-3 (大玉わさび田) | | 518.5 | - | S57.1~H17.12 | | 観測終了 | | |
| | H10-1 | 地下水位 | 522.53 | 10 | H10.12~H22.3 | 1時間1回 | 観測中 | H18.7部分欠損 | |
| | H10-2 | | 523.26 | 10 | H10.12~H22.3 | | 観測中 | | |
| | H10-3 | | 524.82 | 10 | H10.12~H22.3 | | 観測中 | | |
| | H10-4 | | 520.69 | 9 | H10.12~H22.3 | | 観測中 | | |
| | SK-1 | | 520.23 | 1.5 | H11.12~H22.3 | | 観測中 | | |
| | SK-2 | | 520.73 | 1.3 | H11.12~H22.3 | | 観測中 | | |
| | SK-3 | | 520.83 | 1.5 | H11.12~H22.3 | 観測中 | | | |
| | H14-1 | | 528.41 | 5 | H14.8~H22.3 | 観測中 | | | |
| | H21R6-10 (H14-2) | | 531.95 | 10 | H14.8~H22.3 | 観測中 | | | |
| | H14-4 | | 526.71 | 10 | H14.8~H22.3 | 観測中 | | | |
| | H14-5 | | 520.73 | 31 | H14.8~H22.3 | 観測中 | | | |
| | H21R1-50 (H20-2) | | 520.37 | 50 | H21.4~H22.3 | 10分1回 | 観測中 | | |
| | H21R2-10 | | 519.97 | 10 | H22.2~H22.3 | | 観測中 | | |
| | H21R3-50 (H20-1) | | 528.74 | 50 | H21.4~H22.3 | | 観測中 | | |
| | H21R4-10 (62.5k (旧井戸)) | | 528.22 | 10 | H21.9~H22.3 | | 観測中 | | |
| | H21R5-50 | | 531.04 | 50 | H22.2~H22.3 | | 観測中 | | |
| | H21L1-50 | | 523.67 | 50 | H22.2~H22.3 | | 観測中 | | |
| | H21L2-10 | | 523.67 | 10 | H22.2~H22.3 | | 観測中 | | |
| | H21L3-50 | | 522.96 | 50 | H22.2~H22.3 | | 観測中 | | |
| | H21L5-50 (H21-1) | | 525.78 | 50 | H21.10~H22.3 | | 観測中 | | |
| | H21L6-10 (H21-2) | 525.76 | 10 | H21.10~H22.3 | 観測中 | | | | |
| | H21L8-50 | 529.14 | 50 | H22.2~H22.3 | 観測中 | | | | |
| H21L9-10 | 529.11 | 10 | H22.2~H22.3 | 観測中 | | | | | |
| 野安 市曇 | 0503 | 地下水位 | 525.50 | 20 | S60.4~H22.3 | | 日1回 | 観測中 | |
| 長野県 (安曇野建設事務所) | Q-5(蓼川) | 河川水位 | - | - | H11.10~H16.3 | | 日1回 | 観測終了 | |
| | Q-6(万井川) | 河川水位 | - | - | H11.10~H16.3 | 月1回 | 観測終了 | | |
| | H21L7-10 (1501) | 地下水位 | 529.02 | 10 | H13.7~H20.7 H21.9~H22.3 | 1時間1回 | 観測中 | 県による観測終了後、 国土交通省により再観測 | |
| | 1502 | | 529.39 | 10 | H13.7~H21.3 | | 観測終了 | | |
| | 1503 | | 527.83 | 10 | H13.7~H21.3 | | 観測終了 | | |
| | 1504 | | 524.9 | 10 | H13.11~H21.3 | | 観測終了 | | |
| | 1505 | | 521.96 | 10 | H15.6~H21.3 | | 観測終了 | | |
| | 1506 | | 521.88 | 10 | H13.11~H21.3 | | 観測終了 | | |
| | 1507 | | 522.4 | 10 | H14.11~H21.3 | 観測終了 | | | |
| | H21L4-5.5 (1601) | | 522.39 | 5.5 | H11.10~H21.2 H21.9~H22.3 | 日1回 | 観測中 | 県による観測終了後、 国土交通省により再観測 | |
| | 1602 | | 521.81 | 5.5 | H11.12~H21.2 | | 観測終了 | | |
| | 1603 | | 522.77 | 5 | H12.7~H21.2 | | 観測終了 | | |
| 1604 | 不明 | 不明 | H15.8~H21.2 | 観測終了 | | | | | |

：地下水位
：河川・水路水位

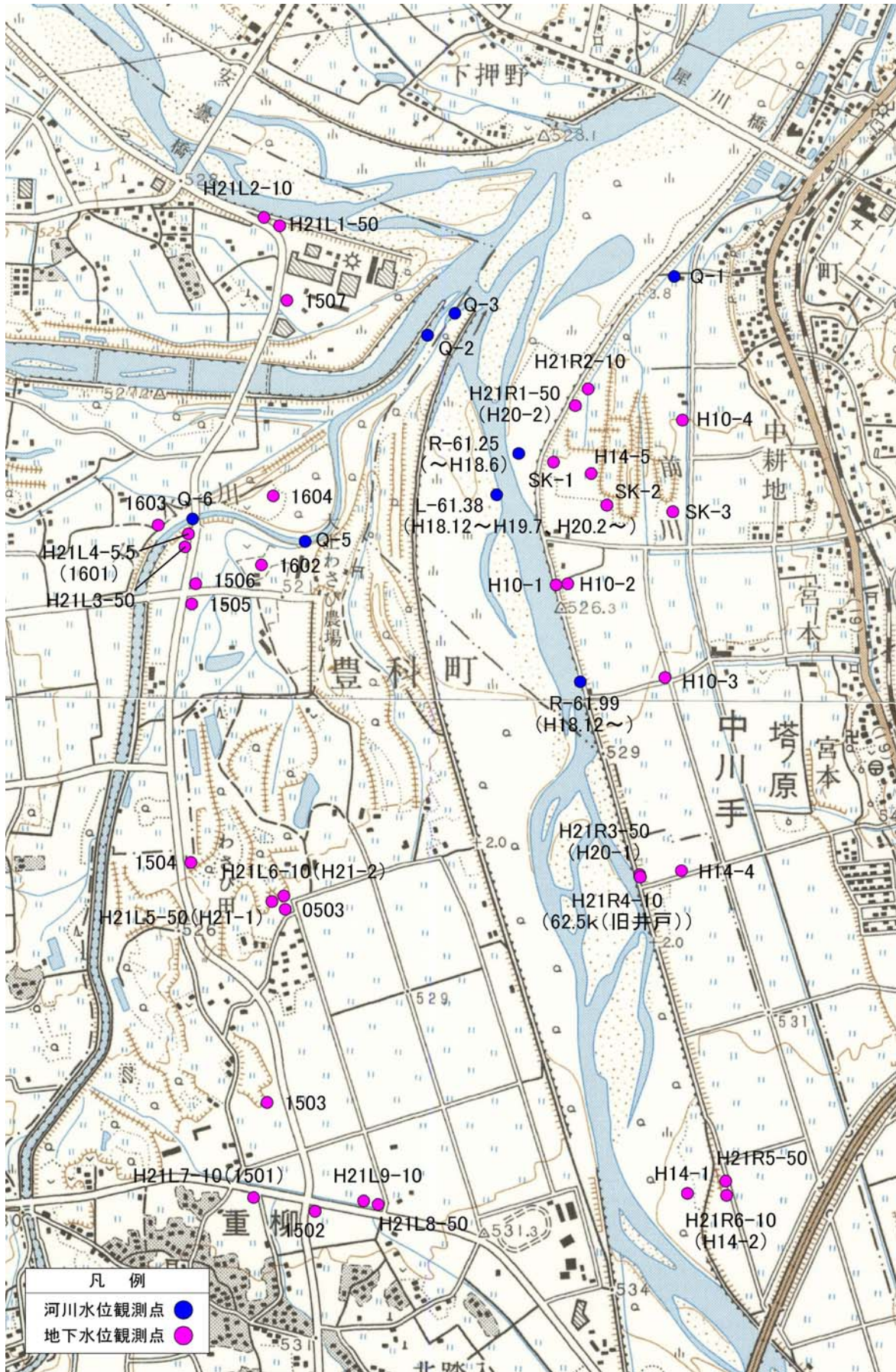


図-3.1.16 三川合流点周辺の地下水位等観測地点位置図

2) 経年変化の実態

地下水位の観測結果を左右岸別に分けて図-3.1.17に示した。左岸と右岸では若干異なるが、左岸内、右岸内の水位変動はとても類似している。また、水位変動幅は上流に位置するほど（地下水位が高いほど）大きい。水位変動は上段に示した犀川流量の変動と一致した傾向を示している。



図-3.1.17(1) 三川合流点周辺の地下水位の変化 (左岸)

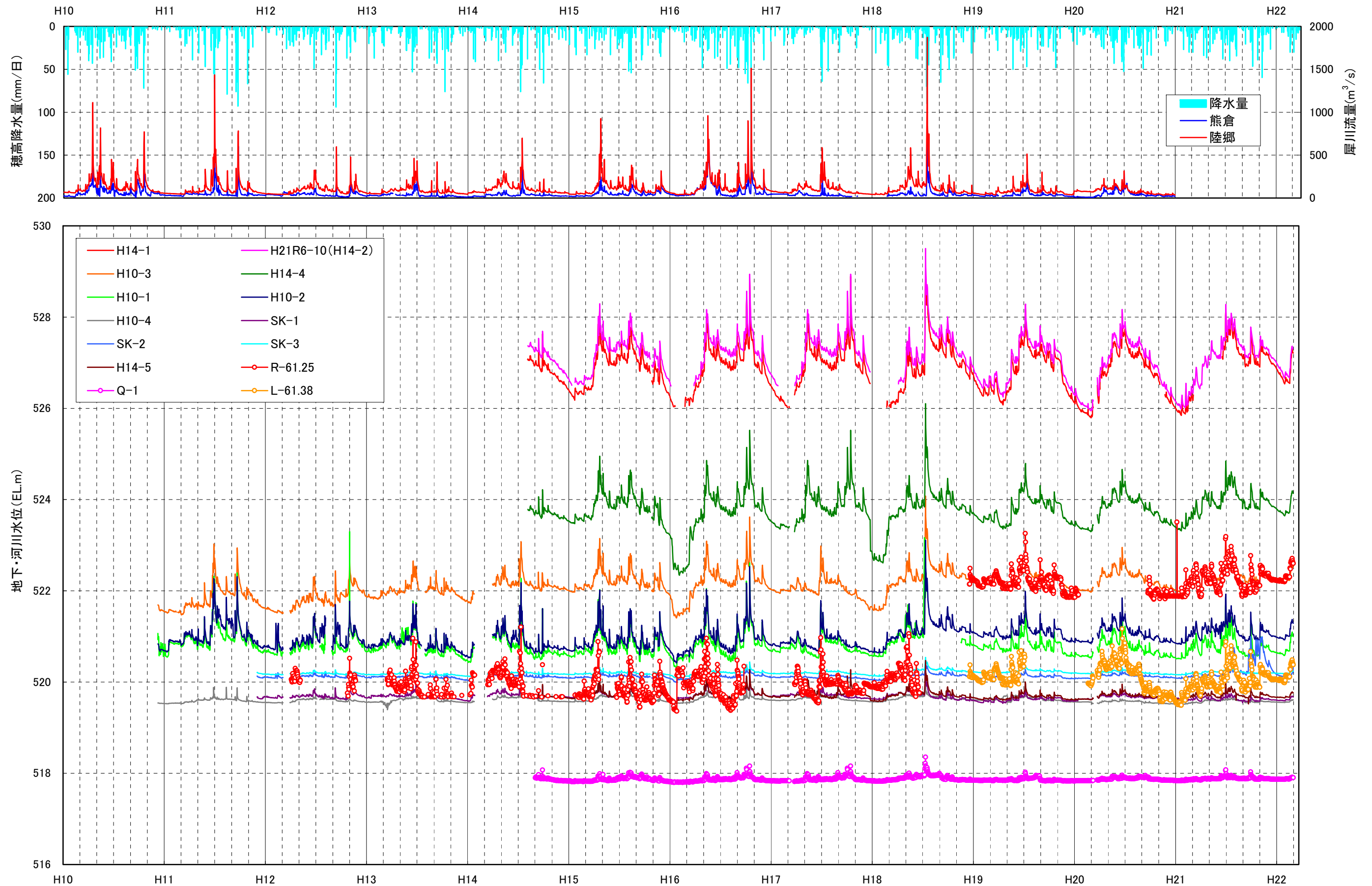


図-3.1.17(2) 三川合流点周辺の地下水位の変化 (右岸)

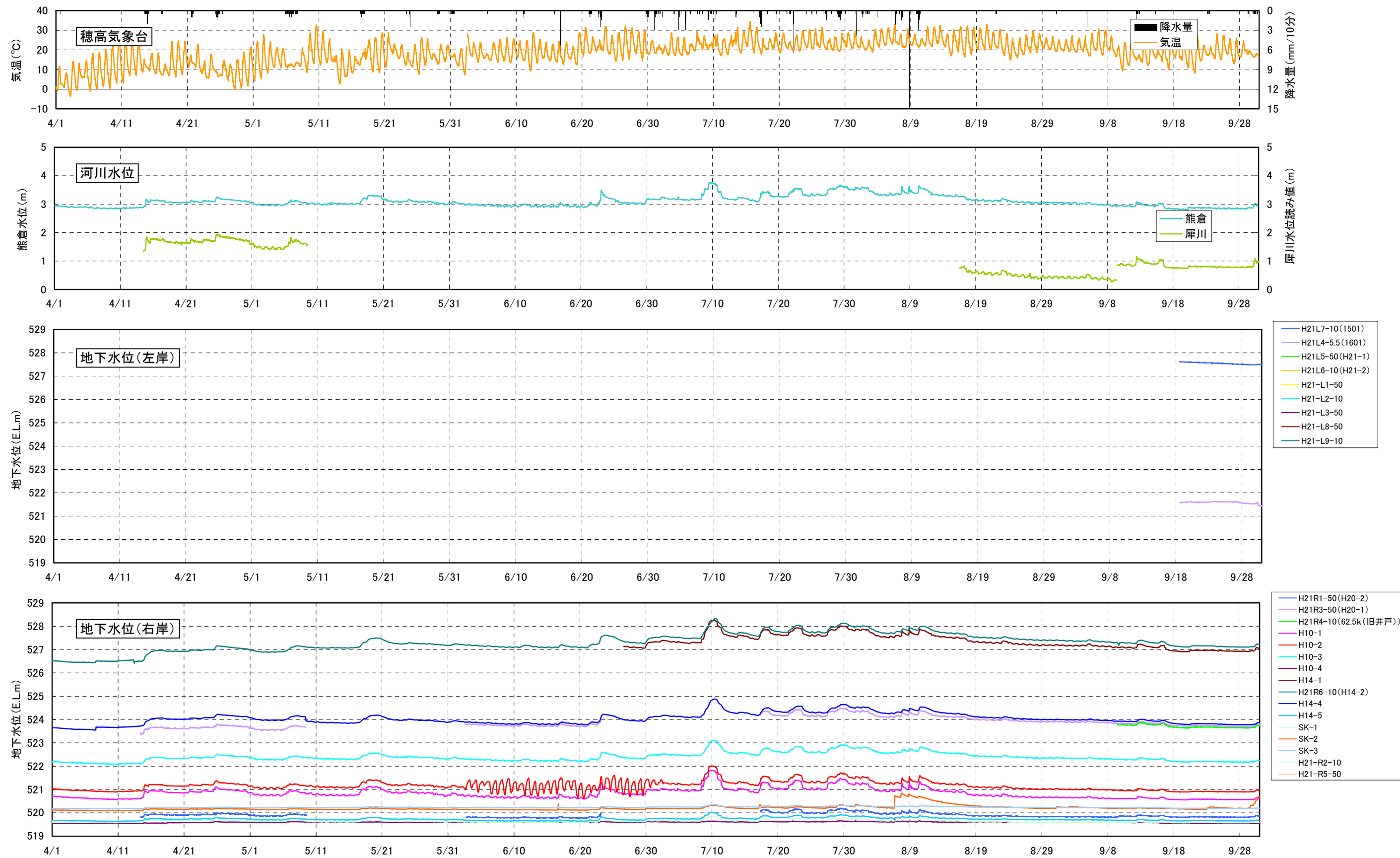


図-3.1.17(3) 三川合流点周辺の地下水位の変化 (H21/4/30~H21/9/30)

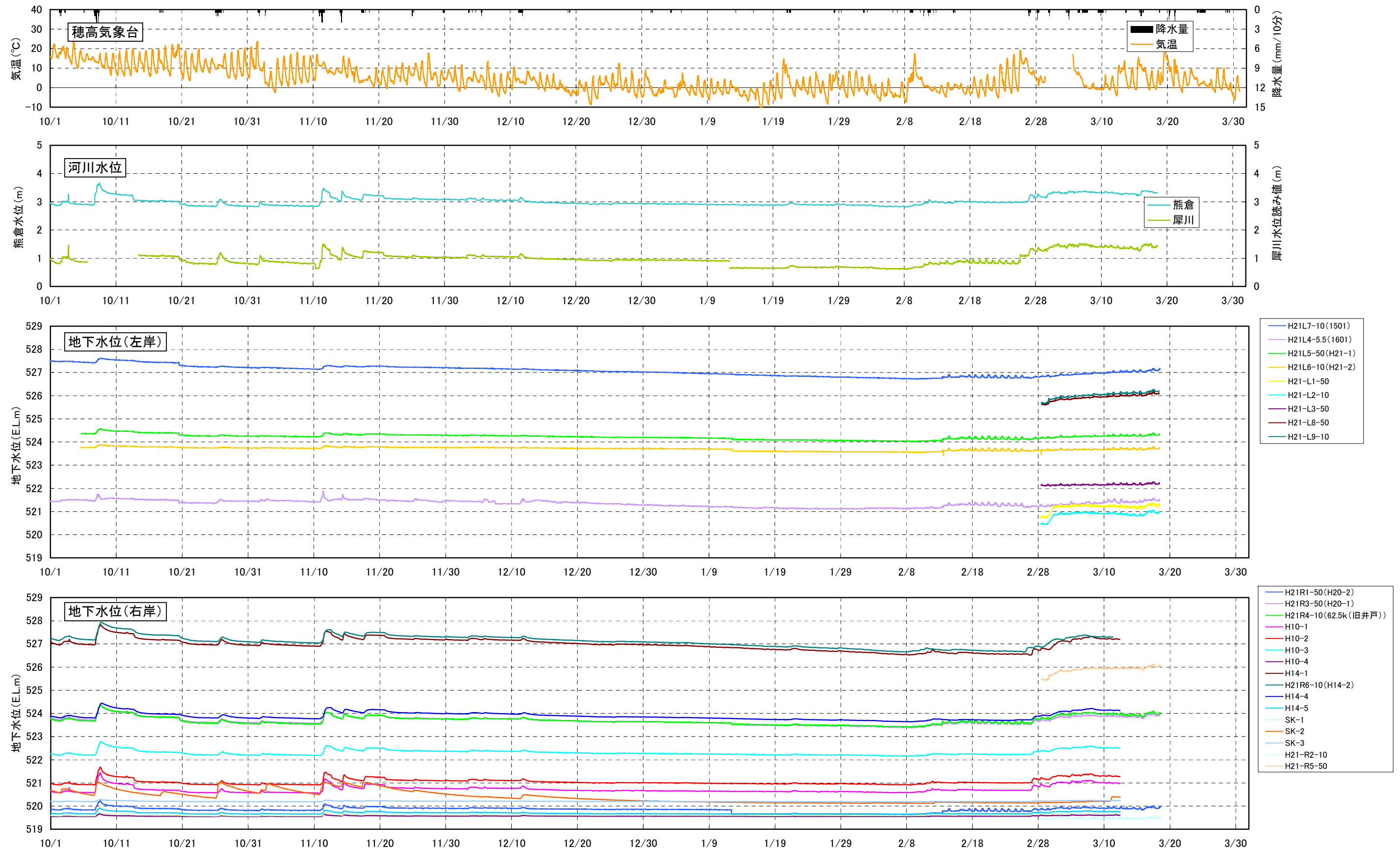


図-3.1.17(4) 三川合流点周辺の地下水水位の変化 (H21/10/1~H22/3/31)

3.1.5 湧出量

安曇野市により、三川合流部近傍の2箇所で長期的な湧水の湧出量が観測されている（図-3.1.18参照）。上流側の湧出量の減少傾向が明瞭である。

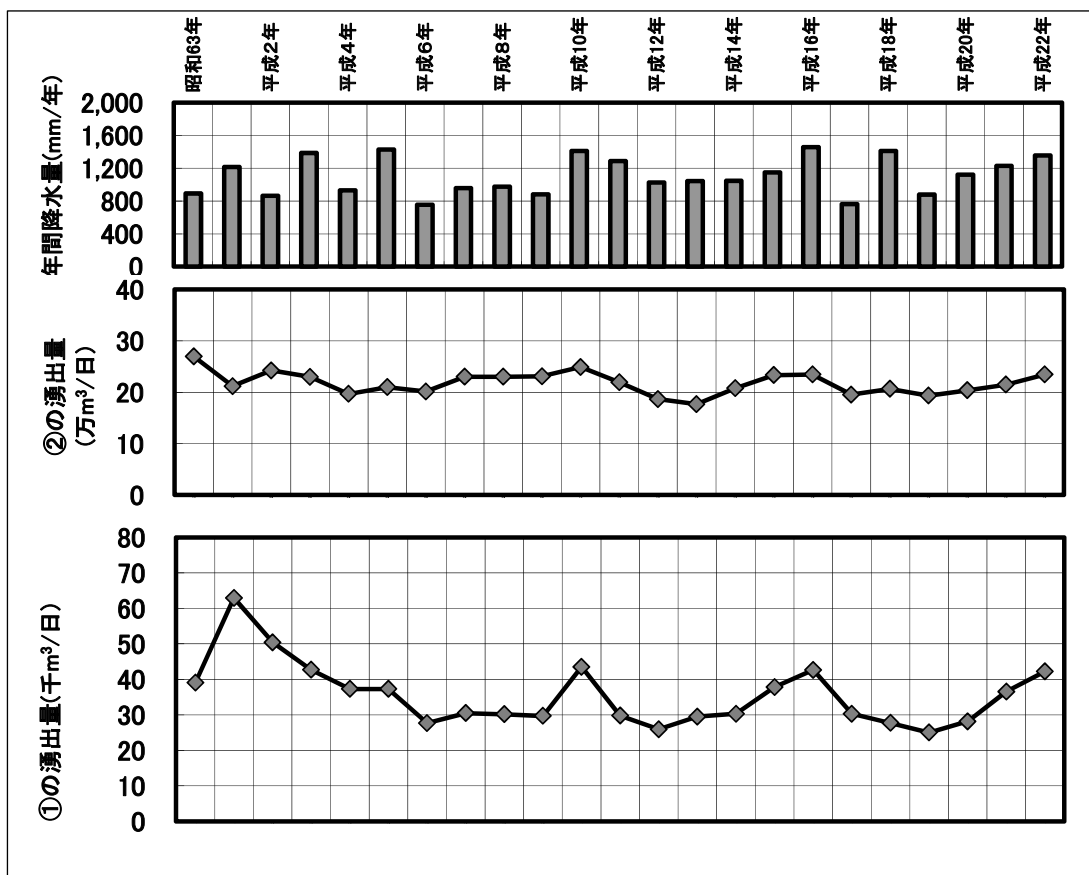
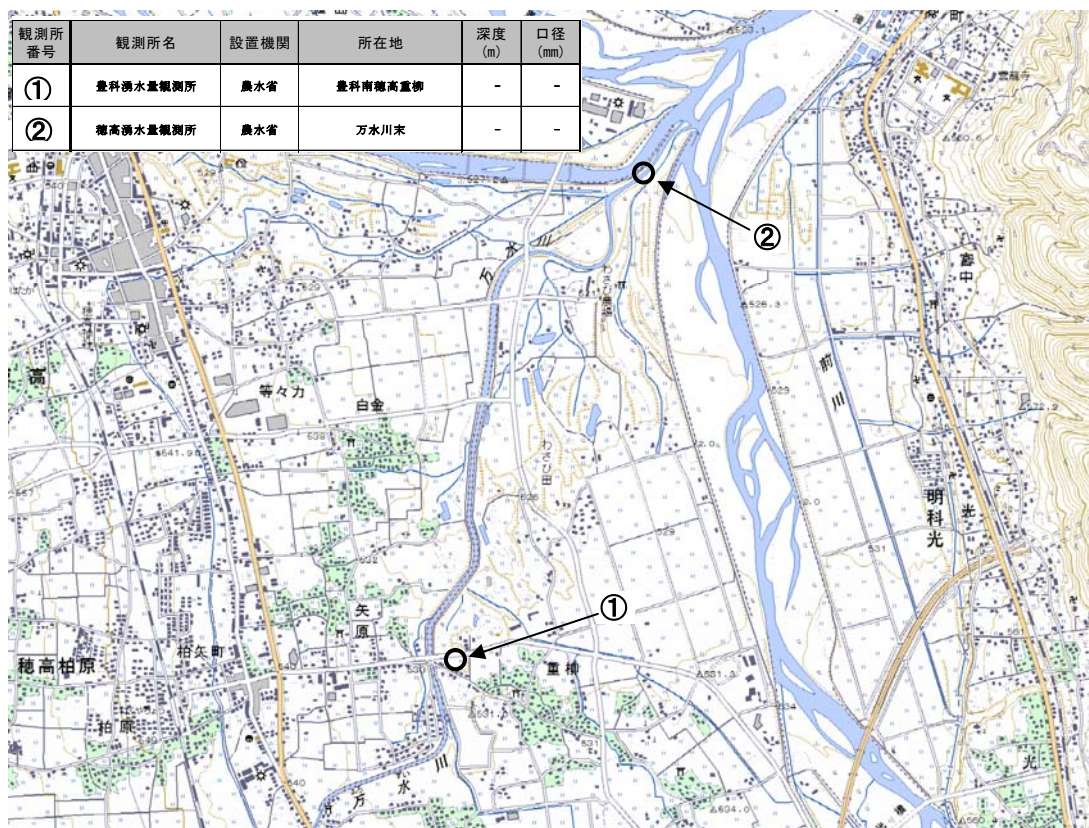


図-3.1.18 三川合流部付近の湧出量の経年変化

3.1.6 地下水質

犀川上流域水利用状況検討業務(国土交通省千曲川河川事務所, H19/12)では、松本盆地全域の一斉測水を行っている。この報告書では、盆地の地下水質について、以下の通り示してある。

【豊水期の水温】

- ・水温は10～20℃を示し、平均14℃程度を示す(図-3.1.19参照)。
- ・この範囲に入らない水温を示す井戸では、貯水タンクや送水管を介して採水した水であり、地下水本来の水温を示していない可能性がある。なお、塩尻市にある9919孔では井戸水を直接採水したが、水温は18.9℃と高い。この井戸は深度5m程度の浅井戸で気温の影響を大きく受けている。
- ・全般傾向として、山地と平坦地の境や梓川沿いなど、地下水の涵養域で水温が低く、三川合流部等、地下水流動域や湧出域で水温が高い。
- ・この傾向は、涵養域においては後背の山地から供給される地下水の影響が高いため水温が低く、流動・湧出域では扇状地内部の地温と同等の水温に収束するためと考えられる。
- ・三川合流部の湧水の水温は15.0℃程度(H19夏値、安曇野市データ)と冬に比べ3℃程度高い。

【渇水期の水温との違い】

- ・渇水期に比べ水温は平均2℃程度上昇している。
- ・塩尻市南部や安曇野市東部(犀川周辺)で5℃程度の上昇が見られる。これらの井戸はいずれも深度5m以下の浅井戸で、気温の影響を受け水温が上昇したと考えられる。

【豊水期のpH】

- ・ pHは5.8～7.0を示し、平均6.5である(図-3.1.20参照)。
- ・ 大町地域や松本地域など盆地上流域で6.0前後の弱酸性を示し、盆地下流域(安曇野地域)で6.2～6.8とやや中性よりの値を示す。
- ・ 大町市にある0332孔のpHは7.1と弱アルカリを示す。この井戸は現在使われていない水源井戸で、錆を含んだ淡い褐色を呈した水を測定した。酸化された鉄が失う電子が酸素と水と反応し水酸化物イオンを放出するため、pHがやや大きくなっている。また、松本市の1309孔は奈良井川近傍に位置する井戸である。奈良井川の夏期におけるpHは7.0～7.4(長野県水質測定データ, H16参照)で、揚水に伴う河川水の引き込みにより周辺と比べpHがアルカリ側にシフトしていると考えられる。同様に梓川近傍にある1319孔でもpHが7.3と弱アルカリ性を示している。
- ・ 涵養域で弱酸性を示す地下水が流動域や湧出域で中性に近づくのは、酸性を示す降雨(長野県によればH18.8の松本市における降雨のpHは4.89)が涵養域で地下浸透し、弱アルカリ性を示す河川水(国土交通省によれば犀川、梓川、奈良井川のpHは6.7～7.9程度)の地下水帯への涵養により中性化していくためである。なお、三川合流部の湧水のpHは6.5～7.3(H19夏値、安曇野市データ)を示している。

【渇水期のpHとの違い】

- ・ 渇水期に比べ大きく変化しているところは少ないが、三川合流部の10孔, 11孔(安曇野市観測)および梓川と奈良井川の合流点付近の54孔(安曇野市観測)でpHが0.5～1.5増加している。これらの井戸は河川近くに位置するため、河川水の地下水への付加がpHに影響していると考えられる。

【豊水期の電気伝導度】

- ・電気伝導度は、3～45mS/mを示し、平均17mS/mである(図-3.1.21参照)。
- ・地域的には、大町地域で約15mS/m以下と低い値を示し、松本地域で20mS/m以上の地点が散見され、盆地南部ほど高いように見える。
- ・安曇野地域は烏川扇状地扇端部で10mS/m以下の低い値を示しており、東部山地沿いで20mS/m以上とやや高い。平地中央部で15～20mS/mの値を示している。
- ・降水の電気伝導度は数mS/mであり、河川水の電気伝導度は梓川(倭橋)で5～10mS/m、奈良井川(島橋)で15～25mS/m、犀川(田沢橋)で10～15mS/mである(国土交通省データ)。
- ・盆地南部や安曇野地域の東部山地で電気伝導度が高いのは、農地で施用された肥料の溶脱や住宅地からの溶存成分を多く含んだ表流水の浸透等が原因と考えられる。
- ・全般傾向としては、降水により涵養された低い電気伝導度を持つ地下水が、やや高い電気伝導度を持つ河川水の涵養を受けて電気伝導度が下流ほど高くなっていることが読み取れる。なお、三川合流部の湧水の電気伝導度は15mS/m程度(H19夏値、安曇野市データ)であった。

【渇水期の電気伝導度との違い】

- ・渇水期に比べ電気伝導度は全般に低下傾向にある。
- ・安曇野地域東部山地の48孔、50孔(安曇野市観測)および三川合流部の10孔(安曇野市観測)では6～7mS/m上昇している。48孔と50孔はいずれも30mS/m程度の値を示しており、渇水期に対する豊水期の上昇率としてみると他と同等である。

以上の3つの指標から見れば、盆地上流から盆地下流(三川合流部)に向かって水温の上昇、pHの酸性から中性への変化、電気伝導度の増加が認められ、地下水位等高線から示唆される全体的な地下水の流動方向と整合している。

なお、渇水期と豊水期で水温、pH、電気伝導度が大きく変化しないのは、盆地内に胚胎する地下水流動が季節変化より長いオーダーで流動しているため、季節的な変動が顕著に表れていないためと考えられる。

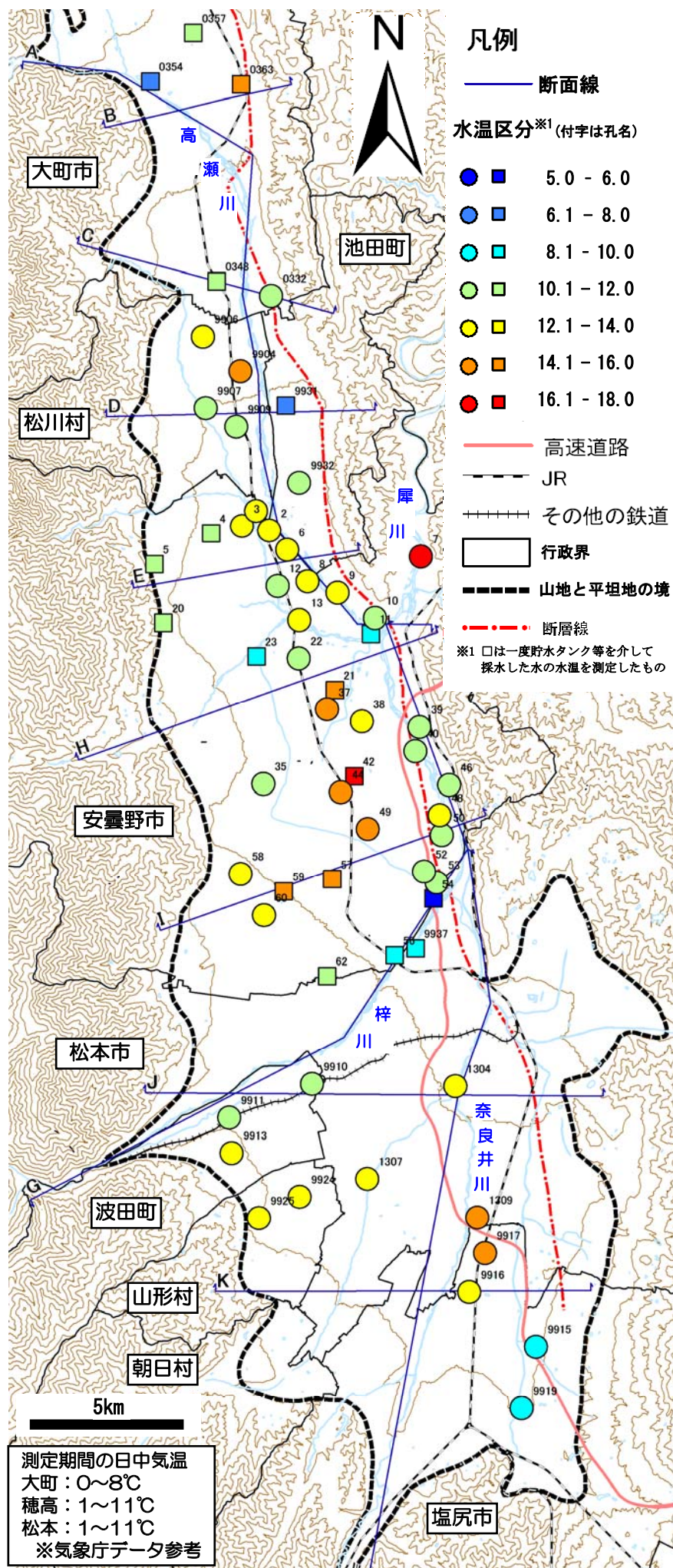


図-3.1.19(1) 渇水期水温分布 (H19/2/20～21, 安曇野市データ含む)

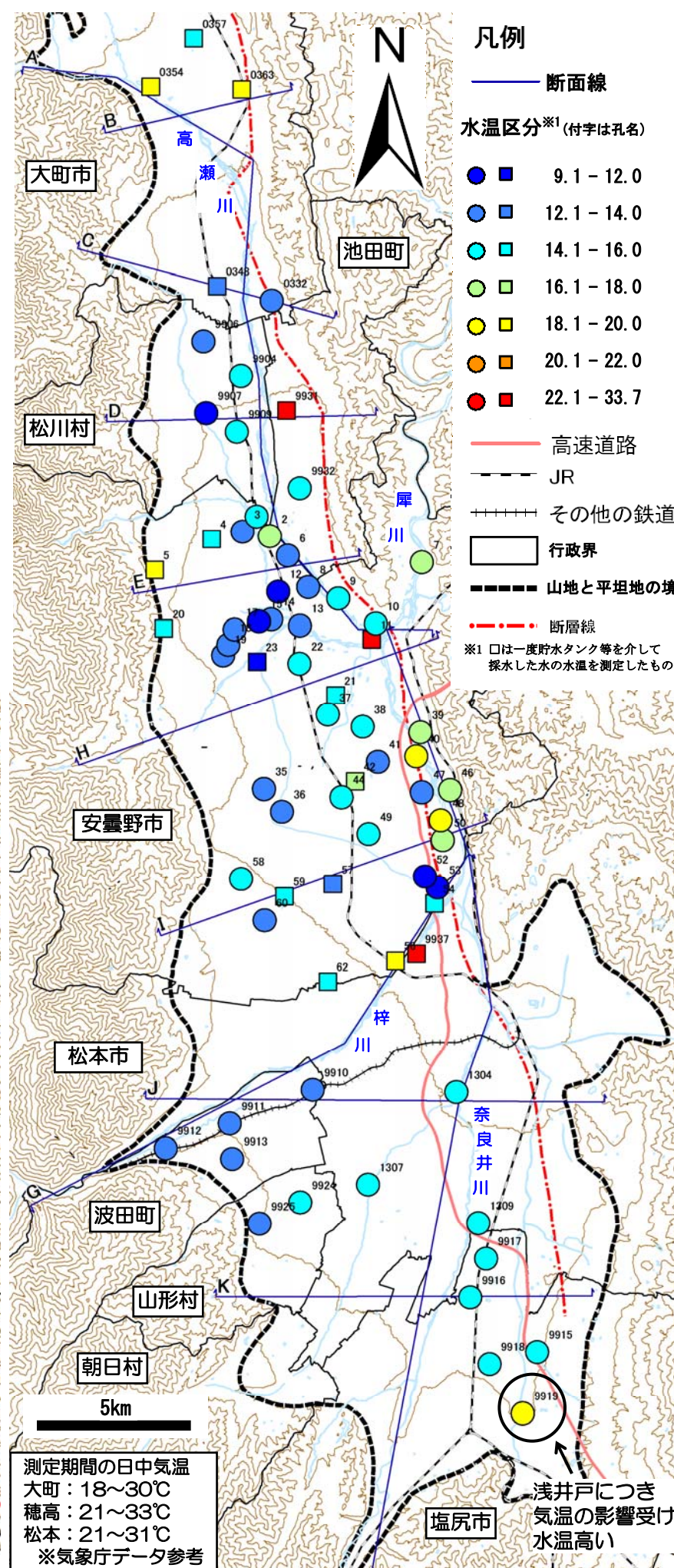


図-3.1.19(2) 豊水期水温分布 (H19/7/31～8/1, 安曇野市データ含む)

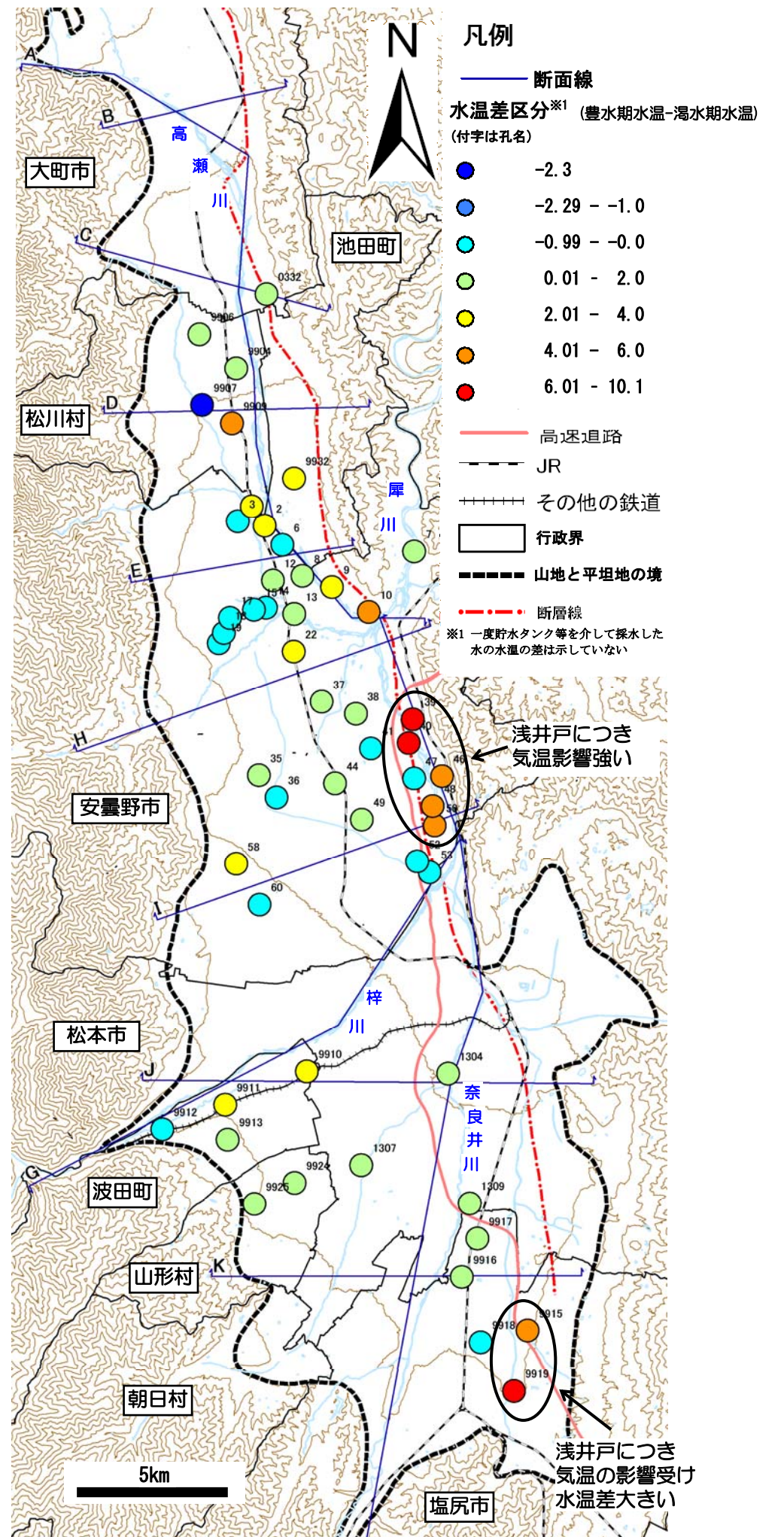


図-3.1.19(3) 渇水期と豊水期の水温差 (安曇野市データ含む)

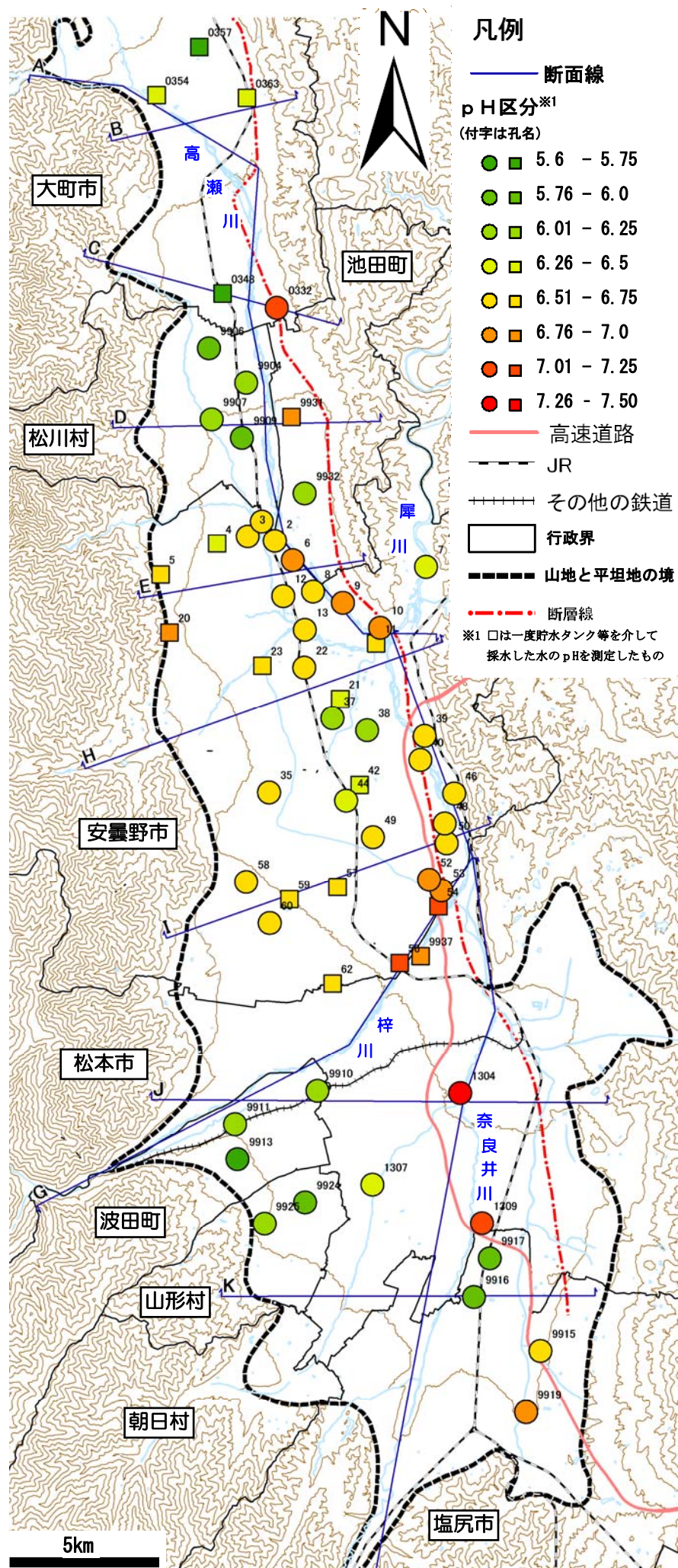


図-3.1.20(1) 渇水期 pH分布 (H19/2/20~2/21, 安曇野市データ含む)

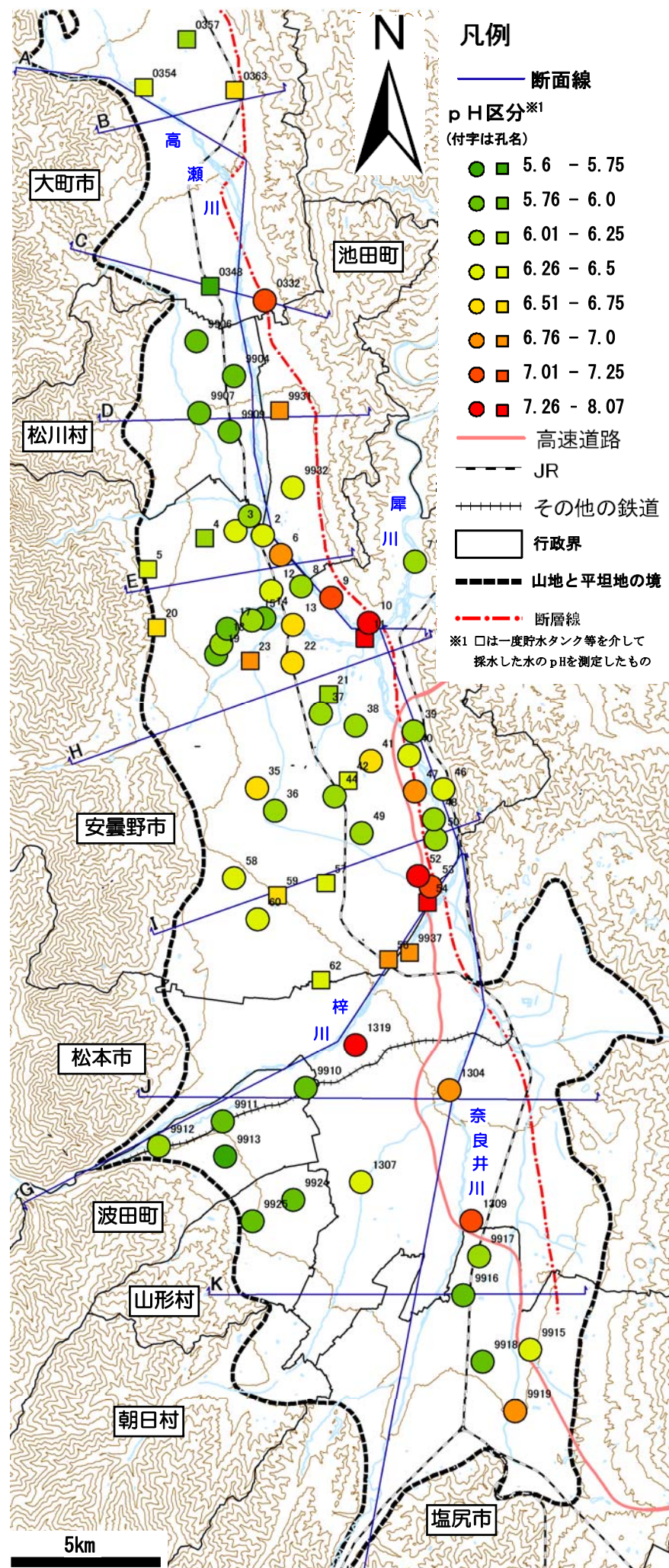


図-3.1.20(2) 豊水期 pH分布 (H19/7/31~8/1, 安曇野市データ含む)

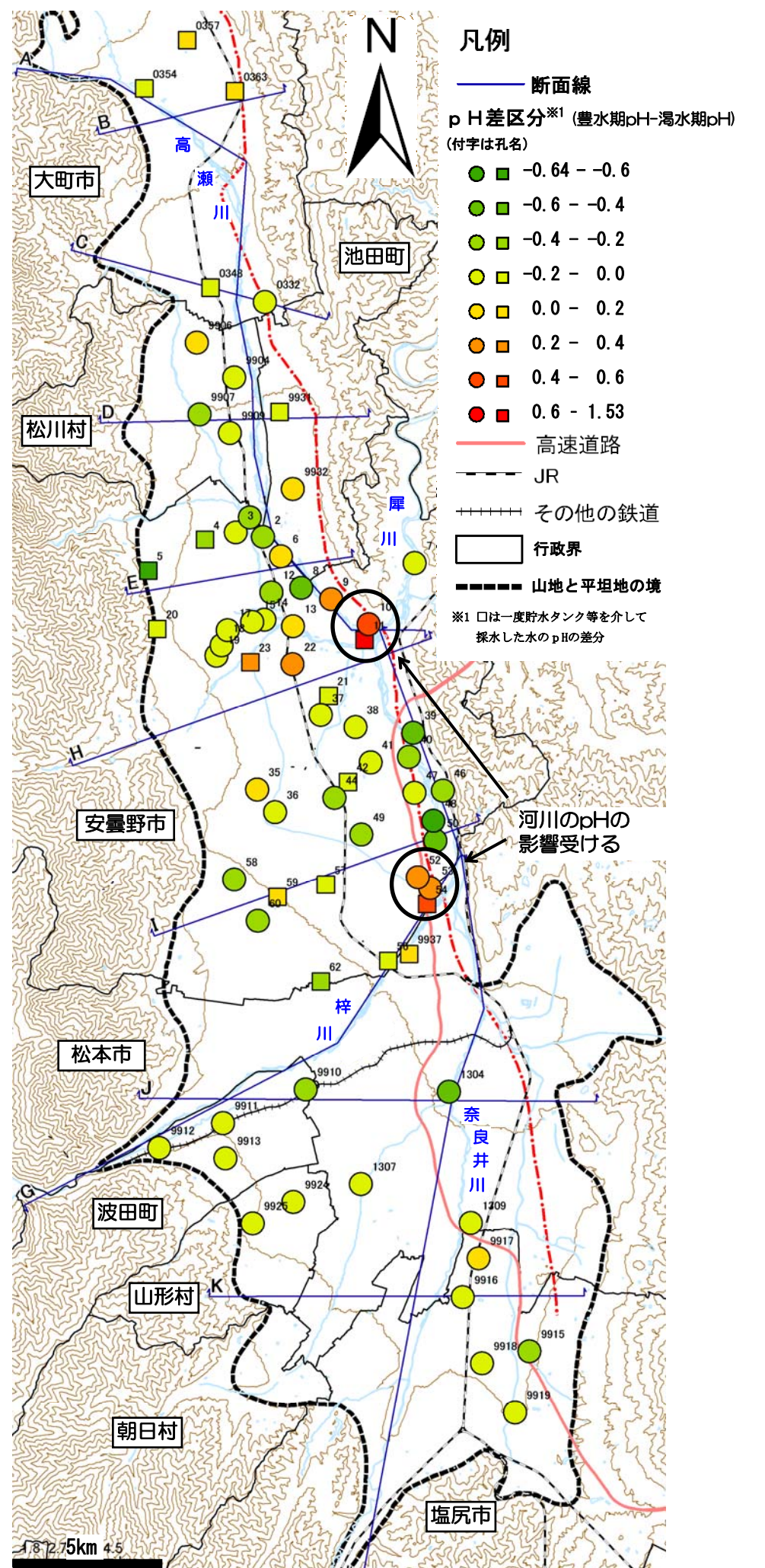


図-3.1.20(3) 渇水期と豊水期の pH変化 (安曇野市データ含む)

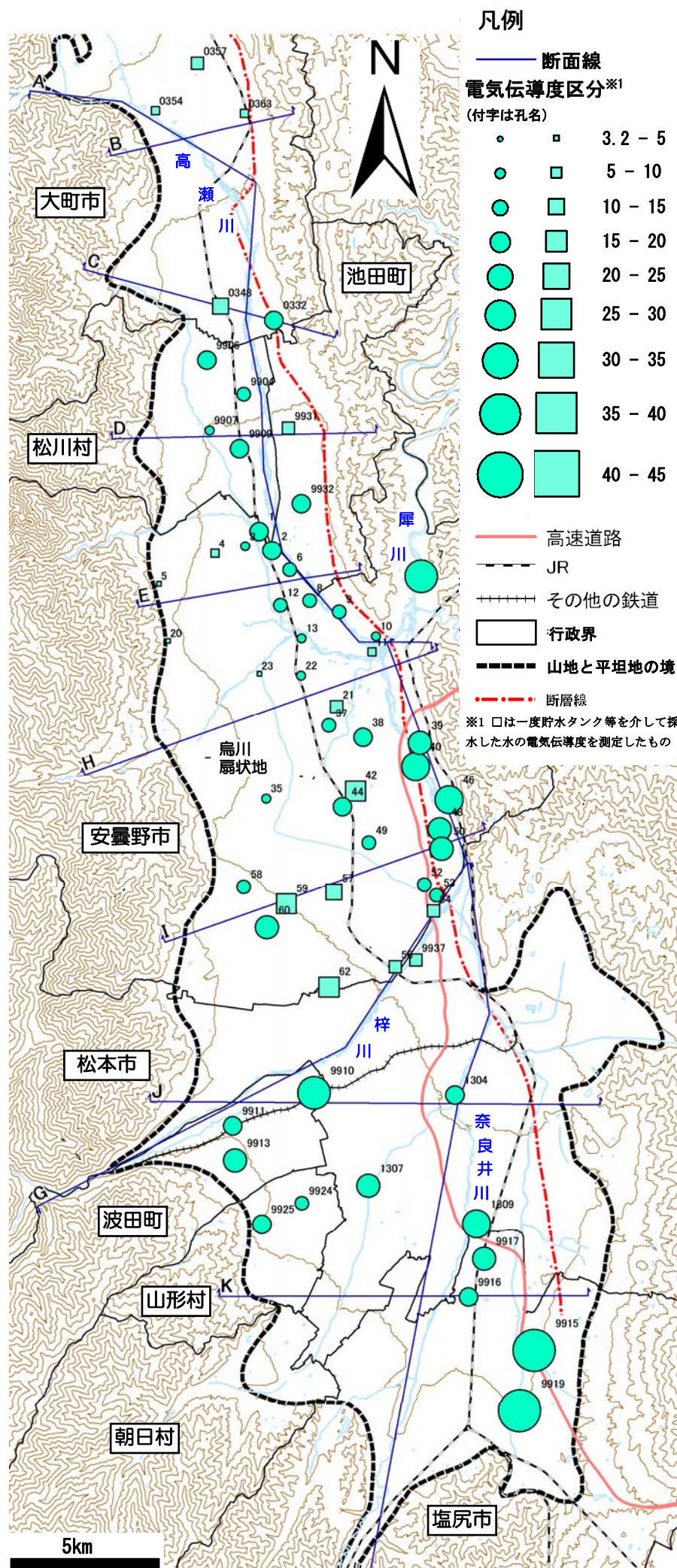


図-3.1.21(1) 渇水期電気伝導度分布 (H19/2/20~21, 安曇野市データ含む)

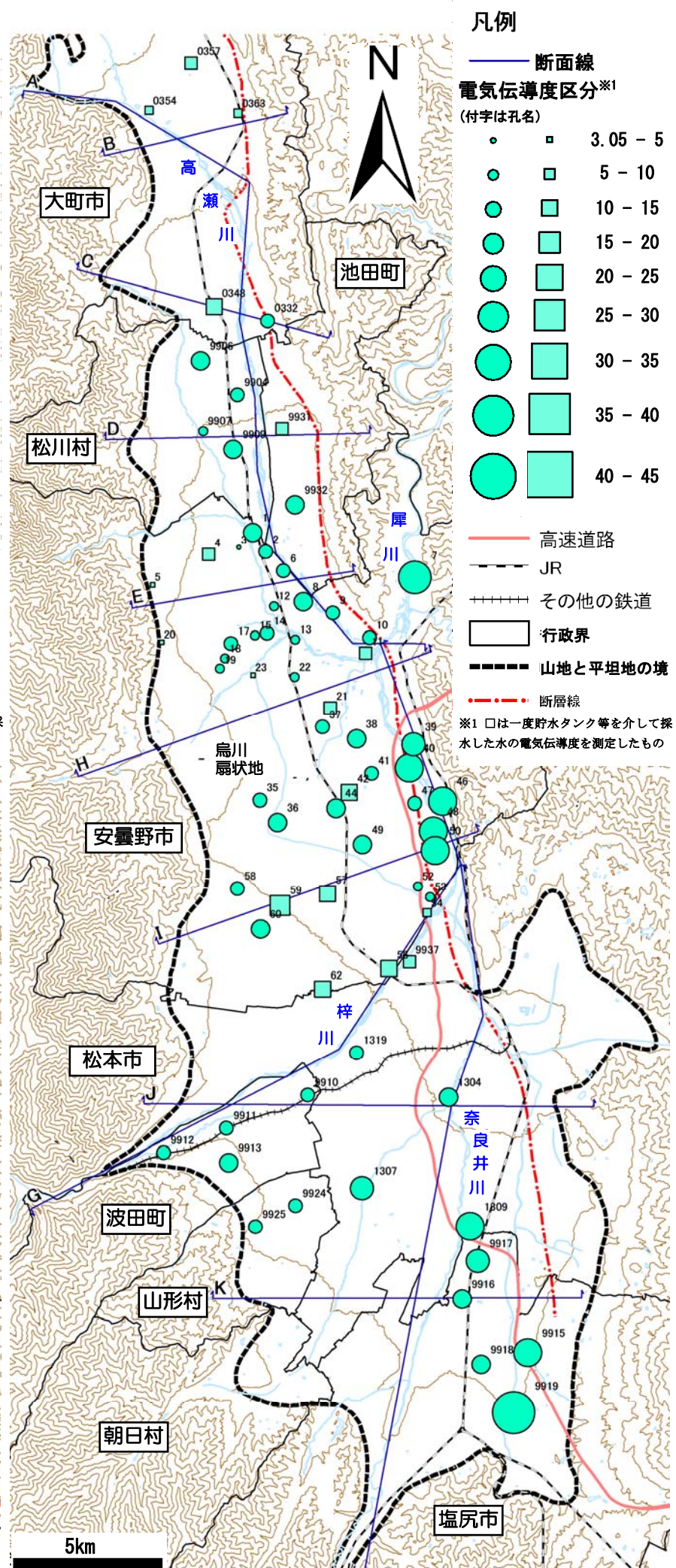


図-3.1.21(2) 豊水期電気伝導度分布 (H19/7/31~8/1, 安曇野市データ含む)

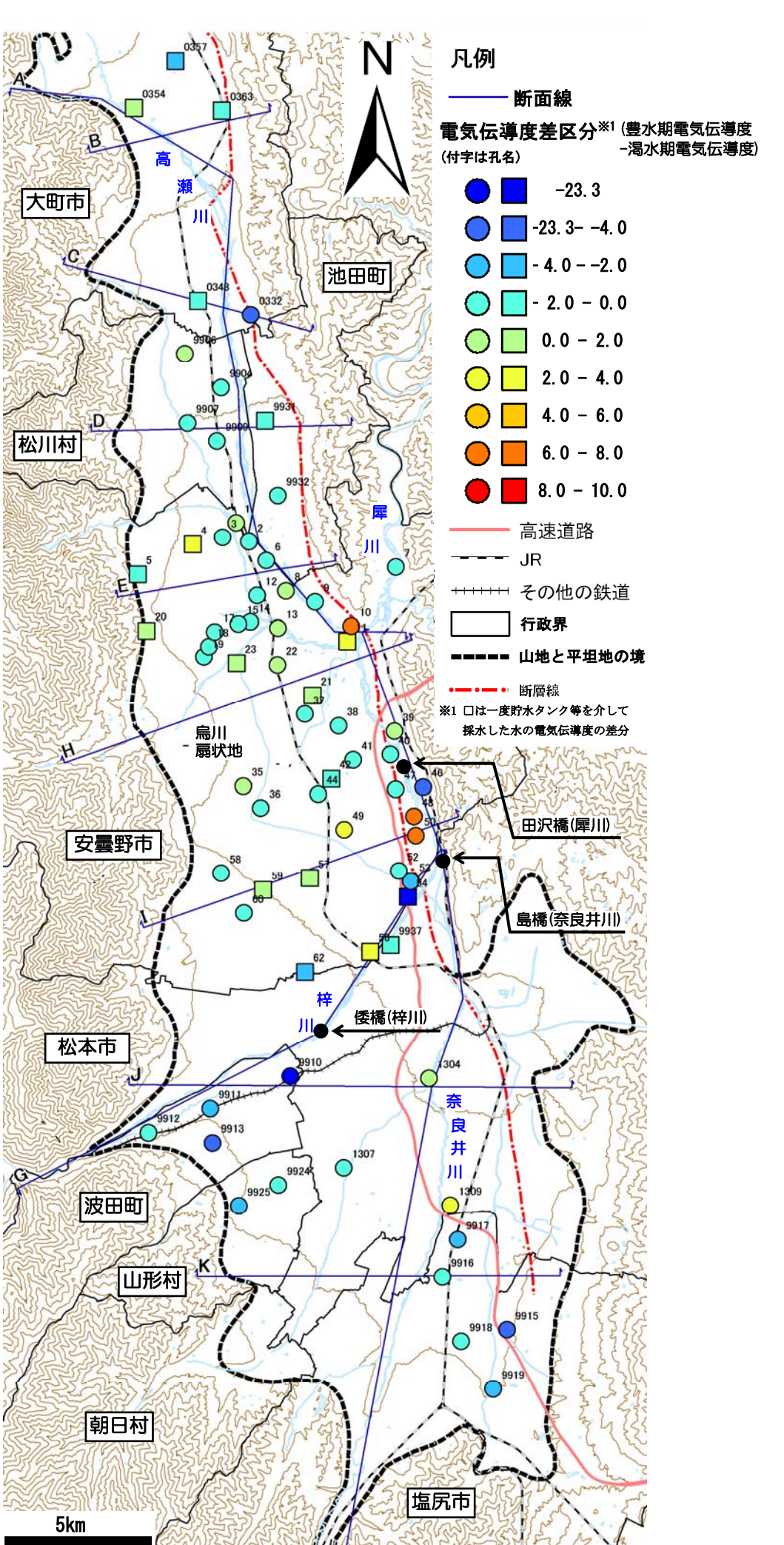


図-3.1.21(3) 渇水期と豊水期の電気伝導度変化 (安曇野市データ含む)

3.1.7 河川流量

犀川上流域の河川の水位・流量の観測状況は、表-3.1.6および図-3.1.22に示すとおりである。流量観測所は犀川に2地点、梓川に1地点、奈良井川に1地点、高瀬川に1地点の計5地点あり、水位観測所は奈良井川に3地点、田川に2地点、薄川、女鳥羽川、万水川、穂高川にそれぞれ1地点、高瀬川に2地点の計11地点ある。

表-3.1.6 犀川上流域の水位・流量観測所一覧表

| 河川名 | 観測所名 | 所管 | 流域面積 (km ²) | 期間 | 備考 |
|------|------|-------|----------------------------|--------|--------|
| 犀川 | 熊倉 | 国土交通省 | 1,236.0 | 1979年～ | |
| | 陸郷 | 国土交通省 | 2,335.0 | 1964年～ | |
| 梓川 | 下島橋 | 国土交通省 | | | |
| 奈良井川 | 長瀬 | 長野県 | | | 水位のみ観測 |
| | 琵琶橋 | 長野県 | | | 水位のみ観測 |
| | 新橋 | 長野県 | | | 水位のみ観測 |
| | 島橋 | 国土交通省 | 643.5 | 1976年～ | |
| 田川 | 田川 | 長野県 | | | 水位のみ観測 |
| | 渚 | 長野県 | | | 水位のみ観測 |
| 薄川 | 薄川 | 長野県 | | | 水位のみ観測 |
| 女鳥羽川 | 女鳥羽川 | 長野県 | | | 水位のみ観測 |
| 万水川 | 矢原 | 長野県 | | | 水位のみ観測 |
| 穂高川 | 巾下 | 長野県 | | | 水位のみ観測 |
| 高瀬川 | 高瀬上橋 | 長野県 | | | 水位のみ観測 |
| | 十日市場 | 長野県 | | | 水位のみ観測 |
| | 高瀬下橋 | 国土交通省 | 549.9 | 1984年～ | |

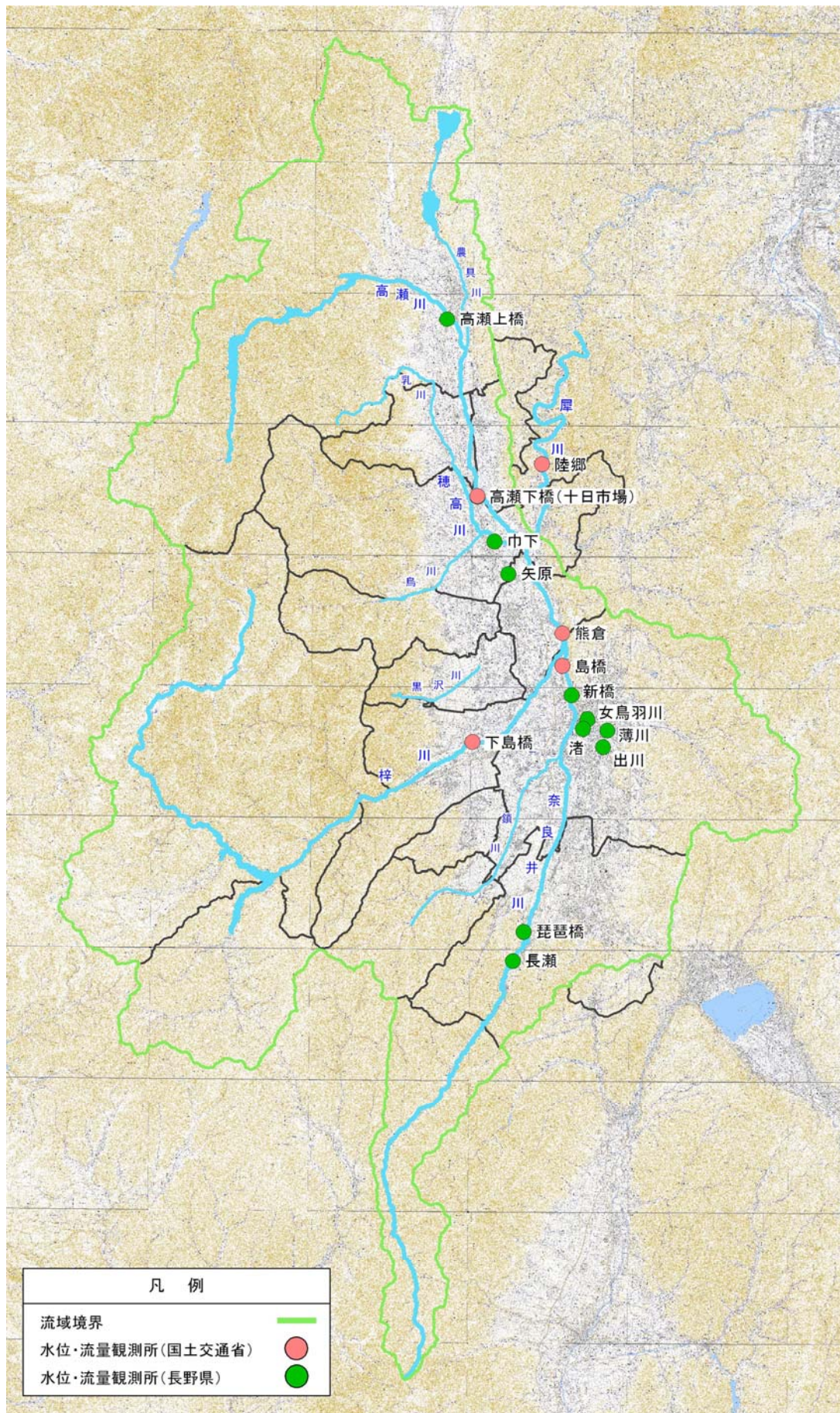


図-3.1.22 犀川上流域の水位・流量観測所位置図

流量が観測されている4地点について、表-3.1.7および図-3.1.23に流況の経年変化を示した。なお、高瀬川の高瀬下橋は欠測が多いことから、整理の対象から除外した。いずれの観測所の流況も、顕著な増加・減少傾向は見られない。

表-3.1.7 犀川上流域の流況

(単位：m³/s)

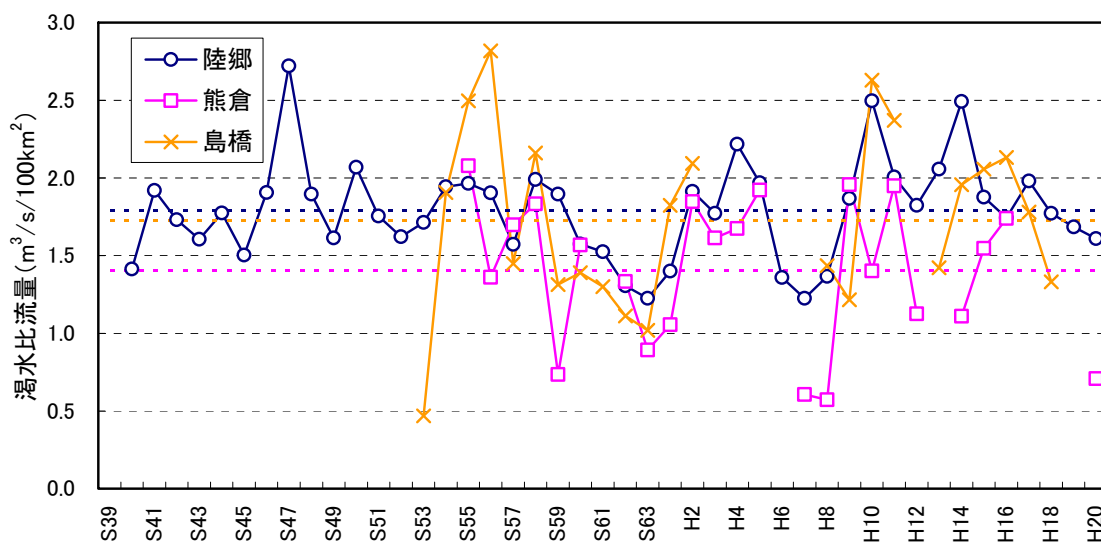
| 観測所名 | 平均 豊水流量 | 平均 平水流量 | 平均 低水流量 | 平均 渇水流量 |
|------|------------|------------|------------|------------|
| 陸郷 | 115.79 | 79.13 | 56.96 | 41.81 |
| 熊倉 | 62.16 | 43.01 | 27.27 | 17.37 |
| 島橋 | 30.44 | 22.54 | 16.64 | 11.10 |
| 下島橋 | 29.00 | 15.42 | 9.60 | 4.57 |

出典：「日流量年表」位況値

注：平成20年のデータは暫定値

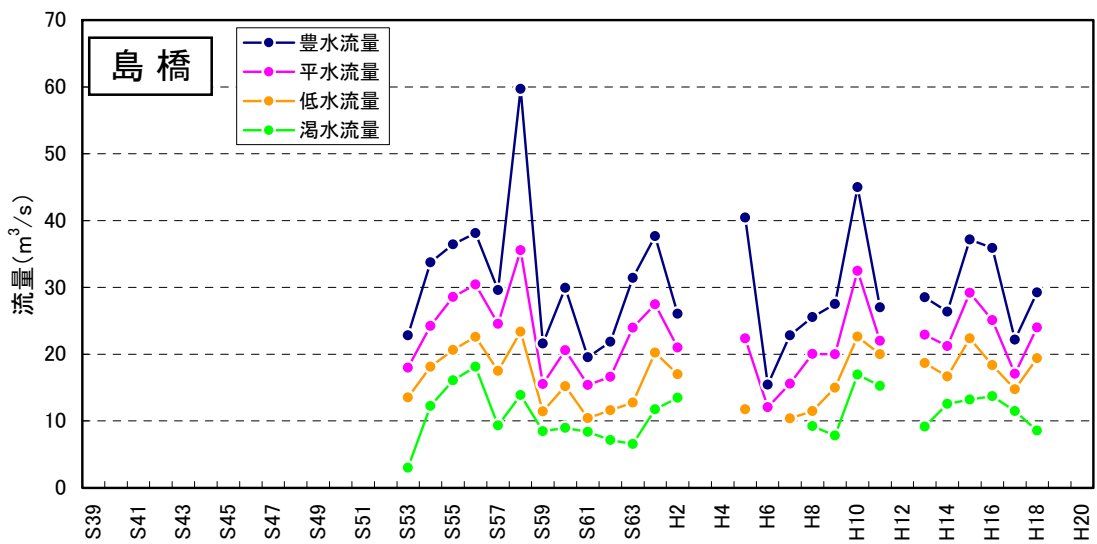
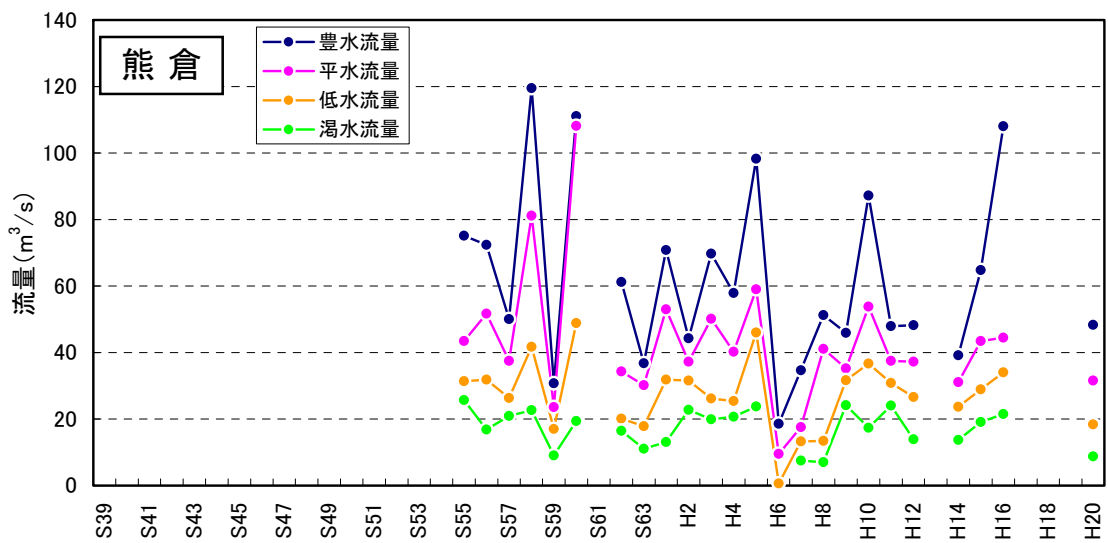
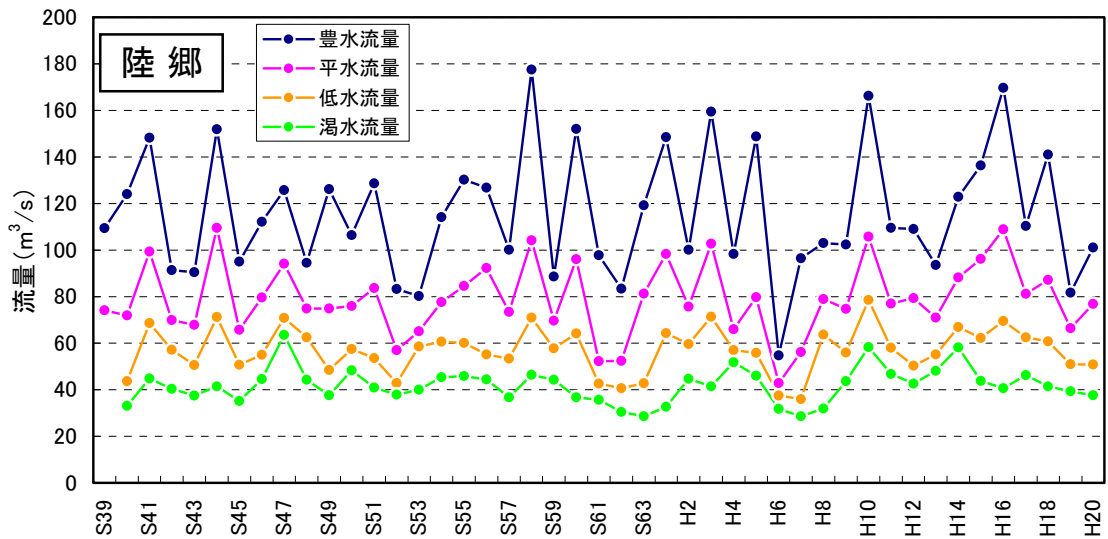
図-3.1.24には渇水比流量の推移を整理した。

松本盆地全体の集水域となっている陸郷の平均渇水比流量（1.79m³/s/100km²）は、その上流に位置する熊倉（1.44m³/s/100km²）と比較して豊富である。両観測所の間には犀川、高瀬川、万井川の三川合流点周辺に穂高湧水地帯があり、流域内で地下に浸透した地下水が湧出していることを示唆している。



注：平成20年のデータは暫定値

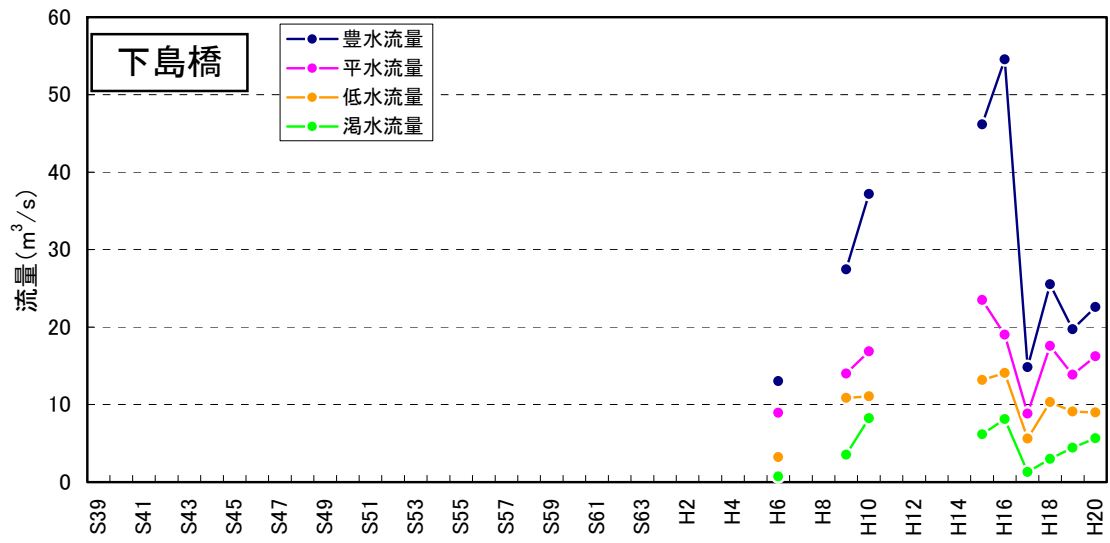
図-3.1.24 犀川上流域の比流量の経年変化



出典：「日流量年表」位況値

注：平成20年のデータは暫定値

図-3.1.23(1) 犀川上流域の流況の経年変化（陸郷・熊倉・島橋）



注：平成20年のデータは暫定値

図-3. 1. 23 (2) 犀川上流域の流況の経年変化 (下島橋)

3.1.8 地下水揚水量

松本盆地は地下水が豊富であるため長野県内で最も利用量が多く、県全体の約4割に達する※1と言われる。なかでも松本市の利用量は大きく、盆地の約6割を占めている。

(1) 地下水利用実態調査

松本盆地全体の地下水利用実態を経年的に、かつ、各用途を網羅して把握する調査は行われていない。ここでは、盆地内を対象としている地下水利用に関する実態調査について、各調査を経年的な視点でとりまとめた。

1) 昭和50年※2

対象範囲；松本盆地

- ・地下水利用施設はおよそ600ヶ所、年間の地下水利用量はおよそ7,000万m³に達している。この利用量は昭和45年のおよそ1.5倍になっている。
- ・地下水により灌漑されている農地面積は、およそ3,500haである。
- ・地下水利用の用途別、施設別の内訳を表-3.1.8に示す。また、用途別の内訳を図-3.1.25に示す。

表-3.1.8 松本盆地の用途別、施設別の地下水利用（昭和50年）

| 用途 施設 | 農業 | | 工業 | | 上水道 | | 計 | |
|----------|-----------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|
| | 数 (力所) | 利用量 (千m ³ /年) | 数 (力所) | 利用量 (千m ³ /年) | 数 (力所) | 利用量 (千m ³ /年) | 数 (力所) | 利用量 (千m ³ /年) |
| 浅井戸 | 168 | 8,175 | - | - | 11 | 180 | 179 | 8,355 |
| 深井戸 | 165 | 25,945 | 215 | 25,000 | 21 | 5,150 | 401 | 56,095 |
| その他 | 17 | 1,852 | - | - | - | - | 17 | 1,852 |
| 計 | 350 | 35,972 | 215 | 25,000 | 32 | 5,330 | 597 | 66,302 |

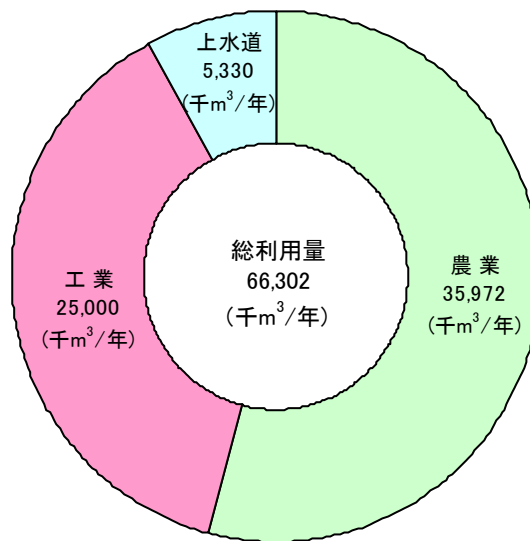


図-3.1.25 松本盆地の地下水利用量の用途別内訳（昭和50年）

※1 「地下水利用等基礎調査報告書」（国土庁、S58）

※2 「農業用地下水利用の現況」（関東農政局、S53）

2) 昭和 58 年※¹

対象範囲；大町市、池田町、松川村、豊科町、穂高村、三郷村、堀金村、
梓川村、明科町

- ・ 上記対象範囲の井戸についての用途別地下水利用状況を、表-3.1.9および
図-3.1.26に示す。
- ・ 揚水量で最も多いのは養魚用で、対象範囲全体の年間の揚水量の約5割を示して
いる。

表-3.1.9 用途別地下水利用状況（昭和58年）

| 用途別 | 所有者数 | 井戸本数 | 日揚水量 (m ³ /日) | | 年間揚水量 (千m ³ /年) | |
|------|------|------|--------------------------|-------|----------------------------|-----------|
| | | | 計 | 1井当り | 計 | 1井当り |
| 工業用 | 28 | 50 | 60,025 | 1,201 | 16,605.891 | 332.118 |
| 建築物用 | 43 | 47 | 2,479 | 53 | 841.046 | 17.895 |
| 水道用 | 11 | 32 | 36,637 | 1,145 | 12,380.563 | 386.893 |
| 農業用 | 24 | 39 | 38,374 | 984 | 4,586.838 | 117.611 |
| 養魚用 | 14 | 24 | 98,820 | 4,118 | 35,232.740 | 1,468.031 |
| 雑用 | 8 | 9 | 3,423 | 380 | 1,219.350 | 135.483 |
| 計 | 128 | 201 | 239,758 | 1,193 | 70,866.428 | 352.569 |

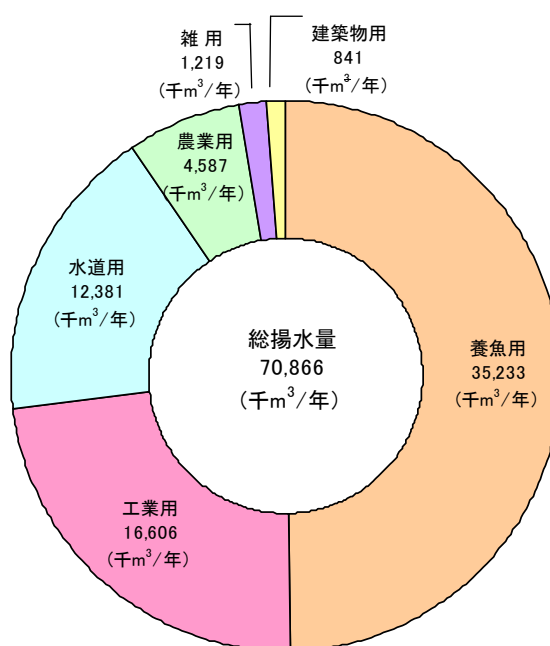


図-3.1.26 地下水揚水量の用途別内訳（昭和58年）

※1 「長野県南安曇地区地下水利用適正化調査報告書」（東京通商産業局、S60.3）

3) 昭和60年※1※2

対象範囲；松本市、塩尻市、大町市、明科町、波田町、豊科町、穂高町、池田町、山形村、梓川村、三郷村、松川村、堀金村、朝日村

- ・用途別の地下水取水量を表-3.1.10および図-3.1.27に示す。
- ・生活用水2,7000千m³/年、工業用水4,9000千m³/年、また農業用水は昭和56年当時で90,059千m³/年揚水されており、農業用水の水源としての揚水量が際立ち、主に果樹の栽培に使われている。
- ・地下水への依存割合は生活用水43%、工業用水58%と約半分を占め、それぞれ用水の水源として地下水は極めて重要な役割を果たしている。

表-3.1.10 用途別の市町村地下水利用状況（昭和60年）

| 市町村名 | 生活用水(上水道) | | | 工業用水 | | | 農業用水 | | | 合計 | | |
|------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|------|--------|--------|------|---------|--------|
| | 全取水量 | 地下水取水量 | 依存率(%) | 全取水量 | 地下水取水量 | 依存率(%) | 全取水量 | 地下水取水量 | 依存率(%) | 全取水量 | 地下水取水量 | 依存率(%) |
| 松本市 | 27,935 | 15,532 | 56 | 29,034 | 26,004 | 90 | - | 53,851 | | - | 95,387 | |
| 塩尻市 | 9,328 | 0 | 0 | 20,308 | 1,852 | 9 | - | 21,442 | | - | 23,294 | |
| 大町市 | 7,530 | 0 | 0 | 19,478 | 7,783 | 40 | - | 0 | | - | 7,783 | |
| 明科町 | 1,682 | 100 | 6 | 437 | 92 | 21 | - | 0 | | - | 1,774 | |
| 波田町 | 1,624 | 0 | 0 | 20 | 0 | 0 | - | 9 | | - | 9 | |
| 豊科町 | 3,533 | 3,533 | 100 | 10,930 | 9,954 | 91 | - | 730 | | - | 14,217 | |
| 穂高町 | 3,685 | 3,558 | 97 | 2,208 | 2,114 | 96 | - | 5,713 | | - | 11,385 | |
| 池田町 | 1,289 | 1,034 | 80 | 380 | 184 | 48 | - | 126 | | - | 1,344 | |
| 山形村 | 573 | 0 | 0 | - | - | - | - | 7 | | - | 7 | |
| 梓川村 | 920 | 0 | 0 | 44 | 35 | 80 | - | 0 | | - | 35 | |
| 三郷村 | 1,657 | 69 | 4 | 358 | 274 | 77 | - | 5 | | - | 348 | |
| 松川村 | 689 | 689 | 100 | 338 | 336 | 99 | - | 4,515 | | - | 5,540 | |
| 堀金村 | 568 | 568 | 100 | 58 | 0 | 0 | - | 3,661 | | - | 4,229 | |
| 朝日村 | 567 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | - | 0 | | - | 0 | |
| 計 | 61,580 | 26,665 | 43 | 83,597 | 48,628 | 58 | - | 90,059 | | - | 165,352 | |

(単位 千m³/年)

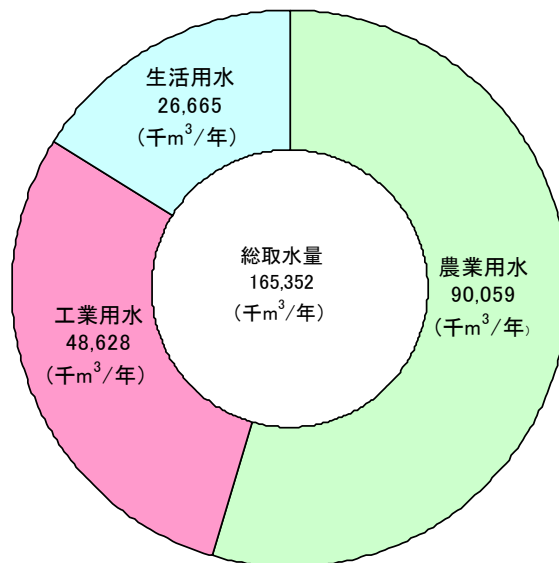


図-3.1.27 地下水取水量の用途別内訳（昭和60年）

※1 「信濃川水系長野県地域主要水系利水現況図」(国土庁土地局、S61.3)

※2 「地下水要覧」(地下水要覧編集委員会編集、S63.12)

4) 平成 16～17 年度※¹

対象範囲；安曇野市（旧豊科町、旧穂高町、旧三郷村、旧堀金村、旧明科町）

- ・調査はアンケートによる聞き取りで行い、個人、事業所、農業組合及び水道水源を対象として実施した。
- ・用途は表-3.1.11のとおりに区分した。
- ・調査を実施した井戸数は、安曇野市全域で計548ヶ所であった。そのうち、利用されている井戸は442ヶ所、利用されていない井戸が106ヶ所であった。
- ・調査結果による用途別の地下水利用量を表-3.1.12および図-3.1.28に示す。
- ・総利用量は年間の平均値で147,554m³/日で、調査を実施した冬期においては130,000m³/日程度と考えられる。
- ・養魚用の利用が多い。事業用及び水道用はともに1/4ずつで、残りを農業用、家庭用が占める。
- ・地域別では、穂高が約6割を占めている。豊科が約2割、堀金が約1割、明科、三郷と続く（図-3.1.29参照）。

表-3.1.11 用途の区分

| 用途区分 | 詳細用途 |
|------|--|
| 事業用 | 工業用(原料,製品処理,温調など), 建築物(水洗トイレ,飲用,冷暖房など) |
| 水道用 | 上水道水源用, 簡易水道水源用 |
| 農業用 | 水田かんがい用, 畑地かんがい用、畜産・養鶏用 |
| 養魚用 | 養殖用(ニジマス・いわな・鯉など) |
| 家庭用 | 一般家庭で利用するもの(飲用,洗濯,風呂,水洗トイレ,散水など) |

表-3.1.12 用途別の地下水利用状況（平成16・17年度）

| | 事業用 | 水道用 | 農業用 | 養魚用 | 家庭用 | 合計 |
|----|--------|--------|--------|--------|-----|---------|
| 豊科 | 12,792 | 14,358 | 381 | 1,844 | 311 | 29,686 |
| 穂高 | 12,639 | 13,582 | 13,541 | 47,623 | 141 | 87,526 |
| 三郷 | 963 | 1,808 | 73 | 0 | 0 | 2,844 |
| 堀金 | 11,226 | 3,332 | 1,942 | 0 | 10 | 16,510 |
| 明科 | 270 | 3,847 | 91 | 6,733 | 47 | 10,988 |
| 合計 | 37,890 | 36,927 | 16,028 | 56,200 | 509 | 147,554 |

※¹「平成18年度地下水実態調査報告書」（安曇野市水資源対策協議会、H19.5）

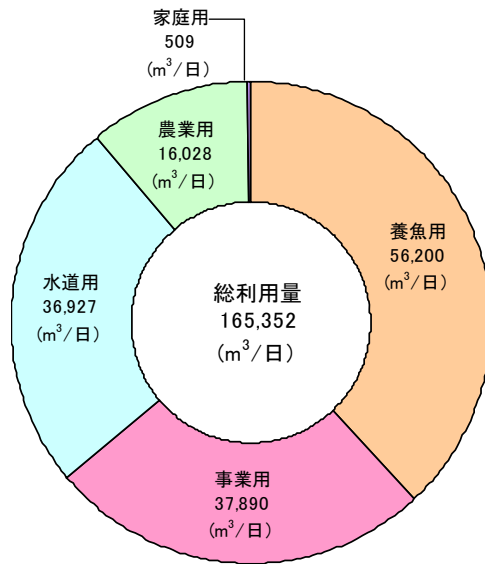


図-3.1.28 地下水利用量の用途別内訳（平成16・17年度）

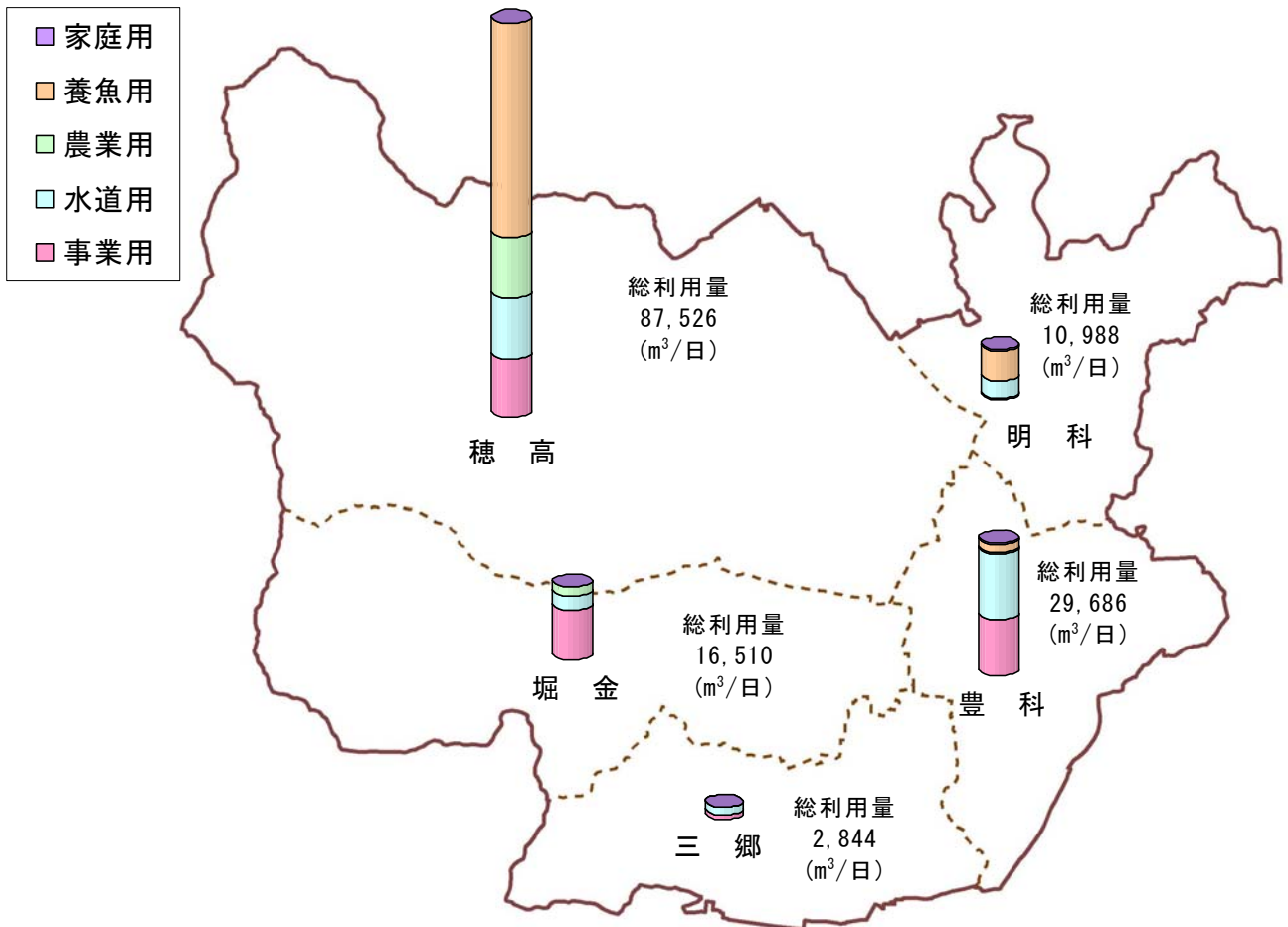
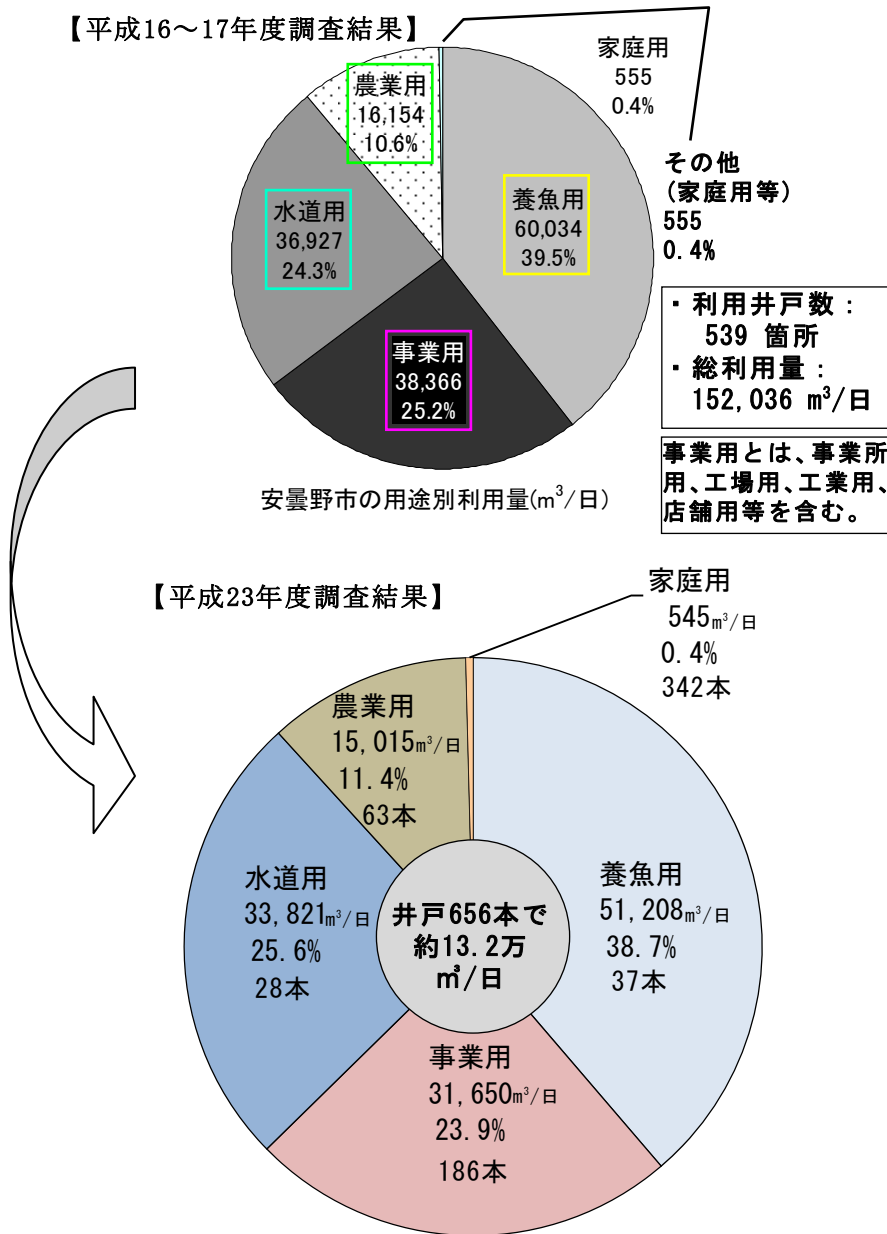


図-3.1.29 地域別地下水利用量（平成16・17年度）

5) 平成23年度※1

対象範囲；安曇野市（旧豊科町、旧穂高町、旧三郷村、旧堀金村、旧明科町）

- ・平成16～17年度に実施した調査の精度を高めることを目的に行われた。
- ・平成16～17年度の取水量と比較すれば、平成23年度の取水量は、図-3.1.30に示すとおりやや減少する。



- ※ 既往調査の取水量は、結果の見直し(用途の見直し)を行ったため、既往調査の結果とわずかに異なる。
- ※ 今回調査対象としていない水道用は、水道課からデータ提供を受け整理した値である。
- ※ 今回調査対象としていない家庭用は、既往調査の取水量とした(用途見直しのため、わずかな違いあり)

図-3.1.30 安曇野市における取水量変化

※1 「安曇野市地下水保全対策策定コンサルタント業務委託報告書」(安曇野市, H24/9)

(2) 湧水利用

三川合流点周辺には、“穂高湧水地帯”と呼ばれる大規模な地下水の湧出地帯がある。穂高湧水地帯の湧水は大王わさび農場をはじめとする大規模なわさび田に利用されているほか、養魚場に利用されている（表-3.1.13参照）。

1) 湧水の形態

当該地区では、山腹や低地部に自然発生する一般的な湧水はほとんど利用されていない。湧水と呼ばれるほとんどの地点では、図-3.1.31に示すように地下水面が現れるまで人工的に掘り込んだ「集水開渠」に近い利用方法がとられている。

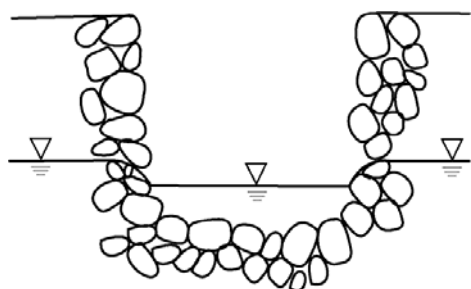


図-3.1.31 湧水（集水開渠）の構造

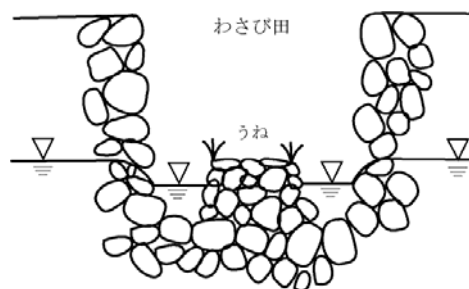


図-3.1.32 わさび田の構造

2) わさび田の湧水利用

わさびの生育のためには、一定の水温と良好な水質を有する水が豊富にあることが必要とされており、この条件を満たす水源としては地下水が適している。穂高湧水地帯の地下水は、わさび生育のために適当な一定の水温と良好な水質を有している。また、図-3.1.32に示すように掘り込み式の集水開渠の中にわさびの“うね”を作り、そこに集まる地下水が常に下流へと流下するに排水路を設置することにより、常に新鮮な地下水がわさび田の中を流れるような工夫がなされている。

3) 養魚場の湧水利用

当該地区では、主としてニジマスの養殖が行われている。水源としては井戸、または湧水が利用されているが、養殖には大量の水が必要となることから、主としてわさび田から排出される湧水が用いられている。このため、養魚池の多くはわさび田と隣接して設けられている。

表-3.1.13 わさび田と養魚池の状況※1

| | | 旧豊科町 | 旧明科町 | 旧穂高町 |
|------------------|------|---------|---------------------|----------------|
| わ さ び 田 | 畑の面積 | 25 ha | 2.5～3ha※2, 5ha※3 | 55ha |
| | 農家の数 | - | 6～7人 | 105軒 |
| | 生産高 | 2億6千万円 | - | 10億 |
| | 生産量 | 348 t/年 | 45 t/年 | 1155 t/年 |
| 養 魚 池 | 養魚池数 | - | - | 420面 |
| | 面積 | - | - | 5ha |
| | 養魚軒数 | - | - | 23軒 |
| | 生産高 | - | - | 12億 |
| | 生産量 | - | - | 2500 t/年 |
| 資料入手先 | | 町企画係 | ※2：振興課 ※3：現地聞き込み | 町 経済課 商工観光課 |

※1 「長野県南安曇地区地下水利用適正化調査報告書」（東京通商産業局、S60/3）

(3) 水道水源としての利用

犀川上流域において地下水を水源とする水道施設とその地下水利用量について、各市町村から資料を収集し、整理を行った。

表-3.1.14に地下水利用量データを収集・整理した水道施設の諸元を示す。また、図-3.1.32にそれらの位置図を示す。

地下水を水源とする水道施設は、安曇野市に34施設あり、全体の半分以上を占めている。次いで、池田町・松本市が6施設、松川村が4施設、大町市・塩尻市が1施設となっている。波田町、山形村、朝日村からは水道水源としての地下水利用はないとの回答を得た。

表-3.1.14(1) 犀川上流域で地下水を水源としている水道施設の諸元（その1）

| 市町村 | 水道施設名 | データ収集期間 | 取水深度 (G. L. m) | 出典 |
|------|---------|-------------|-------------------|------------------|
| 大町市 | 常盤中区配水池 | H19.4～H22.3 | | 大町市資料 “流量年報” |
| 松川村 | 松川村第1水源 | H18.4～H21.3 | 90 | 松川村資料 |
| | 松川村第2水源 | H18.4～H21.3 | 82 | |
| | 松川村第3水源 | H18.4～H21.3 | 130 | |
| | 松川村第4水源 | H18.4～H21.3 | 141 | |
| 池田町 | 池田町第1水源 | H21.2～H22.1 | | 池田町資料 |
| | 池田町第2水源 | H21.2～H22.1 | | |
| | 池田町第4水源 | H21.2～H22.1 | | |
| | 池田町第5水源 | H21.2～H22.1 | | |
| | 北の沢第1水源 | H21.2～H22.1 | | |
| | 北山ポンプ場 | H21.2～H22.1 | | |
| 安曇野市 | 堀金第1水源 | H16.4～H22.1 | | 安曇野市資料 “堀金月報” |
| | 堀金第2水源 | H16.4～H22.1 | | |
| | 堀金第3水源 | H16.4～H22.1 | | |
| | 堀金高区配水池 | H16.4～H22.1 | | |
| | 堀金中区配水池 | H16.4～H22.1 | | |
| | 堀金低区配水池 | H16.4～H22.1 | | |

表-3.1.14(2) 犀川上流域で地下水を水源としている水道施設の諸元（その2）

| 市町村 | 水道施設名 | データ収集期間 | 取水深度 (G. L. m) | 出典 |
|--------------|-------------|-------------|-------------------|---------------------|
| 安曇野市 (続き) | 真々部第1井戸 | H20.3～H22.1 | | 安曇野市資料 “豊科取水量月報” |
| | 真々部第2井戸 | H20.3～H22.1 | | |
| | 真々部第3井戸 | H20.3～H22.1 | | |
| | 成相水源 | H20.3～H22.1 | | |
| | 高家1号井戸 | H20.3～H22.1 | | |
| | 飯田水源 | H20.3～H22.1 | | |
| | 上鳥羽水源 | H20.3～H22.1 | | |
| | 真々部第2水源 | H20.3～H22.1 | | |
| | 南部水源 | H20.3～H22.1 | | |
| | 熊倉水源 | H20.3～H22.1 | | |
| | 上長尾第2水源地 | H10.6～H22.1 | | 安曇野市資料 “三郷月報” |
| | 上長尾第1水源地 | H10.6～H22.1 | | |
| | 野沢 | H10.6～H22.1 | | |
| | 上原水源1号井 | H20.7～H22.1 | | 安曇野市資料 “穂高配水日報” |
| | 上原水源2号井 | H20.7～H22.1 | | |
| | 上原水源3号井 | H20.7～H22.1 | | |
| | 上原水源4号井 | H20.7～H22.1 | | |
| | 上原水源5号/6号井 | H20.7～H22.1 | | |
| | 豊里水源1号井 | H20.7～H22.1 | | |
| | 豊里水源2号井 | H20.7～H22.1 | | |
| | 豊里水源3号井 | H20.7～H22.1 | | |
| | 久保田 | H20.7～H22.1 | | |
| | 宮城水源池 | H20.7～H22.1 | | |
| | 明科第2水源池 | H18.9～H22.1 | | 安曇野市資料 “明科月報” |
| | 川東低区配水池 | H18.9～H22.1 | | |
| | 明科第3水源池 | H18.9～H22.1 | | |
| | 川西低区配水池 | H18.9～H22.1 | | |
| 明科光配水池 | H18.9～H22.1 | | | |
| 松本市 | 島内第2水源地 | H12.4～H21.3 | | 松本市資料 |
| | 源地水源地 | H12.4～H21.3 | | |
| | 島内第1水源地 | H12.4～H21.3 | | |
| | 大久保第1水源地 | H12.4～H21.3 | | |
| | 大久保第2水源地 | H12.4～H21.3 | | |
| | 芳野町第2水源地 | H12.4～H21.3 | | |
| 塩尻市 | 片丘深井戸 | H16.4～H22.1 | | 塩尻市資料 |

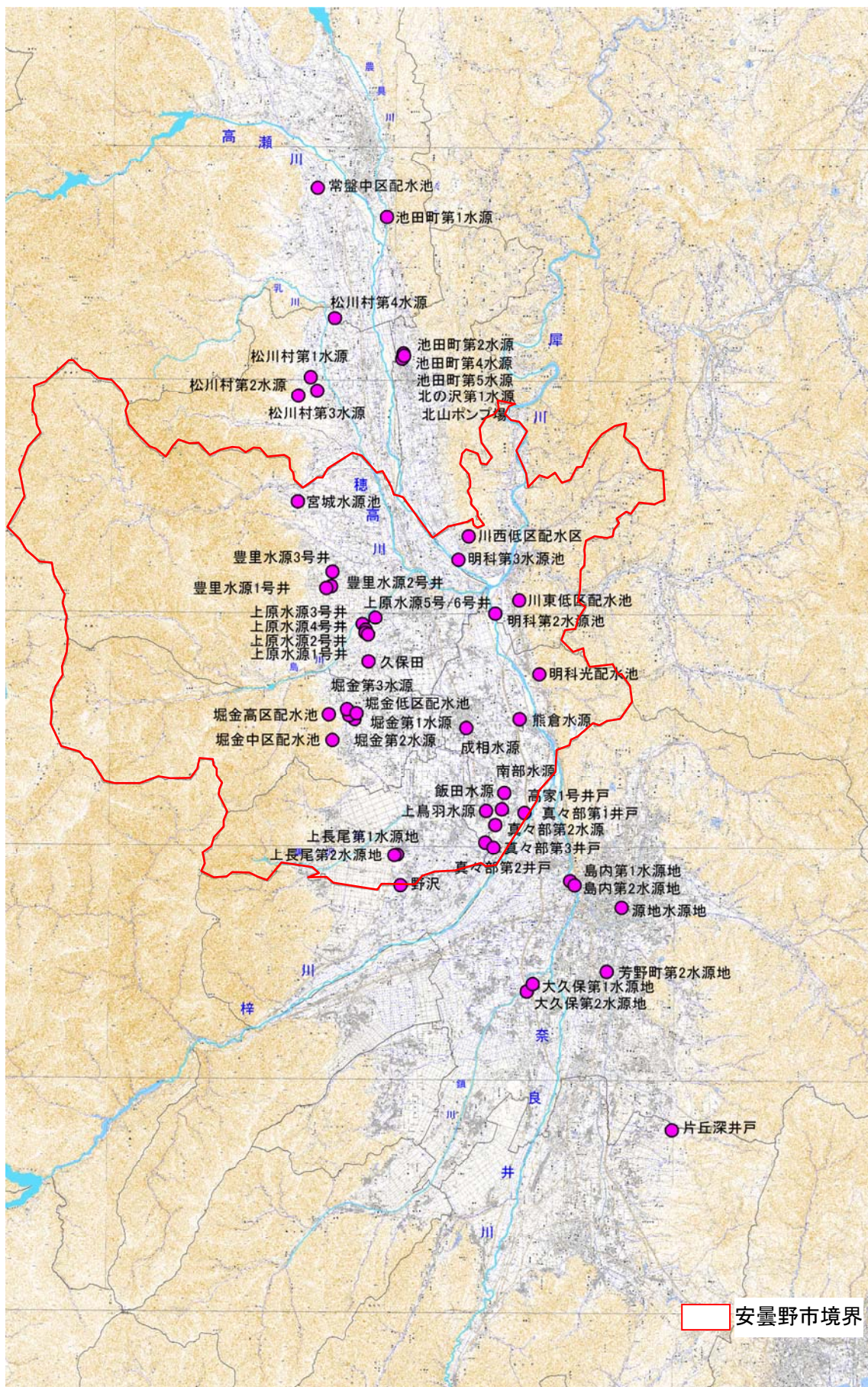


図-3.1.32 犀川上流域で地下水を水源としている水道施設の位置図

図-3.1.33に収集した各施設の地下水利用量データを基に作成した地下水利用量の年間変化の一例を示す。また、同図を基に作成した直近10年間の各施設の年平均日取水量を表-3.1.15に整理した。さらに、図-3.1.34に各施設の平均日取水量を地点図として整理した。これらより、水道水源としての地下水利用の状況は以下のとおり、整理される。

水道水源としての地下水利用の状況

- ・地下水利用量の年間変化には際だった傾向が見られず、基本的に一年を通じて安定した利用が行われている。
- ・地下水を水源とする水道施設は、安曇野市西側の烏川周辺の山沿い、安曇野市南側の梓川左岸に多く集中している。
- ・対象とした52施設を合計すると日取水量は約61,400m³/日、年間取水量は2,240万m³/年となる。

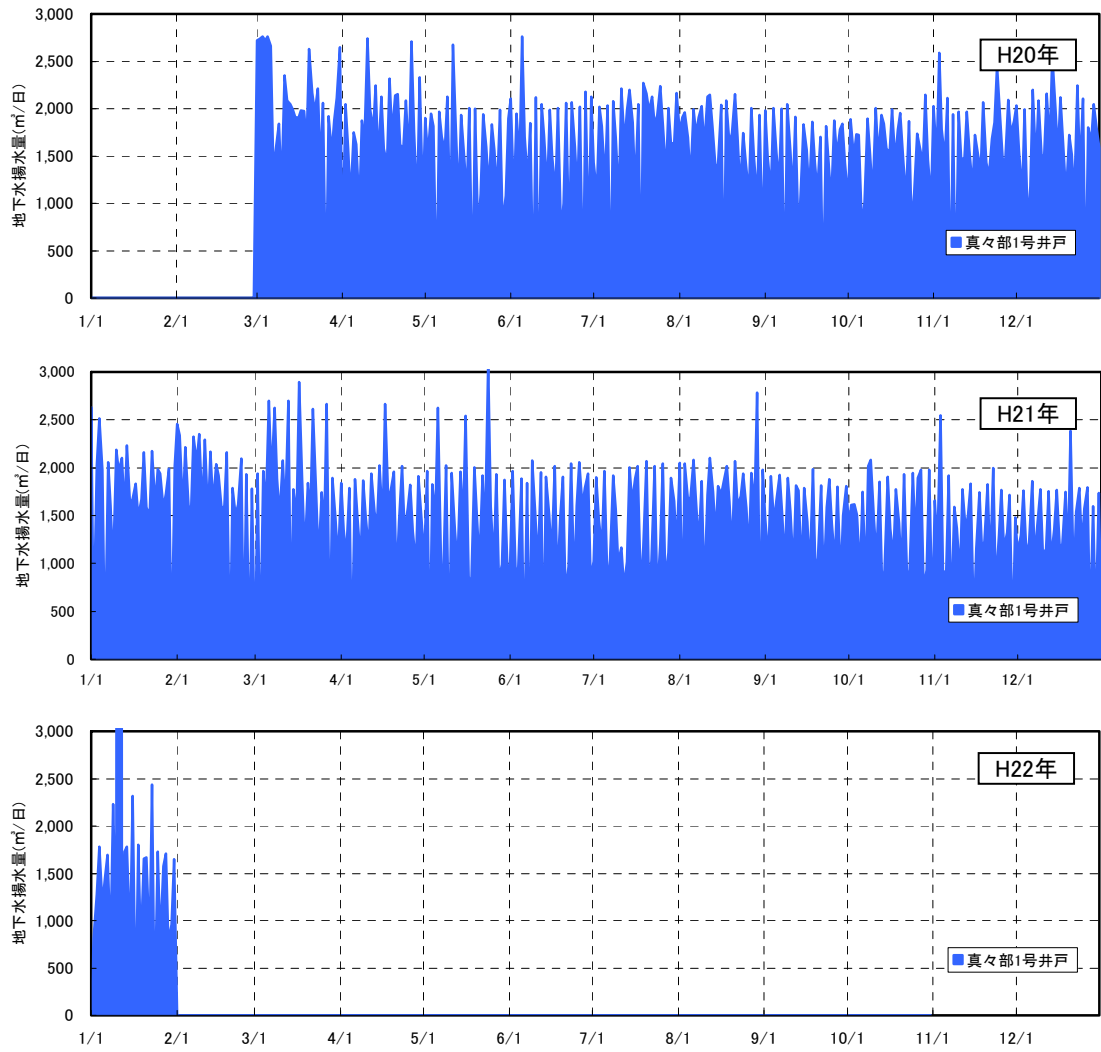


図-3.1.33 地下水利用量の年間変化（安曇野市真々部第一井戸の場合）

表-3.1.15 年平均日取水量（直近10年間）

| 市町村 | 水道施設名 | H13 | H14 | H15 | H16 | H17 | H18 | H19 | H20 | H21 | H22 |
|---------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 大町市 | 常盤中区配水池 | - | - | - | - | - | - | 68 | 28 | 32 | 27 |
| 松川村 | 松川村第1水源 | - | - | - | - | - | 471 | 464 | 469 | 460 | - |
| | 松川村第2水源 | - | - | - | - | - | 314 | 309 | 313 | 306 | - |
| | 松川村第3水源 | - | - | - | - | - | 262 | 258 | 261 | 255 | - |
| | 松川村第4水源 | - | - | - | - | - | 1,375 | 1,310 | 1,269 | 1,356 | - |
| 池田町 | 池田町第1水源 | - | - | - | - | - | - | - | - | 536 | 201 |
| | 池田町第2水源 | - | - | - | - | - | - | - | - | 295 | 331 |
| | 池田町第4水源 | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,014 | 1,180 |
| | 池田町第5水源 | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,554 | 1,591 |
| | 北の沢第1水源 | - | - | - | - | - | - | - | - | 35 | 26 |
| | 北の沢第2水源 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | 北山ポンプ場 | - | - | - | - | - | - | - | - | 35 | 26 |
| 安曇野市 | 堀金第1水源 | - | - | - | 1,540 | 1,547 | 1,390 | 1,396 | 1,411 | 1,436 | 1,512 |
| | 堀金第2水源 | - | - | - | 177 | 211 | 88 | 135 | 219 | 294 | 144 |
| | 堀金第3水源 | - | - | - | 1,662 | 1,674 | 1,496 | 1,513 | 1,520 | 1,410 | 1,421 |
| | 堀金高区配水池 | - | - | - | 445 | 794 | 631 | 600 | 677 | 670 | 661 |
| | 堀金中区配水池 | - | - | - | 618 | 744 | 667 | 591 | 579 | 520 | 590 |
| | 堀金低区配水池 | - | - | - | 1,914 | 1,818 | 1,787 | 1,838 | 1,875 | 1,859 | 1,813 |
| | 真々部第1井戸 | - | - | - | - | - | - | - | 1,626 | 1,487 | 2,788 |
| | 真々部第2井戸 | - | - | - | - | - | - | - | 1,283 | 1,238 | 2,447 |
| | 真々部第3井戸 | - | - | - | - | - | - | - | 2,198 | 1,987 | 3,423 |
| | 成相水源 | - | - | - | - | - | - | - | 1,867 | 1,831 | 3,649 |
| | 高家1号井戸 | - | - | - | - | - | - | - | 688 | 814 | 1,165 |
| | 飯田水源 | - | - | - | - | - | - | - | 550 | 448 | 1,731 |
| | 上鳥羽水源 | - | - | - | - | - | - | - | 735 | 819 | 1,648 |
| | 真々部第2水源 | - | - | - | - | - | - | - | 258 | 126 | 1,428 |
| | 南部水源 | - | - | - | - | - | - | - | 602 | 465 | 1,224 |
| | 熊倉水源 | - | - | - | - | - | - | - | 940 | 795 | 1,648 |
| | 上長尾第2水源 | 84 | 150 | 237 | 381 | 342 | 257 | 373 | 465 | 679 | 539 |
| | 上長尾第1水源 | 413 | 295 | 353 | 584 | 624 | 826 | 733 | 801 | 663 | 800 |
| | 野沢 | 297 | 197 | 109 | 444 | 605 | 607 | 575 | 55 | 810 | 761 |
| | 上原水源1号井 | - | - | - | - | - | - | - | 919 | 894 | 971 |
| | 上原水源2号井 | - | - | - | - | - | - | - | 1,183 | 1,154 | 1,248 |
| | 上原水源3号井 | - | - | - | - | - | - | - | 2,238 | 2,011 | 2,299 |
| | 上原水源4号井 | - | - | - | - | - | - | - | 2,310 | 2,272 | 2,280 |
| | 上原水源5号/6号井 | - | - | - | - | - | - | - | 1,944 | 2,113 | 2,362 |
| | 豊里水源1号井 | - | - | - | - | - | - | - | 373 | 914 | 558 |
| | 豊里水源2号井 | - | - | - | - | - | - | - | 777 | 899 | 1,622 |
| | 豊里水源3号井 | - | - | - | - | - | - | - | 1,474 | 757 | 426 |
| | 久保田 | - | - | - | - | - | - | - | 1,376 | 1,279 | 1,356 |
| | 宮城水源池 | - | - | - | - | - | - | - | 453 | 426 | 494 |
| | 明科第2水源池 | - | - | - | - | - | 2,409 | 2,443 | 2,422 | 2,385 | 2,291 |
| 川東低区配水池 | - | - | - | - | - | 2,411 | 2,442 | 2,441 | 2,357 | 2,270 | |
| 明科第3水源池 | - | - | - | - | - | 2,635 | 2,711 | 2,628 | 2,468 | 2,489 | |
| 川西低区配水区 | - | - | - | - | - | 2,332 | 2,387 | 2,368 | 2,264 | 2,269 | |
| 明科光配水池 | - | - | - | - | - | 18 | 55 | 14 | 8 | 21 | |
| 松本市 | 島内第2水源 | 4,119 | 3,168 | 3,002 | 2,995 | 2,744 | 2,570 | 2,141 | 2,426 | 1,768 | - |
| | 源地水源 | 754 | 804 | 772 | 707 | 595 | 548 | 500 | 571 | 416 | - |
| | 島内第1水源 | 7,044 | 6,856 | 6,533 | 6,090 | 5,600 | 6,135 | 4,847 | 4,962 | 2,928 | - |
| | 大久保第1水源 | 2,426 | 2,372 | 2,171 | 1,834 | 1,848 | 1,938 | 1,763 | 2,080 | 1,771 | - |
| | 大久保第2水源 | 2,101 | 2,082 | 1,971 | 1,652 | 1,601 | 997 | 1,629 | 2,054 | 1,750 | - |
| | 芳野町第2水源 | 1,488 | 1,306 | 1,356 | 1,366 | 1,314 | 968 | 1,542 | 1,529 | 1,449 | - |
| 塩尻市 | 片丘深井戸 | - | - | - | - | 32 | 18 | 36 | 22 | 5 | 5 |

(m³/日)

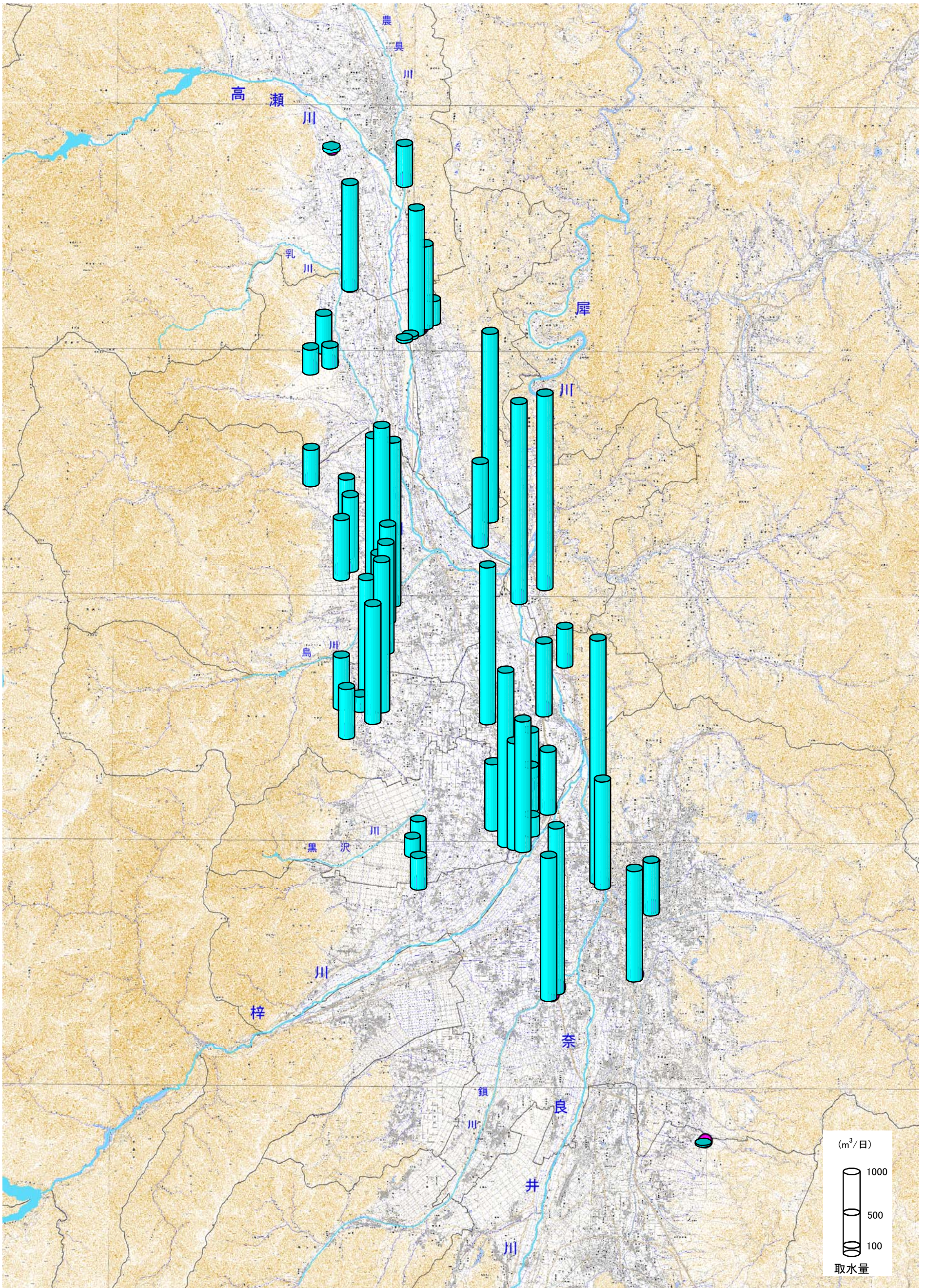


図-3.1.34 各施設の平均日取水量

3.1.9 水田湛水実験データ

安曇野市から以下のデータの提供を受けた。

①水田における麦後湛水事業の状況について（転作田湛水）

②ふゆ水田んぼ検証試験経過について（H23年～H24年）

- ①によれば、5箇所における減水深は、18.3～31.9mm/日（平均26.4mm/日）としている（図-3.1.35参照、資料の減水深は浸透高に相当し、これに蒸発高を加算したものを減水深とみなした）。
- ②によれば、2.1～14.8mm/日（平均11.3mm/日）となる（図-3.1.36参照、ヒアリングの結果、11月中旬～3月末日まで湛水したとのことなので、135日間湛水とみなし、灌水量を面積と湛水日数で除したものを減水深とした）。

なお、国土交通省千曲川河川事務所によれば、水利権に係る減水深の現地調査結果を収集・整理し、それらを参考に地域毎の減水深を設定しており、本地域の減水深は、31～54mm/日の範囲にある（図-3.1.37参照）。

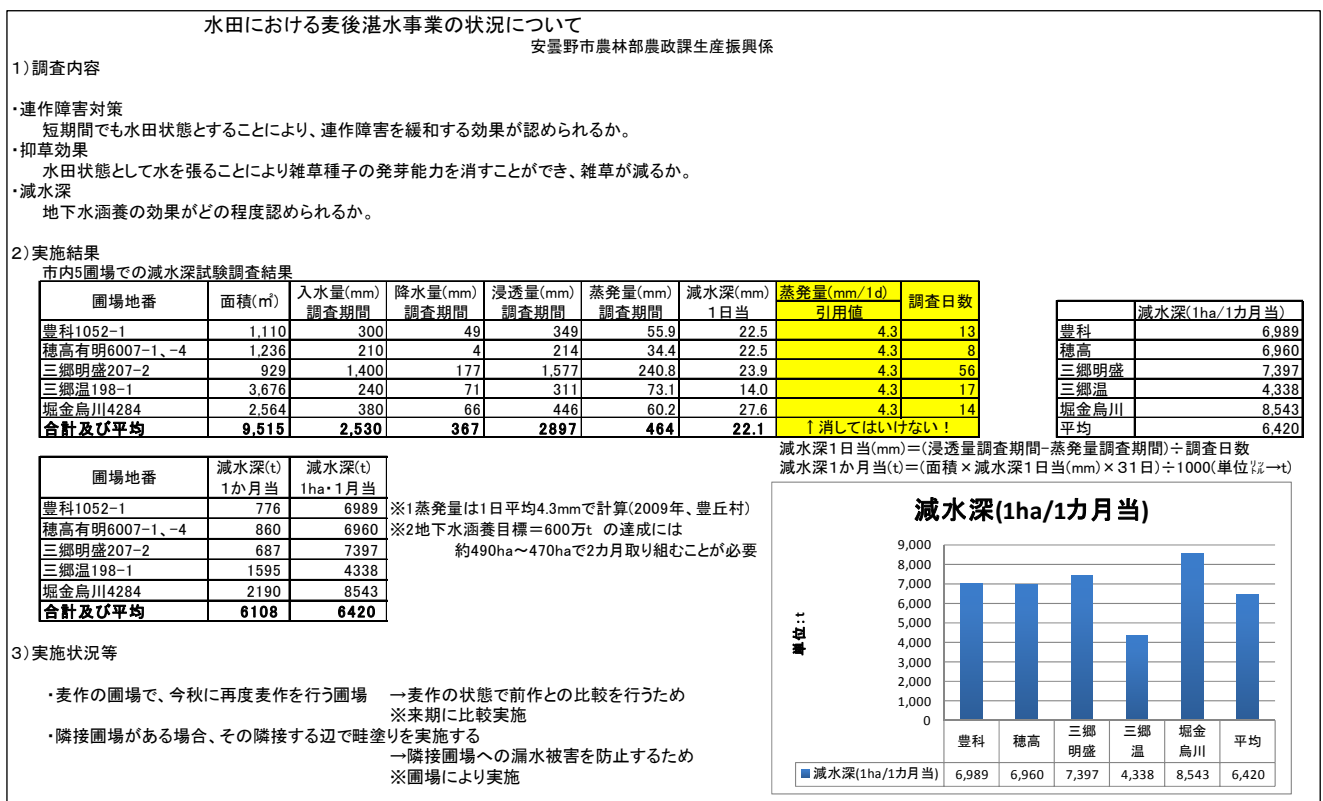


図-3.1.35 転作田湛水の結果(安曇野市提供データ)

ふゆ水田んぼ検証試験経過について (H23年~H24年)

1.目的
安曇野市の米販売価格を上昇させ、生産者所得の向上を狙う。そのため、ふゆ水田んぼ検証試験では米の味及び収量等にどのような影響があるのか、また土壌など栽培環境にはどのような影響があるのか試験・調査する。
更に、環境面の影響を考慮し、減水深・土壌中のイトミミズ・野鳥の飛来数と種類について調査し、冬季の水田状態維持にかかる労力も調査する。

2.方法
市内に下記のとおり5試験圃を設定し、調査する。試験圃は下記のとおり。

| 圃場地番 | 圃場面積(m ²) |
|-------------------------|-----------------------|
| 豊科 安曇野市豊科1917 | 2,998 |
| 穂高 有明 安曇野市穂高有明1456-1 | 3,310 |
| 穂高 牧 安曇野市穂高牧1075-1,1078 | 6,182 |
| 堀金 安曇野市堀金烏川4574 | 4,214 |
| 明科 安曇野市明科七貴7007 | 1,000 |

味 玄米を各生産者に提供して頂きJAIに依頼し、調査する。
 収量 生産者自身が収量を把握できる方に依頼し、調査する。
 隣接地への影響 生産者に依頼し、隣接圃場の作物等に影響があるか調査する。
 土壌 各生産者圃場より採取し、JAの分析機にて調査する。
 葉の腐熟 次作時に水田でガス(メタン等)が沸いていないか、障害を与えないか調査する。
 減水深 圃場に目盛りを取り付け、その減り方と面積から調査する。
 イトミミズ 栽培中に筒状の調査器具(直径約10cm)を深さ15cmまで挿し土壌毎採取して調査する。
 野鳥飛来数 灌水管理を行う生産者に依頼し、管理作業時の飛来野鳥を調査する。
 労力 生産者に管理記録を依頼し、調査する。

3.結果・考察

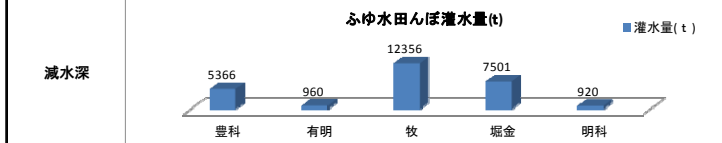
| 味 | 試験圃場 | | 対象(JAあづみデータより) | |
|-----------|---------|---------|----------------|---------|
| | H22年産平均 | H23年産平均 | 平均(過去2年) | JAあづみ目標 |
| 蛋白(%) | 6.7 | 7.2 | 6.6 | 6.0以下 |
| アミロース(%) | 18.8 | 18.7 | 19.9 | 20.0以下 |
| スコア(85点中) | 72.4 | 69.6 | 72.9 | 68以上 |

ふゆ水田んぼ実施前(H22年)と実施後では実施後の方が良くないが、ふゆ水田んぼに限らず全体的な傾向としてH23年産は良くないため判断が難しい。
平成22年平均(598kg)に対し、平成23年平均は607kgと微増となった。

隣接地への影響 豊科地域試験圃場では、幾度かの水漏れがあったが、多作物は無かったため被害を出すことは無かった。今年は堀金地区で約900羽もの白鳥が飛来したことが確認された。最も多い日には約100羽もの白鳥が集まり、狭く感じたのか付近の田畑にも入る様子が確認された。

土壌 H22年の分析結果と変わるところは無かった。

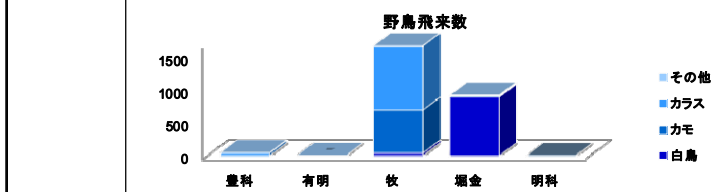
葉の腐熟 稲葉の投入量は明科以外は全量、明科は3分の2の投入量で実施した。腐熟の度合いは通常と大差ないが、春先に水面に浮いている葉は少なめになっているように感じた。また、若干「ドブ臭い」という報告があった。春先、若干ガスが沸いているのではという報告もあった。おそらく葉が水中で嫌気発酵し、メタンガス等が発生させたものと思われる。



| 減水深 | 灌水量(t) | | 備考 |
|-----|--------|-------------|-------------------|
| | 灌水量(t) | 1㎡当たり浸透量(t) | |
| 豊科 | 5,366 | 1.79 | 大半は積雪の下 一時水路凍結 |
| 有明 | 960 | 0.29 | |
| 牧 | 12,356 | 2.00 | |
| 堀金 | 7,501 | 1.78 | |
| 明科 | 920 | 0.92 | |

今シーズンは例年に比して冷え込んだ日が多く、標高の高い有明の圃場では凍結・積雪により非常に小さい値となった。
対して豊科地区・堀金地区・新規で設けた牧地区は凍結しても比較的溶けやすく、積雪が少なかったことから水を入れられる日が多かったことが今回の結果に出ている。

イトミミズ 夏季にイトミミズの調査を全圃場で行ったが、どの圃場でもイトミミズは発見できなかった。



| 野鳥飛来数 | 内訳 | |
|-------|------|-------------------------|
| | 羽数 | 内訳 |
| 豊科 | 45 | カラス41・トビ4 |
| 有明 | 2 | サギ2 |
| 牧 | 1668 | カラス974・カモ652・白鳥42 |
| 堀金 | 921 | カラス3・トビ6・白鳥893・カモ17・不明2 |
| 明科 | 0 | (鹿の足跡あり) |

牧地区は不耕起が影響したのか、カラス・カモが非常に多く集まった。観察した時の様子では、エサを探しにきたというより水遊びに来たという印象であった。ただ、凍結している時でも若干減るものの野鳥はいたとのこと。
堀金地区は2月中旬を中心に、1月~3月に渡り白鳥が飛来した。特に2月中旬の10日間には約400羽が飛来し、試験圃場では狭く感じたのか付近の田畑に入る姿も見られた。その他の地域はほとんど野鳥は見られず、昨年白鳥が飛来した豊科地区には今回は飛来しなかった。心配された食害は確認されず。

労力 ほとんどの圃場で、週2回~10日に2回程度の管理を行った。
秋起こし・秋代を行う場合は労力が余計にかかる。
漏水のある豊科地区では畦シートを設置した。
水路の維持管理に労力がかかり、冬季は水量が少ないために落ち葉等のゴミによってしばしば過水が止まってしまうことがあった。

その他、実施中に見られたことは下記のとおり。
・水利権の問題
・明科試験圃場では、畦に張っていた防草シートがはがれた。圃場への灌水量が多く、深水状態にあったため風と波の影響によりはがれたものと思われる。昨年度視察した新潟県頸城区でも風・波対策は課題に挙がっていたが、安曇野の圃場は小さいため影響は小さいと考えていた。他の試験圃場では明らかな問題は無いものの、畦はしっかり塗るなど対策を行った方がよいかもしれない。

図-3.1.36 ふゆ水田んぼの結果(安曇野市提供データ)

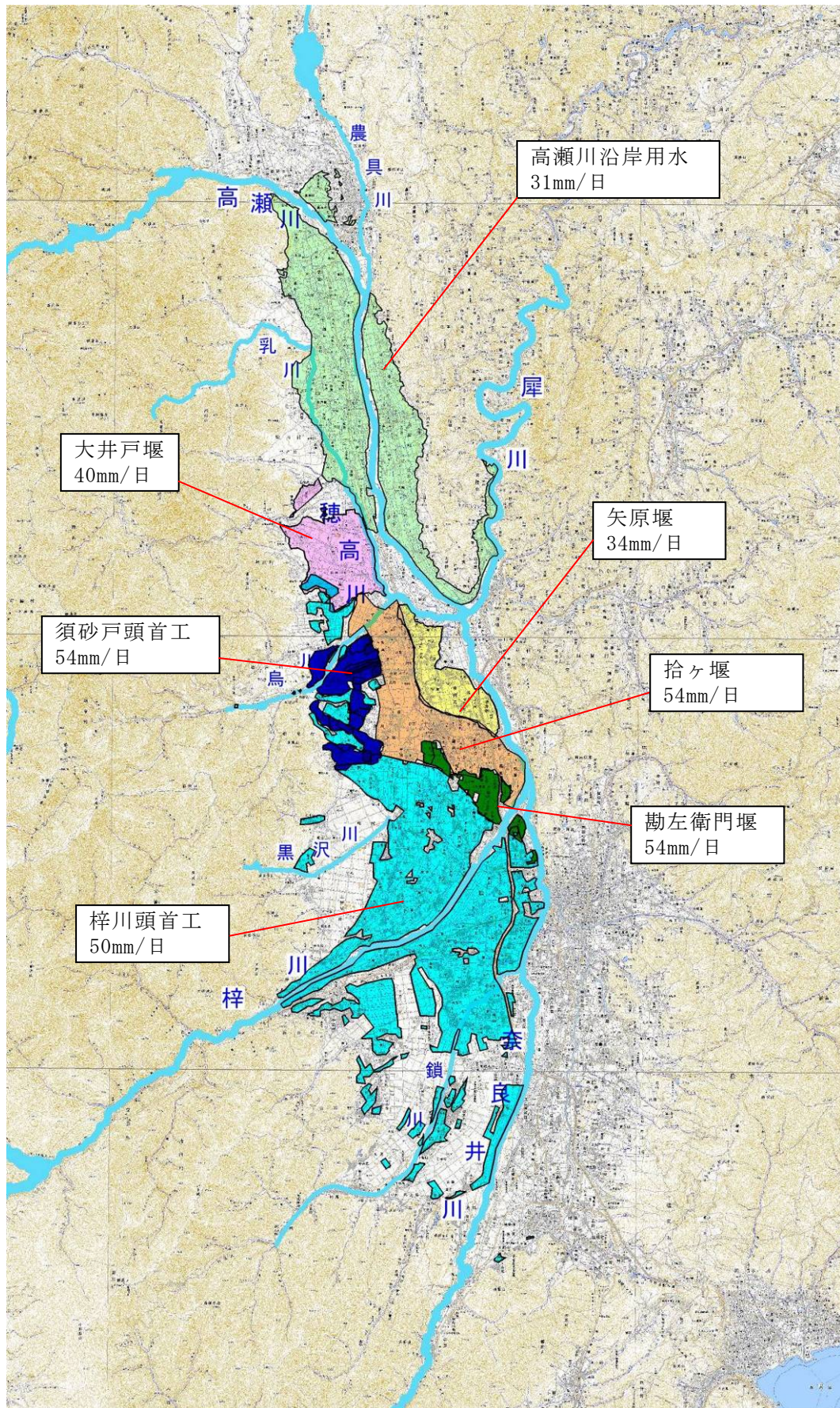


図-3.1.37 松本盆地の農業用水の主要取水口別灌漑範囲と普通灌漑期の減水深
「犀川上流域水環境検討業務」(国土交通省、H22/3)

3.2 実証試験データの整理

3.2.1 実証試験サイトの概要

研究対象地域となる信州大学工学部(北緯36度37分53秒、東経138度11分20秒)の位置を図-3.2.1に示す。

導入サイトが位置する長野市市街地の標高は概ね350m程度であり、周囲を標高1,000~2,000m級の山地に囲まれている。これら山地に抱かれた善光寺平と呼ばれる長野盆地の中央よりやや西側付近に導入サイトは位置する。

長野盆地は当該地域を南から北へ貫流する千曲川やその支川となる犀川、裾花川等の河川により形成された沖積低地で、沖積層は千曲川とその支川の現河床および氾濫原堆積層と新期扇状地堆積物からなり、いずれも砂礫層を主とし、砂やシルトを挟む互層の地層である。

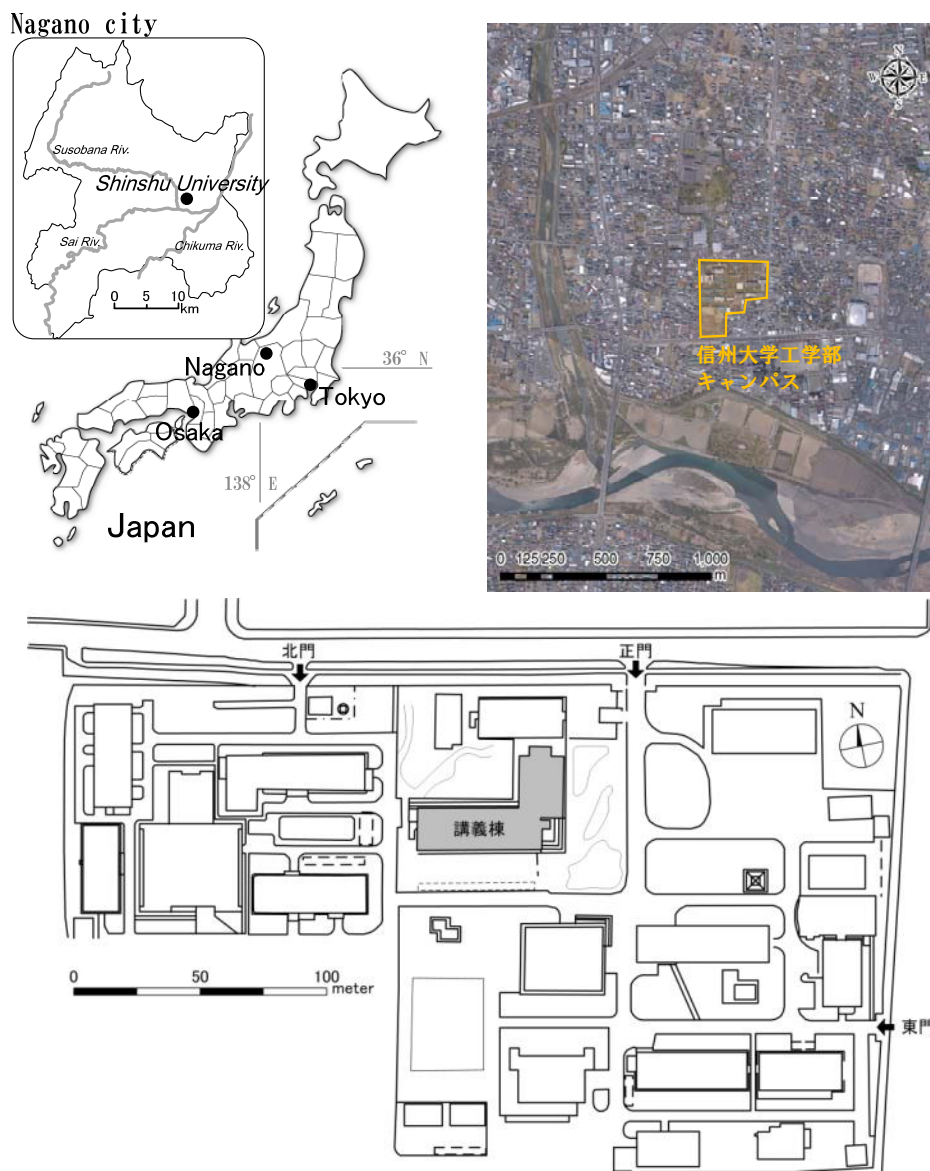


図-3.2.1 導入サイト位置図

長野市の気象と消費電力の特徴について概説する。長野市は日本でも寒冷な地域にあたるが、夏は標高の割に日中の気温が高く、最高気温が30℃以上に上昇する日が年間50日程度ある。ヒートアイランド現象も顕在化し、問題となっている。一方、冬には氷点下となる日が年間100日程度あり、日本国内の他地域に比べ寒暖の差が激しい。また、図-3.2.2に示すように、特に冬場のエネルギー需要が多いことが長野市の特徴である。

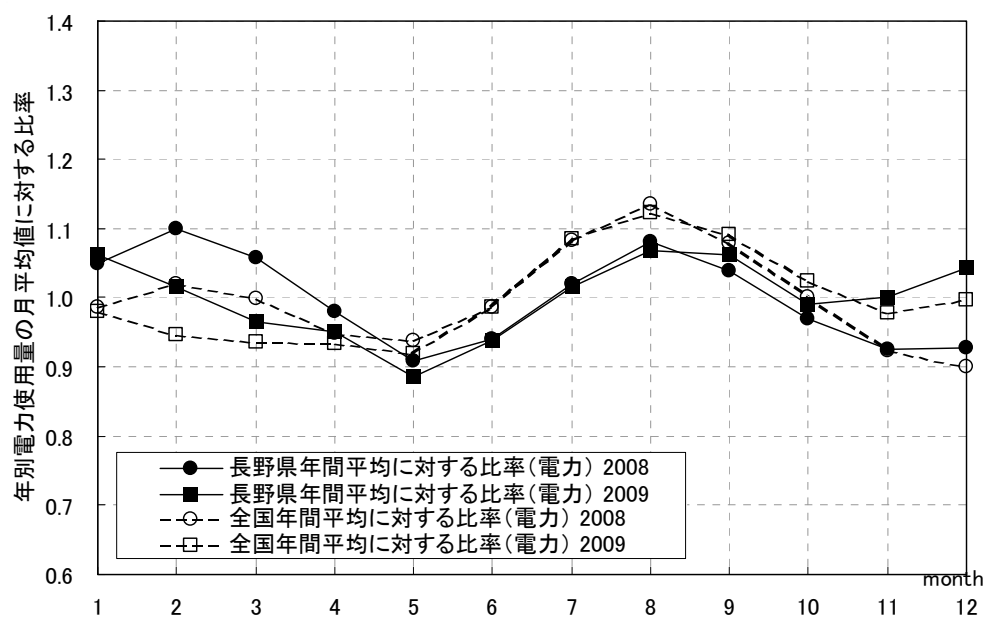


図- 3.2.2 長野県の年間電力消費の実態

3.2.2 原位置調査から把握された地下水特性

(1) 調査孔の層序

前述した「次世代型ヒートポンプシステム研究開発『地下水制御型高効率ヒートポンプ空調システムの研究開発』」（以降、NEDOプロジェクトと呼ぶ）において、地盤構造を明らかにするため、オールコアボーリング（φ66mm、DL-75m）と電気検層を行っている。

調査結果から把握した対象位置における層序の模式図と電気検層結果を図-3.2.3に示す。これより、砂礫層が地表面から8.1m～40.8m（層厚31.7m）と43.5m～64.7m（層厚21.2m）、また66.0m以深に存在し、各層は数メートルの厚さの粘土層で分離されていることがわかる。以降、各砂礫層で構成される帯水層のうち、上方を第一帯水層、中間を第二帯水層、下方を第三帯水層と呼ぶ。なお、地表面直下には層厚8m程度の粘土層が確認できる。このため、揚水した地下水の帯水層への還元を原位置で行う際に、地表面からの人工涵養は困難であることがわかった。

層序が明らかになったことから、調査孔・観測孔を図-3.2.4に示すとおり設置した。このうち、C1孔、C2孔、D1孔、D2孔は空調システムで揚水井、注水位としてまたシステム稼働中はA1孔、A2孔、A3孔、B孔、E1孔、E2孔を観測用井戸としてそれぞれ用いている。さらに、B孔を中心とする半径約3.8mの同心円上にA孔群を配置した。このうちA3孔がオールコアボーリングを実施した調査孔である。各調査孔名の数字は、それぞれが対象とする帯水層の番号を指す（例えば、A1孔は第一帯水層を対象とする）。

NEDOプロジェクトにおいて、これら井戸を用いて各帯水層別の地下水、地下水質、流向、流速、揚水試験等の各種調査を実施している。

本実証試験に伴い設置した井戸群の設置範囲で想定される地質断面図を図-3.2.5に示す。図に示すとおり、3つの帯水層が連続して存在することが想定される。

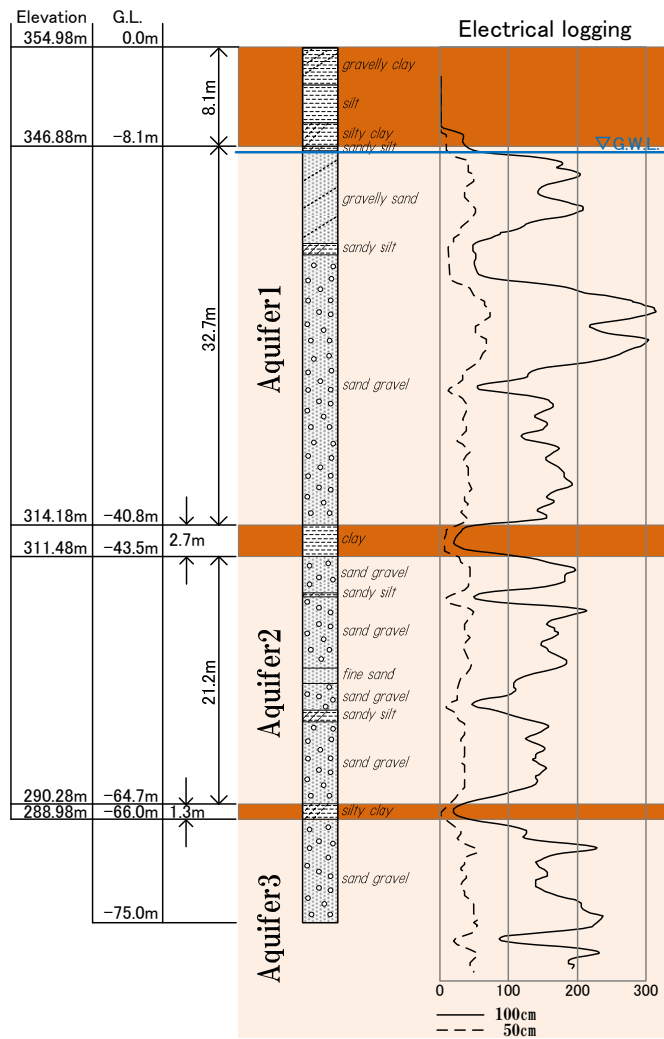


図- 3.2.3 オールコアボーリングおよび電気検層結果

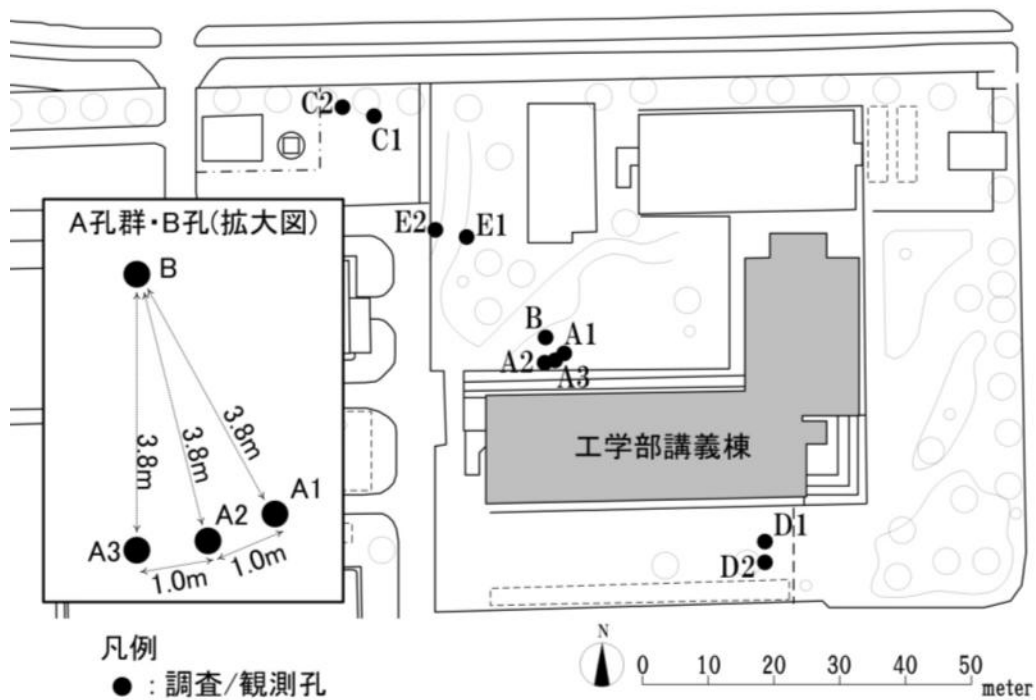


図- 3.2.4 調査孔、観測孔の位置図

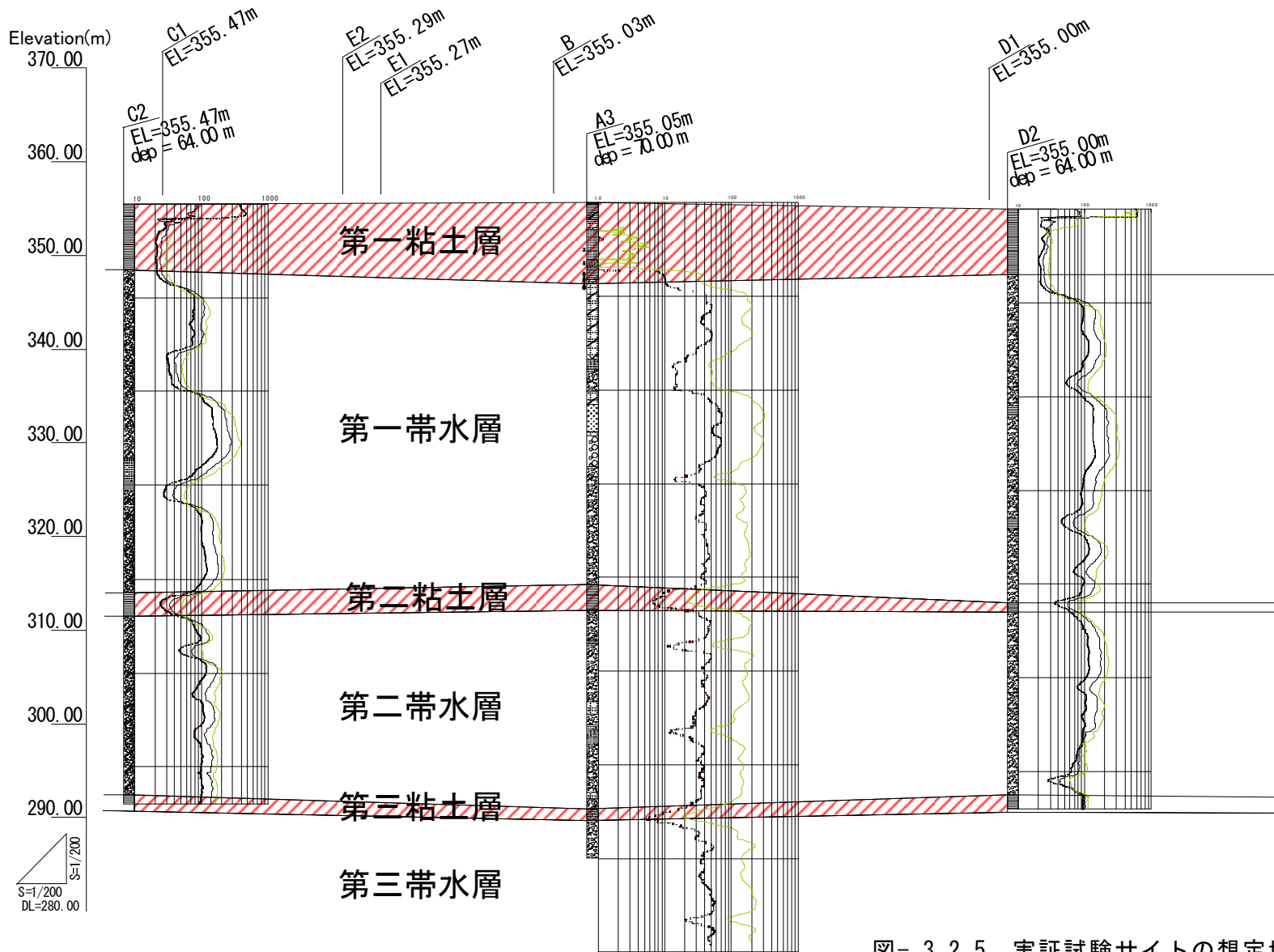


図- 3.2.5 実証試験サイトの想定地質断面図

(2) 地下水位の概要

NEDOプロジェクトにおける調査の一環で、観測井A1孔、A2孔、A3孔には間隙水圧計を埋設し、地下水位のモニタリングが行われている。2010年12月29日から2011年1月4日までの6日間の観測水位を図- 3.2.5に示す。

モニタリング結果から、第一帯水層の地下水位は、標高345.5m程度であり、表層の粘土層は不飽和状態で、不圧地下水面を持つことがわかる。一方、被圧されている第二帯水層と第三帯水層のピエゾ水頭は、第一帯水層よりも第二帯水層で約20cm、第三帯水層で約50cmそれぞれ低いことが確認できる。

地下水位については実証試験期間中で継続観測しており、観測結果については後述する。

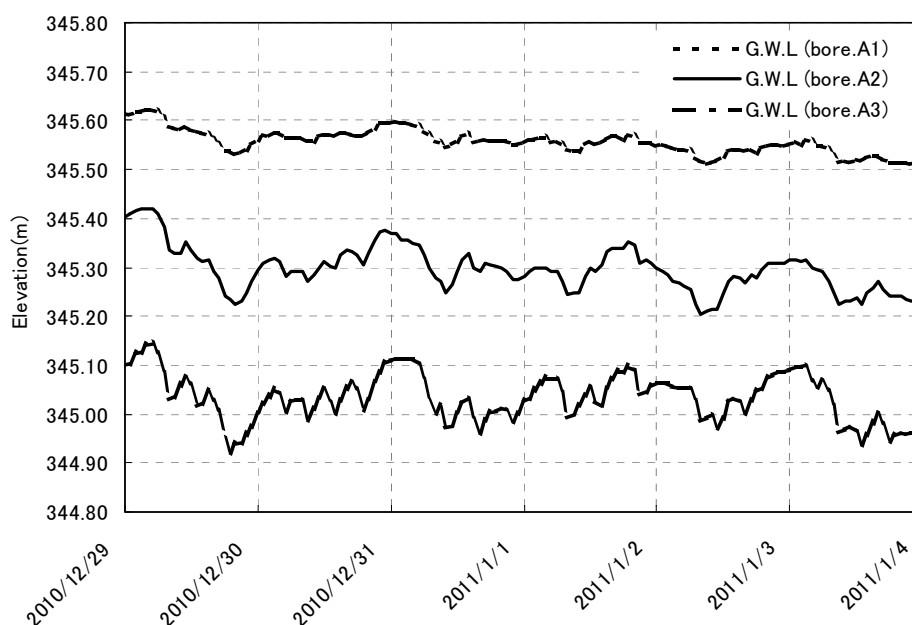


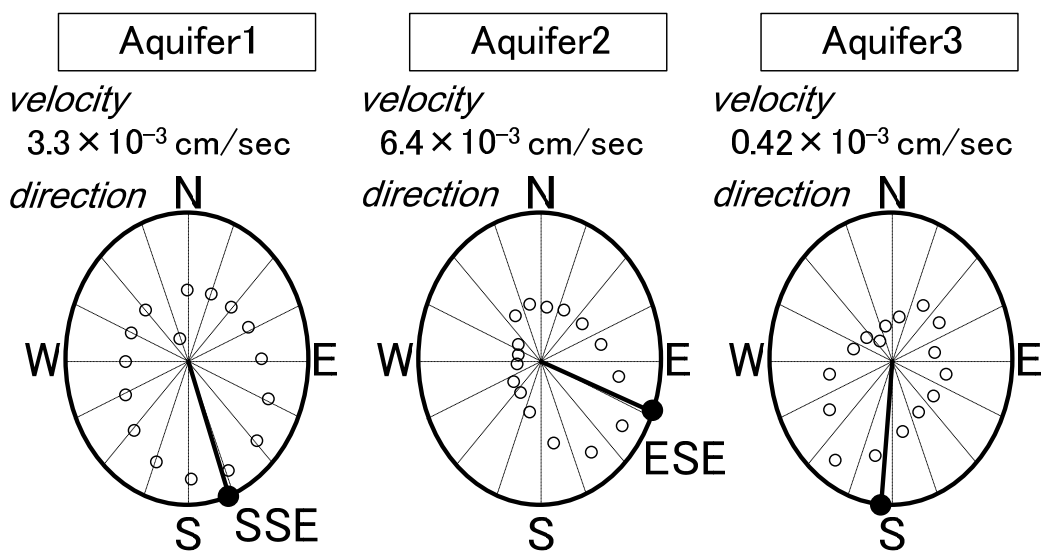
図- 3.2.6 帯水層別観測地下水位

(3) 地下水流向流速試験の結果

地下水の流動状況を把握するため、観測井A1孔、A2孔、A3孔において流向流速試験が実施された。

測定器は井戸内部に設置する測定器本体中心部にヒータがあり、その周囲に配置された温度センサーの温度分布をsinカーブ近似し、その極大値をとる方位を地下水の流向を評価するものとなる。流速の測定範囲は、 $0.01 \sim 1.0 \text{ cm/min}$ ($0.17 \times 10^{-3} \sim 16.67 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$)である。

試験の結果、図- 3.2.7に示すとおり、A1孔内地下水（第一帯水層）は流速 $3.3 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ で南南東へ流下、A2孔（第二帯水層）では流速 $6.4 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ で東南東へ流下、A3孔（第三帯水層）は測定器の測定可能範囲の下限に近い値となっており、他帯水層と比べて顕著な流動は見られないことがそれぞれわかった。



試験日2011/1/5

図- 3.2.7 帯水層別地下水の流速と流向

(4) 地下水温の概要

システム導入前の事前調査で、各帯水層において自然状態の地下水温を観測しており、この結果より、地下水温の鉛直プロファイルを把握することで、調査位置における地下水の流動傾向が評価されている。

地下水温の鉛直プロファイルを図- 3.2.8に示す。図は各観測井のスクリーン区間における地下水温度計測結果をつなげたものであり、これより、地下水温は概ね14℃程度で一定であることがわかる。

日本では、深度が大きくなるに従い地熱の影響により地下水水温が上昇することが一般的に知られており、このときの地温勾配は0.03℃/m前後と言われている。

対象地域の表層は厚い粘土層に被覆されており地表からの浸透水による地下水温への影響はほとんどないものと考えられること、地下水流動が大きいため周囲の山地への降雨や降雪に由来する一定温度の地下水が常に流入すること等の理由により、鉛直方向の地下水温分布がほぼ一定であるものと考えられる。

地下水温は、実証試験期間中に継続観測している。観測結果については後述する。

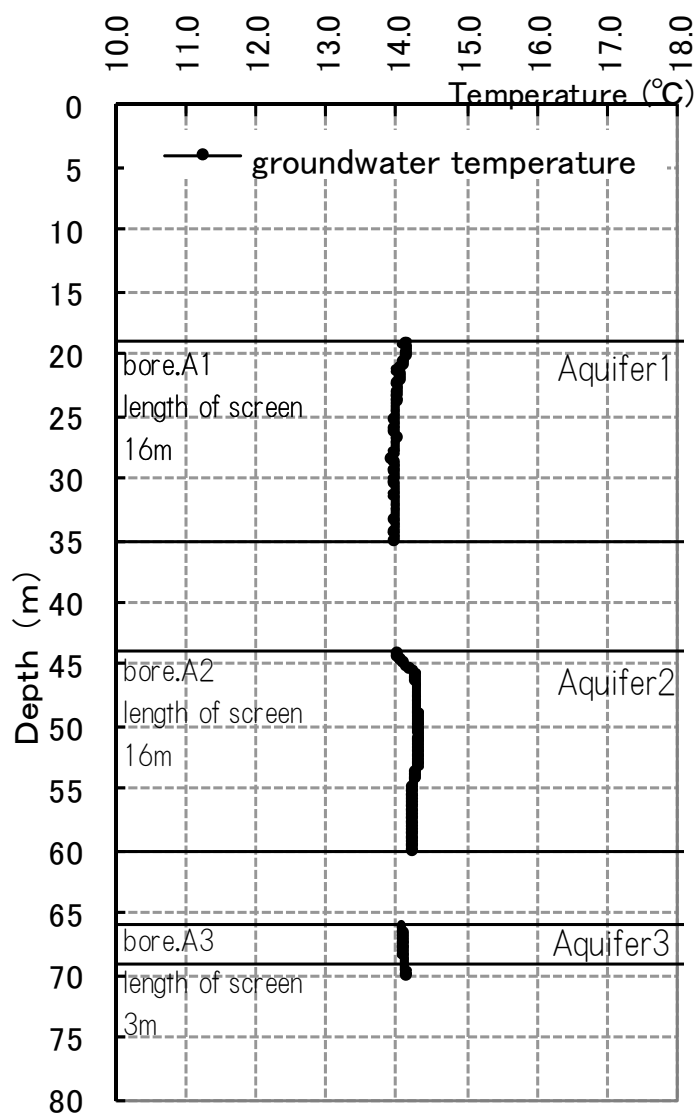


図- 3.2.8 帯水層別地下水温プロファイル

(5) 地下水質の分析結果

地下熱利用技術のうち、地下水を直接利用するタイプでは地下水が還元状態となるため、地盤の目詰まり等によりシステム運用時の支障となる可能性を地下水水質調査から評価する。従来が目詰まり対策は、日光や空気との遮断や目詰まり発生後の逆洗浄が一般的であるが、これでは長期の連続運転の保証に問題がある。そこで、表- 3.2.1に示す地下水中の鉄、マンガン、カルシウム等の水質分析結果から、NEDOプロジェクトで導入したシステムでは、イオン交換樹脂を利用した水質制御システムを適用している。

また、図- 3.2.9に示すとおり、ヘキサダイアグラムより第一帯層と第二帯水層は似たイオン含有を示し、トリリニアダイアグラムより各帯水層の地下水はアルカリ土類炭酸塩型の特徴を有することがわかった。

表- 3.2.1 地下水質調査結果

| 分析項目 | | 採水日:2011/1/6 | | |
|---------|------|----------------|----------------|----------------|
| 種別 | 単位 | 第一帯水層 (A1孔) | 第二帯水層 (A2孔) | 第三帯水層 (A3孔) |
| 鉄 | mg/l | 0.50 | 1.1 | 0.65 |
| 溶解性鉄 | mg/l | 0.06 | 0.02 | 0.03 |
| マンガン | mg/l | 0.70 | 0.82 | 1.2 |
| 溶解性マンガン | mg/l | 0.39 | 1.3 | 1.1 |
| カルシウム | mg/l | 20 | 23 | 21 |
| マグネシウム | mg/l | 6.7 | 7.7 | 8.8 |

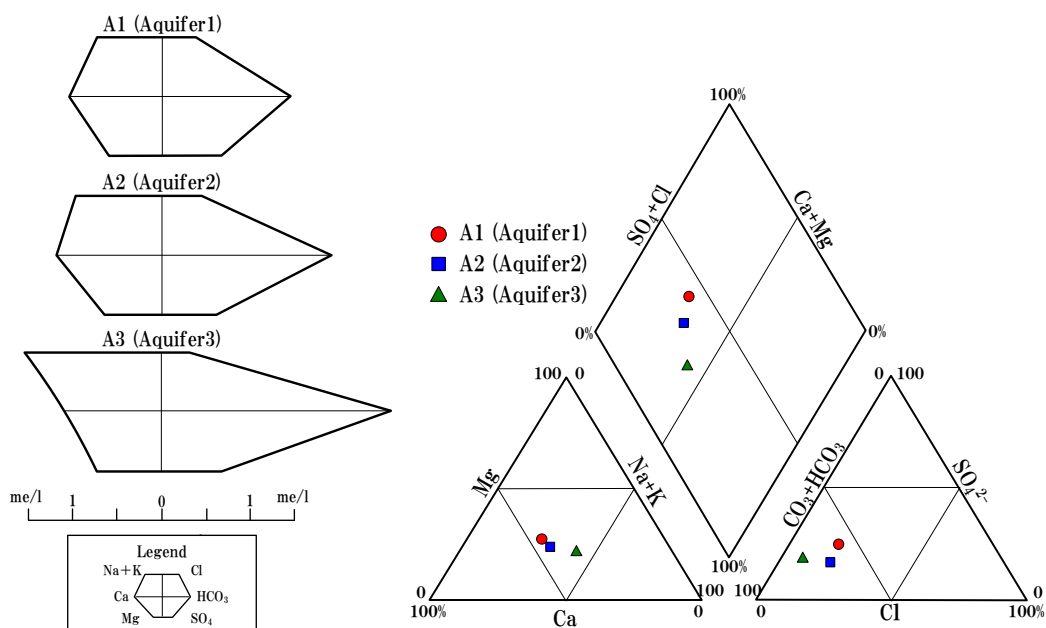


図- 3.2.9 ヘキサダイアグラム (左) とトリリニアダイアグラム (右)

(6) 揚水試験結果

実証試験サイトの調査孔を用いて、第一帯水層および第二帯水層を対象として、それぞれ2回ずつ揚水試験を実施している。なお、B孔と観測井A孔群を用いる層別揚水試験では、B孔を揚水井としたため、スクリーン間の分離にはダブルパッカー工法を採用している。

揚水試験結果を用いて帯水層定数を解析した結果を表-3.2.2に整理する。なお、揚水試験の解析法には、タイスの式とハンタッシュ-ヤコブの式をそれぞれ適用しており、タイスの式による解析には上原・藤縄¹の開発した逆解析法を用いている。

表-3.2.2 揚水試験解析結果

| 対象となる帯水層 | 揚水試験実施日 | 井戸条件 | | | 帯水層厚 m | タイスの式 | | ハンタッシュ-ヤコブの式 | | |
|----------|-----------------|------|-----|-----------|-----------|----------------|--------------|----------------|--------------|------------------------|
| | | 揚水孔 | 観測孔 | 孔間距離 m | | 透水係数 m/min. | 比貯留係数 1/m | 透水係数 m/min. | 比貯留係数 1/m | 加圧層の 透水係数 m/min. |
| 第一帯水層 | 2011年 1月18日 | B | A1 | 3.8 | 32.7 | 0.0426 | 0.00000001 | 0.0211 | 0.00000758 | 0.000029 |
| | 2011年 11月10日 | C1 | E1 | 23.5 | | 0.0405 | 0.00000350 | 0.0267 | 0.00001650 | 0.000028 |
| 第二帯水層 | 2011年 1月8日 | B | A2 | 3.8 | 21.2 | 0.0435 | 0.00000463 | 0.0110 | 0.00051887 | 0.003910 |
| | 2011年 11月9日 | C2 | E2 | 23.4 | | 0.0217 | 0.00000386 | 0.0188 | 0.00000676 | 0.000002 |

¹ 上原、藤縄(2012)：ケルビンの線源関数と共役傾斜法を用いた熱応答試験の逆解析法の開発とその適用—地下熱利用技術の高度化に関する一連の研究(その3)—，日本地下水学会 2012年春季講演会講演要旨，pp 104-109.

3.2.3 地下熱冷暖房システムの概要

実証試験装置における各井戸の機能を図- 3.2.10に示す。また、表- 3.2.3では実証試験における各井戸の使用用途、位置座標、井戸間距離について整理しており、表- 3.2.4には揚水井、注水井となるC孔群とD孔群の各井戸のスクリーン構造について示す。

当該システムは高効率な帯水層蓄熱の実現も目標としており、空調時の排熱は温水または冷水として帯水層に貯留することになる。原位置地質調査より明らかになった上下2層の帯水層構造を利用し、暖房運転中での帯水層への蓄熱は、第二帯水層から地下水を揚水（揚水井D2孔）して空調システムに利用することとした。また、このときに生じる冷排水は第一帯水層に注水（注水井C1孔）して冷熱を貯留する。

一方、冷房運転では暖房運転時に貯留した冷熱は、第一帯水層から揚水（揚水井D1孔）し、冷房時の効率向上を目指す。さらに第二帯水層に温排水を注入・貯留（注入井C2孔）して、次シーズンの暖房運転に利用する。

以上のように温水と冷水でそれぞれ貯留する層を使い分けることにより、季節間の熱利用を実現する。蓄熱状況については、A孔群、B孔、E孔群を観測孔として地下水位と地下水温の鉛直分布を定期的に取り得し、把握することとした。

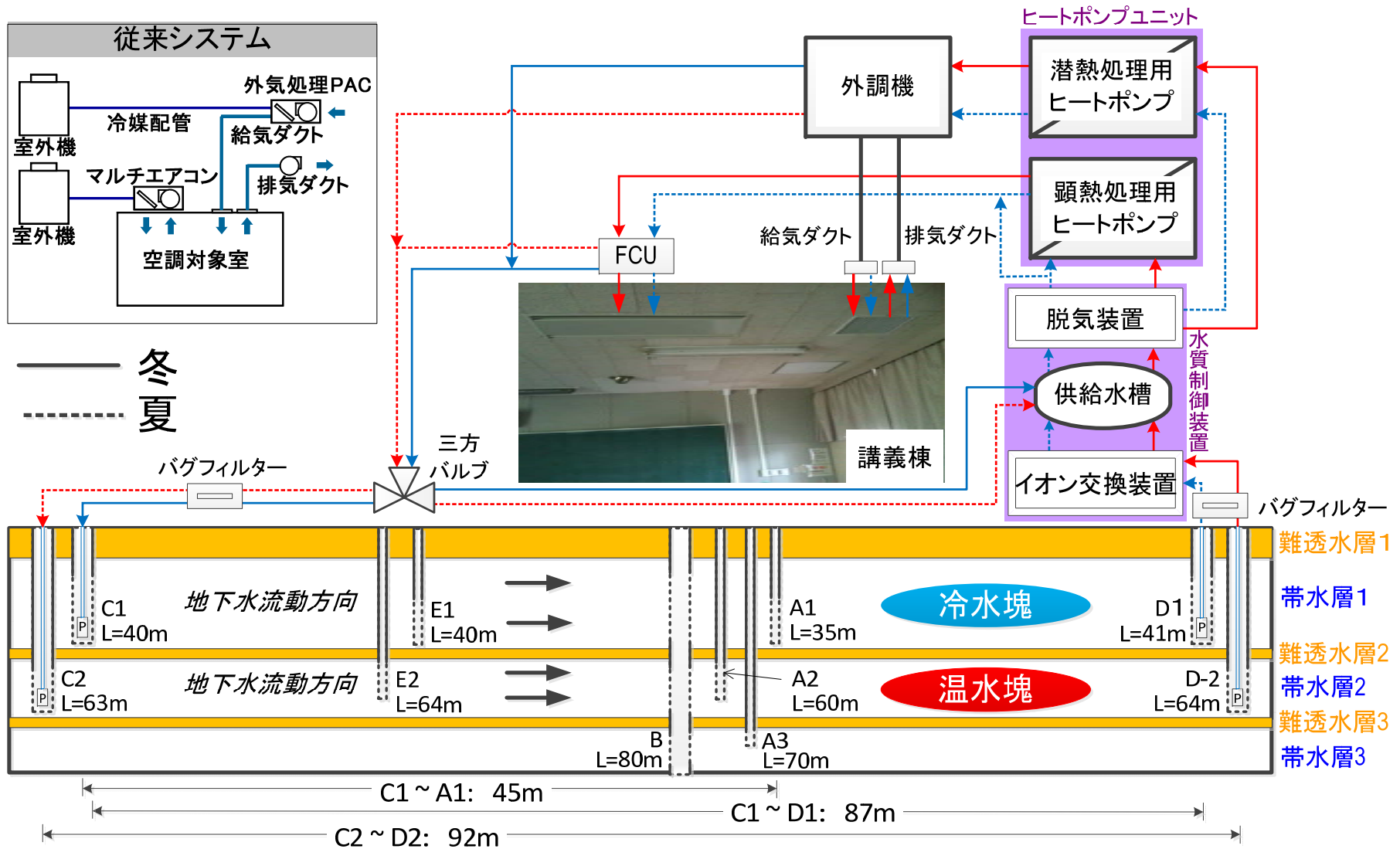


図- 3.2.10 地下水制御型HPシステム模式図

表- 3.2.3 実証試験時における調査孔機能と孔間距離

| 調査孔名 | 対象とする帯水層 | 実証実験時の機能 | | | 座標 | | 孔間距離 m | | | | | | | | | |
|------|----------|----------|------|------|------------|-----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|----|
| | | 用途 | 暖房利用 | 冷房利用 | X | Y | A1 | A2 | A3 | B | C1 | C2 | D1 | D2 | E1 | E2 |
| A1 | 1 | 観測孔 | | | -27817.051 | 70104.935 | - | | | | | | | | | |
| A2 | 2 | 観測孔 | | | -27818.499 | 70103.707 | 1.90 | - | | | | | | | | |
| A3 | 3 | 観測孔 | | | -27817.559 | 70104.083 | 0.99 | 1.01 | - | | | | | | | |
| B | 1,2,3 | 観測孔 | | | -27819.776 | 70107.252 | 3.58 | 3.77 | 3.87 | - | | | | | | |
| C1 | 1 | 注水井 | ● | | -27845.569 | 70140.326 | 45.45 | 45.54 | 45.81 | 41.94 | - | | | | | |
| C2 | 2 | 注水井 | | ● | -27850.038 | 70142.024 | 49.64 | 49.63 | 49.94 | 46.10 | 4.78 | - | | | | |
| D1 | 1 | 揚水井 | | ● | -27783.724 | 70077.605 | 43.10 | 43.48 | 42.96 | 46.68 | 88.08 | 92.45 | - | | | |
| D2 | 2 | 揚水井 | ● | | -27783.671 | 70074.69 | 45.04 | 45.33 | 44.86 | 48.62 | 90.22 | 94.54 | 2.92 | - | | |
| E1 | 1 | 観測孔 | | | -27830.966 | 70121.972 | 22.00 | 22.11 | 22.36 | 18.49 | 23.45 | 27.67 | 64.81 | 66.88 | - | |
| E2 | 2 | 観測孔 | | | -27835.224 | 70123.962 | 26.31 | 26.27 | 26.59 | 22.76 | 19.36 | 23.36 | 69.29 | 71.31 | 4.70 | - |

※座標は世界測地系、平面直角座標系第8系

表- 3.2.4 実証試験における揚水井・注水井のスクリーン構造

| 第一帯水層 | | | | 第二帯水層 | | | |
|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|
| C1 | | D1 | | C2 | | D2 | |
| 上端(E.L.m) | スクリーン長 (m) | 上端(E.L.m) | スクリーン長 (m) | 上端(E.L.m) | スクリーン長 (m) | 上端(E.L.m) | スクリーン長 (m) |
| 下端(E.L.m) | | 下端(E.L.m) | | 下端(E.L.m) | | 下端(E.L.m) | |
| 348.47 | 33.0 | 349 | 33.0 | 310.47 | 16.5 | 311.7 | 16.5 |
| 315.47 | | 316 | | 293.97 | | 295.2 | |

3.2.4 地下水原位置観測

NEDOプロジェクトの実証試験期間中において、地下水原位置観測が実施されている。原位置観測は、全ての井戸を対象に週1～2回の頻度を基本として、手測り計測で地下水水位と地下水温の鉛直分布を把握しており、またA孔群には自記記録センサーを設置し、1時間ピッチで観測データ（地下水水位、地下水温）が自記記録されている。

各井戸の実証試験時の機能と地下水原位置観測において計測する項目について、表-3.2.5に整理する。また、手測りによる観測の様子を写真-3.2.1に示す。

表- 3.2.5 調査孔別の地下水原位置観測項目

| 調査孔名 | 対象とする帯水層 | 実証試験時の機能 | | | 地下水水位 | | 地下水温 | |
|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|----------|
| | | 用途 | 暖房利用 | 冷房利用 | 手測り（触針式） | 自記記録（定点） | 手測り | 自記記録（定点） |
| A1 | 1 | 観測孔 | | | ● | ● | ● | ● |
| A2 | 2 | 観測孔 | | | ● | ● | ● | ● |
| A3 | 3 | 観測孔 | | | ● | ● | ● | ● |
| B | 1,2,3 | 観測孔 | | | ● | | ● | |
| C1 | 1 | 注水井 | ● | | ● | | ● | |
| C2 | 2 | 注水井 | | ● | ● | | ● | |
| D1 | 1 | 揚水井 | | ● | ● | | ● | |
| D2 | 2 | 揚水井 | ● | | ● | | ● | |
| E1 | 1 | 観測孔 | | | ● | | ● | |
| E2 | 2 | 観測孔 | | | ● | | ● | |



写- 3.2.1 地下水原位置観測の様子

(1) 地下水位

1) 観測機器

地下水位の手測り観測および自記記録には表- 3.2.6に示すセンサーを用いる。
各センサーの詳細は写真-3.2.2に示すとおりである。

表- 3.2.6 地下水位の計測に用いるセンサー

| 観測 種別 | NO | 対象 | 機器(センサー)名称 | 計測深度 (G.L.-m) | 分解能 (m) |
|----------|----|--|---------------------------------------|------------------|------------|
| | | 井戸 | | | |
| 手測り | 1 | A1, A2, A3, B, C1, C2, D1, D2, E1, E2 | アルファ工学 ロープ式水位計 (株式会社アジアポケット) | 30 | 0.01 |
| 自記 記録 | 2 | A1 | アルファ工学 DL/N70型ロガー付水位計 (光進電気工業株式会社) | 25 | 0.001 |
| | 3 | A2 | アルファ工学 DL/N70型ロガー付水位計 (光進電気工業株式会社) | 40 | 0.001 |
| | 4 | A3 | アルファ工学 DL/N70型ロガー付水位計 (光進電気工業株式会社) | 70 | 0.001 |



写真- 3.2.2 地下水位観測に用いたセンサー
(左：ロープ式水位計，右：DL/N70型ロガー付水位計)

2) 観測結果

手測り観測により得られた各調査孔の地下水位を表-3.2.7に整理する。また、各調査孔における観測データを時系列でグラフ化したものが図-3.2.11（第一帯水層）、図-3.2.12（第二帯水層）、図-3.2.13（全て）である。これら図より、すべての調査孔において地下水位の年間変動が確認できる。観測期間中における概算の年間地下水位変幅は、第一帯水層、第二帯水層ともに約2.6mであった。

第一帯水層の地下水位を示す図-3.2.11より、暖房期間（2011/11/15～2012/3/17）では注水の影響を受けてC1孔の地下水位が他井戸よりも顕著に上昇を示すことがわかる。また冷房期間（2012/6/1～2012/9/26）においては、揚水の影響によりD1孔の地下水位の低減が確認できる。また、他の第一帯水層を対象とする調査孔においては、システム運転に起因するC1孔の注水やD1孔の揚水の影響は、C1孔、D1孔に比べるとそれほど大きく受けていない。

図-3.2.12より、第一帯水層と同様に、第二帯水層においても暖房運転時の揚水の影響でD2孔では地下水位が低下する。また冷房期間ではC2孔の地下水位が注水の影響により上昇し、このときの水位上昇量は、第一帯水層の暖房時にC1で計測された上昇量よりも大きい。これは、第二帯水層は第一帯水層よりも帯水層が小さく、また冷房時はフリークーリング運転をしており暖房時に比べてシステム循環水量が多かったことが要因と考えられる。

図-3.2.13から、B孔の地下水位は、第一帯水層の他調査孔よりも若干低く、第二帯水層の他調査孔よりも40cm程度高いことがわかる。これは図-3.2.14に示すとおり、B孔が3つの帯水層すべてにスクリーンを有しており、B孔の観測値は各帯水層の合成地下水位となっているためである。

B孔の他調査孔との水位差を見ると、B孔の合成地下水位は第一帯水層の影響を最も大きく受けている。これについては、図-3.2.14のとおりB孔の第一帯水層のスクリーン長が第二帯水層の2倍の長さとなる33.0mと最も長いことに起因すると考えられる。

また、図-3.2.13より第一帯水層は第二帯水層に比べて、地下水位が約30cm～約50cm程度高いことがわかる。

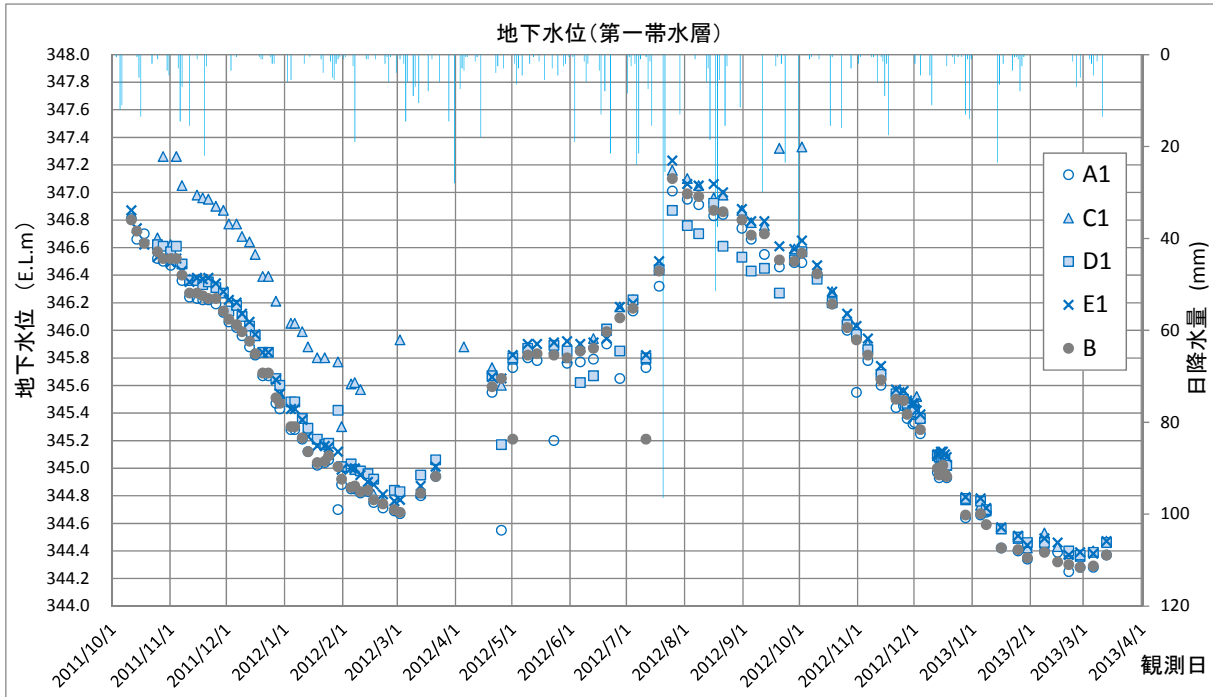


図- 3.2.11 手測りによる地下水位観測結果（第一帯水層）

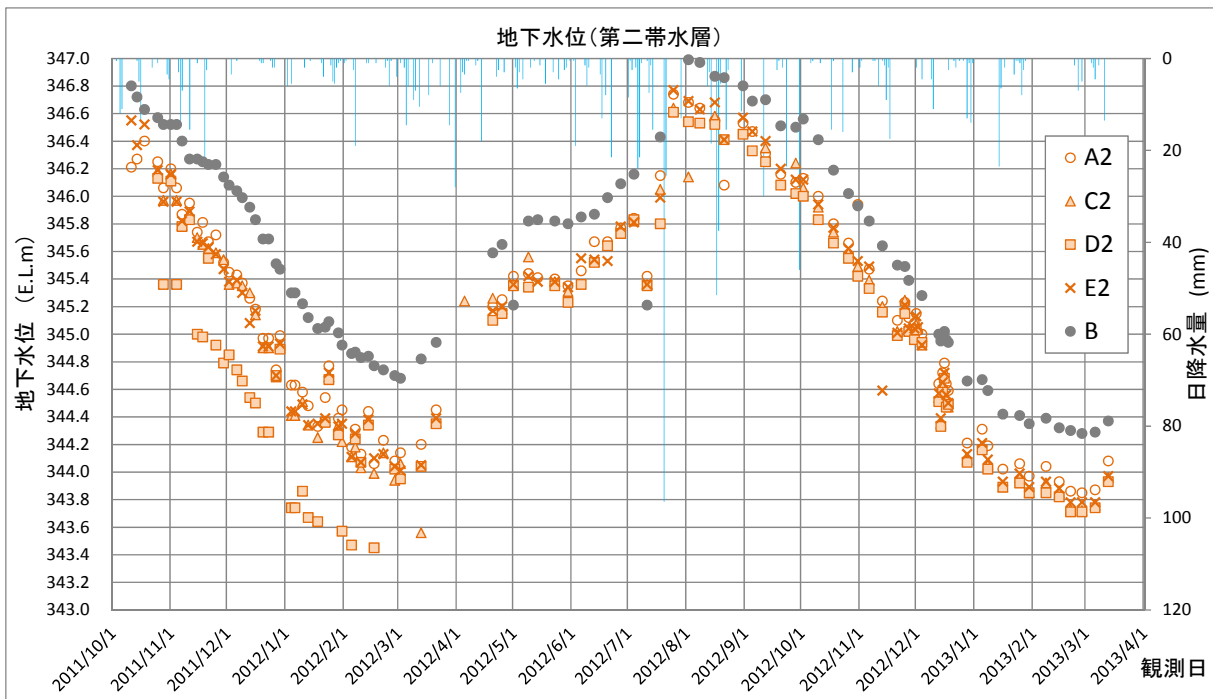


図- 3.2.12 手測りによる地下水位観測結果（第二帯水層）

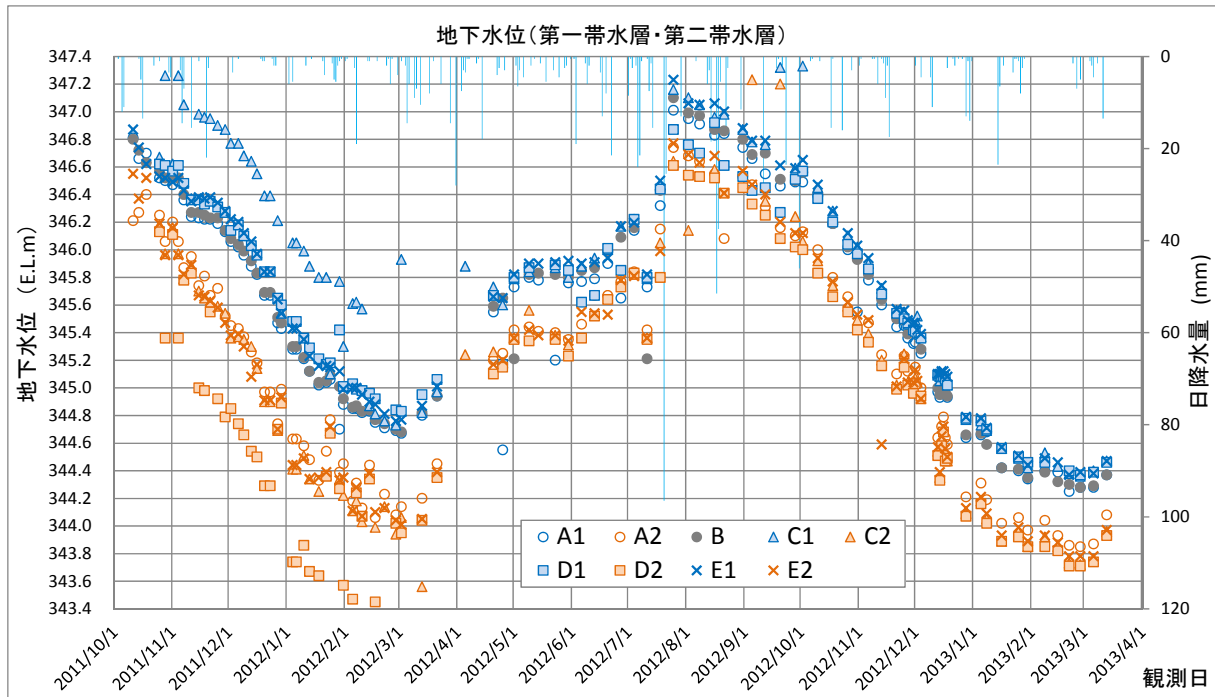


図- 3.2.13 手測りによる地下水位観測結果 (全調査孔)

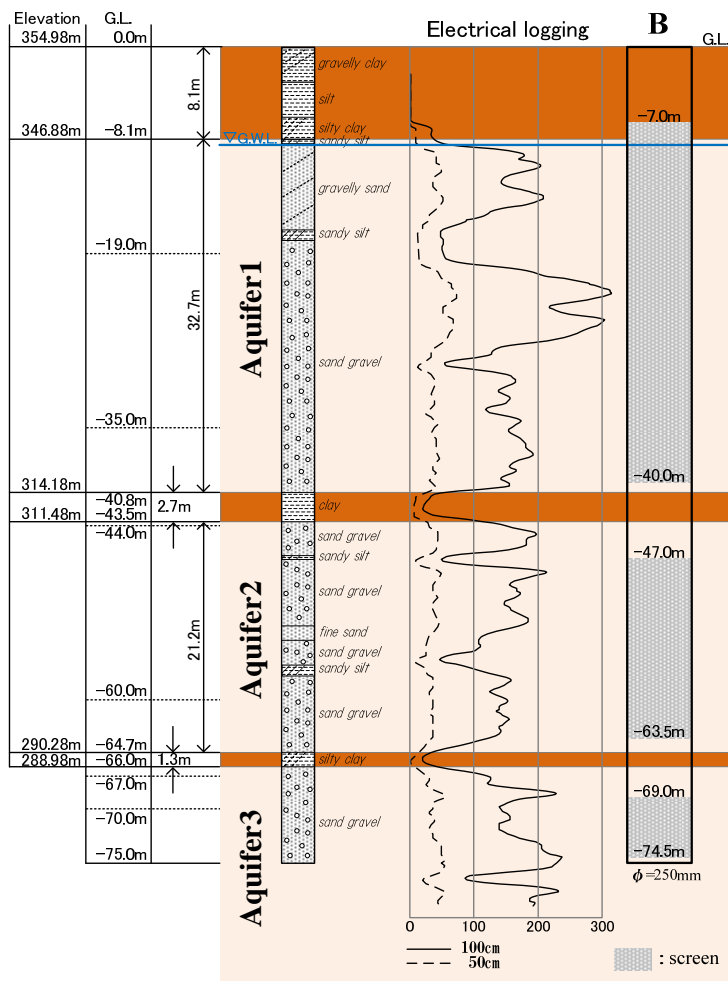


図- 3.2.14 B孔のスクリーン構造

1時間ピッチの自記記録により、導入サイトの地下水位の日変動についても把握することができる。地下水位の日変動が生じる要因には、周辺施設における地下水利用の影響が考えられる。

ここでは、地下水利用による人為的な地下水流動場の形成が、熱移動を助長して帯水層蓄熱状況に影響を与えるおそれがあることから、導入サイトにおける地下水位の日変動を整理し、その変動特性について考察する。

図- 3.2.15は、冷房運転期間においてシステムを運転した場合（2012年：下図）と運転しない場合（2011年：上図）の地下水位をそれぞれグラフ化したものである。両年の同時期の一週間でデータを整理した。これらより、システムを運転していない2011年において、すべての帯水層において地下水位が一日毎に周期的な変化を示しており、特にA2孔（第二帯水層）、A3孔（第三帯水層）の日変動が大きいことがわかる。一日における地下水位の変化は、朝6時頃より地下水位が低下を始め、その後12時～15時頃に水位低下は底を打ち、夕方18時頃から水位が回復するという傾向が一般的であると言える。また、地下水位の日変動は平日ほど顕著である。

一方、図- 3.2.16は暖房運転期間においてシステムを運転した場合（2011年：上図）と運転しない場合（2012年：下図、A3は欠測）の地下水位をそれぞれグラフ化したものである。冷房の場合と同様に、両年の同時期の一週間でデータを整理した。概ねの傾向は冷房運転時と同様であり、特に2011年12月23日のように、祝日は平日より地下水位の日変動が小さいことが言える。また、暖房期間では冷房期間に比べて、地下水位の一日の変化量が少ない傾向にあることが見て取れる。

なお、A孔群はシステム運転中に揚水、注水の影響を受けていることが図- 3.2.15および図- 3.2.16より明らかであり、特に第二帯水層に対する影響が大きい。これは透水性の違いや帯水層厚に起因するものと考えられる。

以上の観測結果を踏まえて、導入サイト付近における地下水環境は、以下の状況であると想定される。

- ・導入サイト周辺の地下水利用が、サイト周辺の地下水流動場に大きく影響を与えている
- ・特に平日の地下水利用量が多い周辺施設の影響を強く受けている
- ・周辺の大規模地下水利用は、第二帯水層および第三帯水層を対象としている可能性が高い

これら一週間単位の地下水位の変動状況を示すグラフについては、モニタリング期間別途参考資料で整理する。

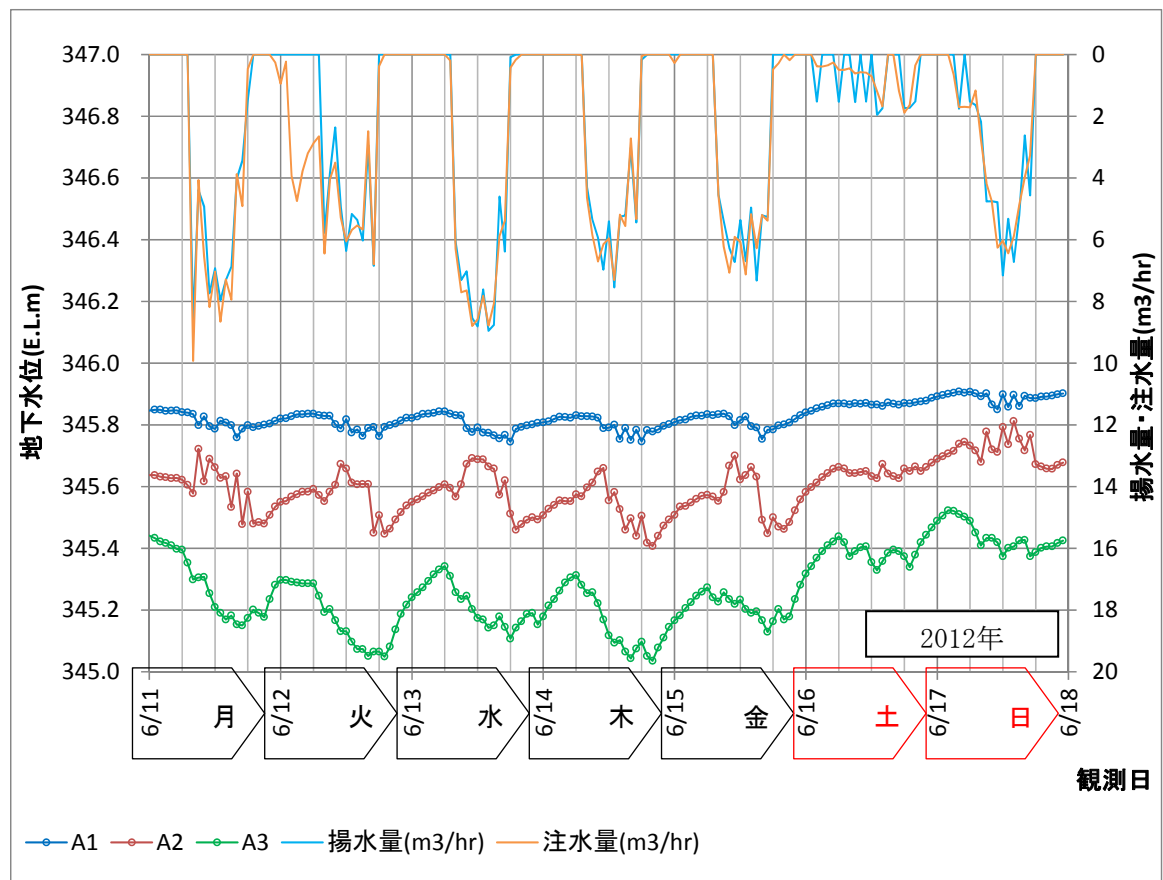
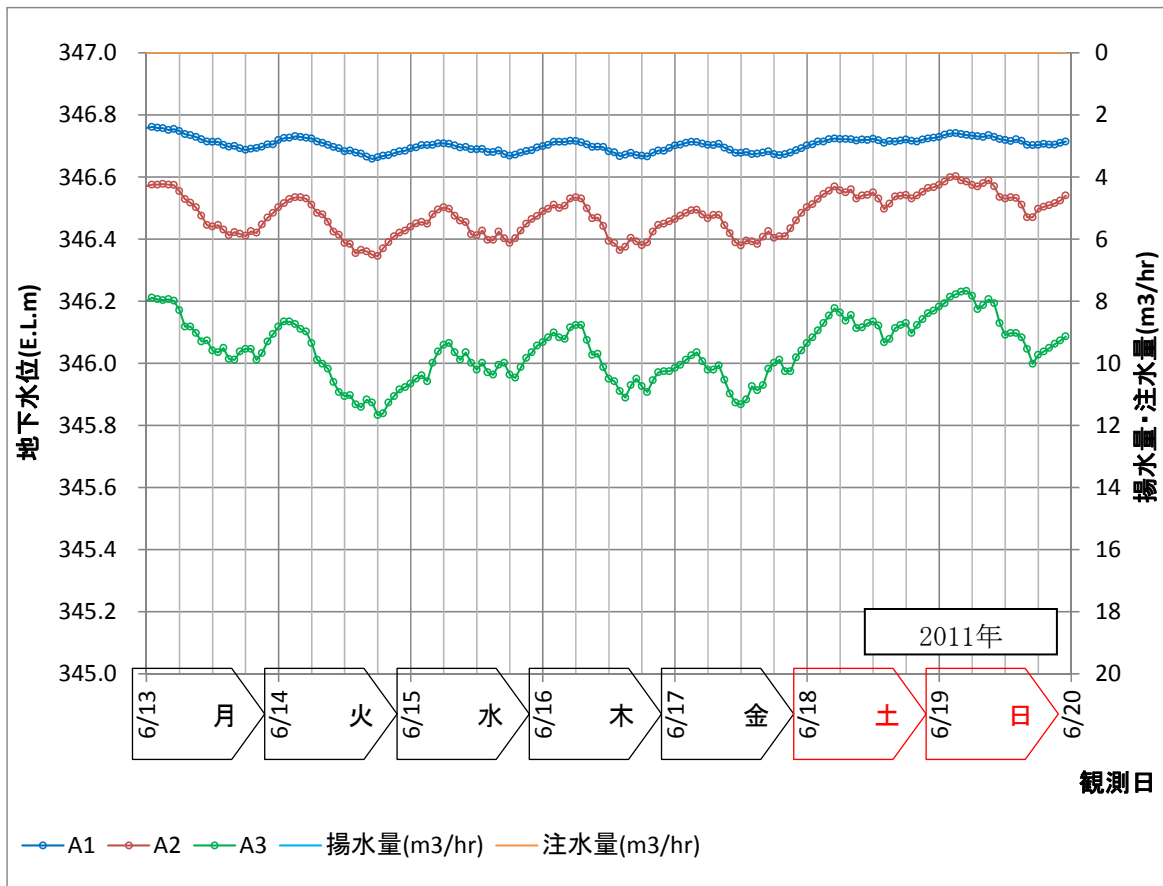


図- 3.2.15 冷房運転時の影響把握（上図：2011年、下図：2012年）

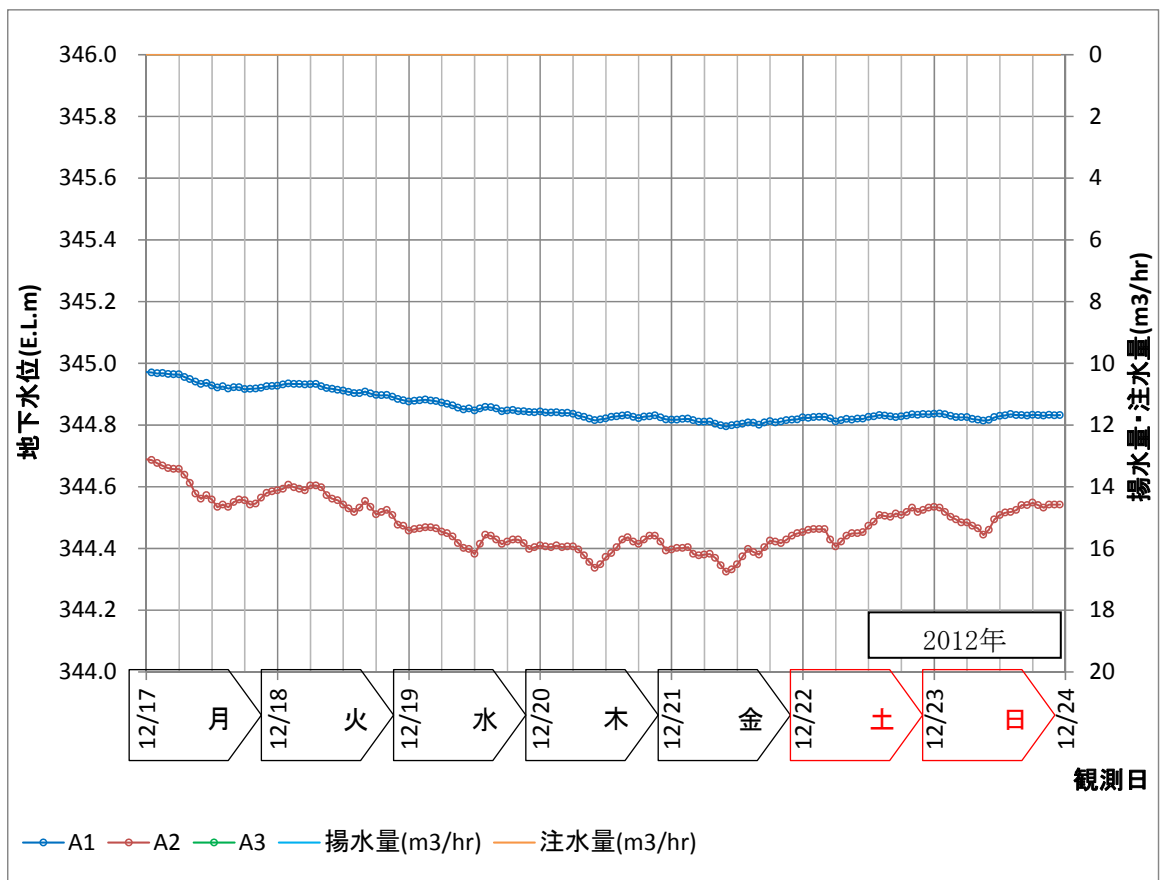
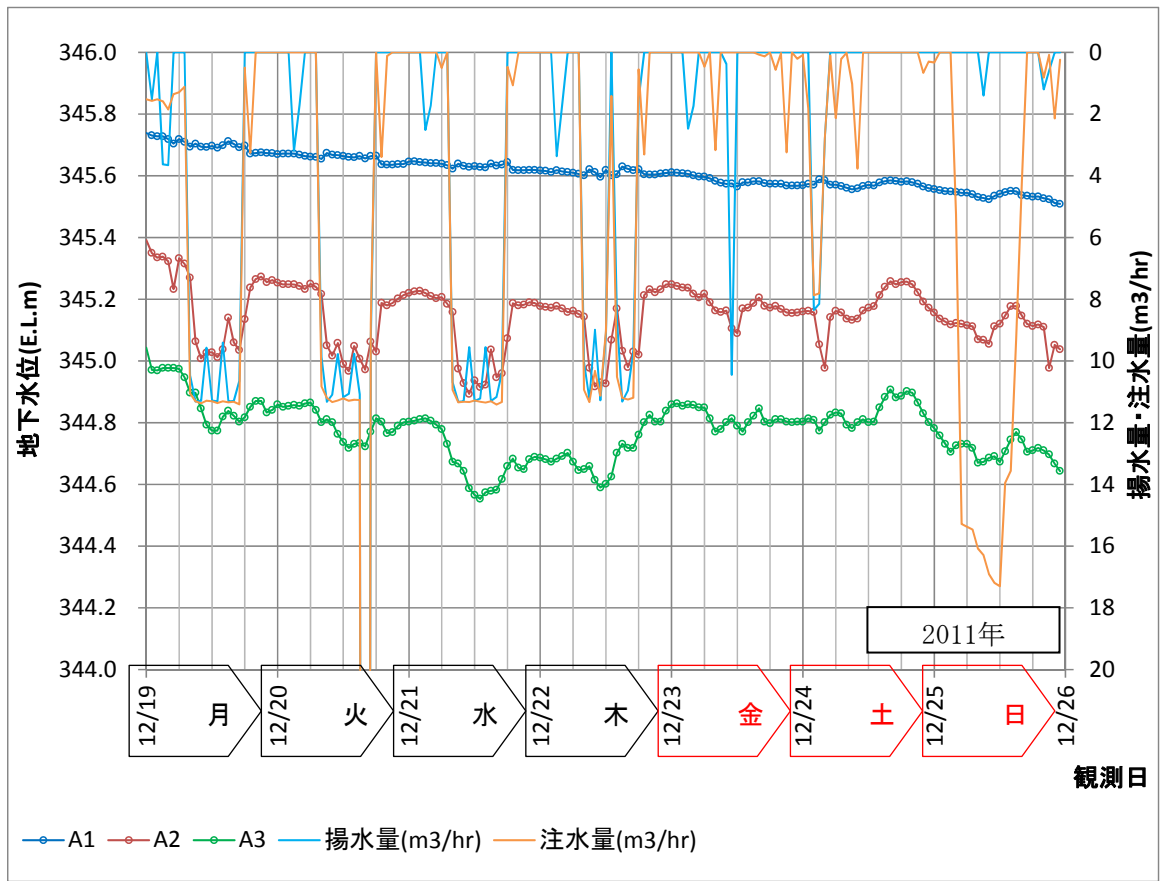


図- 3.2.16 暖房運転時の影響把握 (上図：2011年、下図：2012年)

(2) 地下水温度

1) 観測機器

地下水温度の手測り観測および自記記録には表-3.2.8に示すセンサーを用いる。各センサーの詳細は写真3.2-3に示すとおりである。

表- 3.2.8 地下水温度の計測に用いるセンサー

| 観測種別 | NO. | 対象井戸 | 機器(センサー)名称 | 計測深度 (G. L. -m) | 分解能 (°C) |
|------|-----|--------------------------------|---|--------------------|-------------|
| 手測り | 1 | A1, A2, A3, B, E1, E2 (C1, C2) | 1/100°Cポケッタブル温度計D717 (立山科学工業株式会社) | 1~80 | 0.01 |
| | 2 | C1, C2, D1, D2 | ET-50X(W)型 電気水温計 (株式会社東邦電探) | 1~30 | 0.01 |
| | 3 | C1, C2, D1, D2 | ET-50X(W)型 電気水温計 (株式会社東邦電探) | 1~65 | 0.01 |
| | 4 | A1, A2, A3, B, E1, E2 (C1, C2) | S-C-Tメータ Model 30 Model 30M (ワイエスアイ・ナノテック株式会社) | 1~30 | 0.1 |
| 自記記録 | 5 | A1 | アルファ工学 DL/N70型ロガー付水位計 (光進電気工業株式会社) | 25 | 0.1 |
| | 6 | A2 | アルファ工学 DL/N70型ロガー付水位計 (光進電気工業株式会社) | 40 | 0.1 |
| | 7 | A3 | アルファ工学 DL/N70型ロガー付水位計 (光進電気工業株式会社) | 70 | 0.1 |

*C1, C2 は 2012/11/6 から No. 1 で計測を行う

*C1, C2, D1, D2 は 2013/2/15 から No. 3 で計測を行う (No. 3 は No. 2 と同仕様で計測深度 65m となる)

*観測の際、水銀温度計で検定し補正を行う



写真 3.2-3 地下水温度観測に用いたセンサー

(左上 : 1/100°Cポケッタブル温度計 D717, 左下 : DL/N70 型ロガー付水位計,
右 : ET-50X(W) 型電気水温計)

2) 観測結果

各調査孔において手測り観測により地下水温を取得した日を表-3.2.9に整理する。また各孔の地下水温観測に用いたセンサーを表-3.2.10に整理する。なお表-3.2.10中のセンサーは、No.1が1/100℃ポケッタブル温度計D717、No.2がDL/N70型ロガー付水位計（ケーブル長30m）、No.3がDL/N70型ロガー付水位計（ケーブル長65m）である。

手測りによる地下水温計測はシステムの本運転に併せて開始しており、当初はA孔群とE孔群のみを対象とし、深度方向に5mピッチで地下水温を計測していた。その後、計測機器の充足を図り、2012年4月以降は全調査孔を対象に、深度方向1mピッチでデータを取得している。取得したデータは、図-3.2.17～図-3.2.19に示すように調査孔別にグラフ化し、鉛直温度プロファイルを整理している。これらグラフよりほとんどの調査孔において表面付近は外気の影響を受けていることがわかる。

表- 3.2.9 手測りによる地下水温観測日

| 観測NO | 観測日 | 地下水温の観測日 | | | | | | | | | |
|------|------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | ●:深度1mピッチ、○:深度5mピッチ 【項目】上段:調査孔名称、下段:観測データ数 | | | | | | | | | |
| | | A1 | A2 | A3 | B | C1 | C2 | D1 | D2 | E1 | E2 |
| 1 | 2011/10/7 | 89 | 89 | 89 | 51 | 51 | 48 | 51 | 51 | 88 | 92 |
| 2 | 2011/10/11 | | | | ○ | | | | | | ○ |
| 3 | 2011/10/14 | | | | ○ | | | | | | ○ |
| 4 | 2011/10/18 | ○ | ○ | ○ | | | | | | | ○ |
| 5 | 2011/10/25 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 6 | 2011/10/28 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 7 | 2011/11/1 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 8 | 2011/11/4 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 9 | 2011/11/7 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 10 | 2011/11/11 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 11 | 2011/11/15 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 12 | 2011/11/18 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 13 | 2011/11/21 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 14 | 2011/11/25 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 15 | 2011/11/29 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 16 | 2011/12/2 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 17 | 2011/12/6 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 18 | 2011/12/9 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 19 | 2011/12/13 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 20 | 2011/12/16 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 21 | 2011/12/20 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 22 | 2011/12/23 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 23 | 2011/12/27 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 24 | 2011/12/29 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 25 | 2012/1/4 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 26 | 2012/1/6 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 27 | 2012/1/10 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 28 | 2012/1/13 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 29 | 2012/1/18 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 30 | 2012/1/22 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 31 | 2012/1/24 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 32 | 2012/1/29 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 33 | 2012/1/31 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 34 | 2012/2/5 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 35 | 2012/2/7 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 36 | 2012/2/10 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 37 | 2012/2/14 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 38 | 2012/2/17 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 39 | 2012/2/22 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 40 | 2012/2/28 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 41 | 2012/3/2 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 42 | 2012/3/13 | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 43 | 2012/3/21 | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 44 | 2012/4/5 | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 45 | 2012/4/20 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 46 | 2012/4/25 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 47 | 2012/5/1 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 48 | 2012/5/9 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 49 | 2012/5/14 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 50 | 2012/5/23 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 51 | 2012/5/30 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 52 | 2012/6/6 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 53 | 2012/6/13 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 54 | 2012/6/20 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 55 | 2012/6/27 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 56 | 2012/7/4 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 57 | 2012/7/11 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 58 | 2012/7/18 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 59 | 2012/7/25 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 60 | 2012/8/2 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 61 | 2012/8/8 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 62 | 2012/8/16 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 63 | 2012/8/21 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 64 | 2012/8/31 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 65 | 2012/9/5 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 66 | 2012/9/12 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 67 | 2012/9/20 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 68 | 2012/9/28 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 69 | 2012/10/2 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 70 | 2012/10/10 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 71 | 2012/10/18 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 72 | 2012/10/26 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 73 | 2012/10/31 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 74 | 2012/11/6 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 75 | 2012/11/13 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 76 | 2012/11/21 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 77 | 2012/11/25 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 78 | 2012/11/27 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 79 | 2012/11/30 | | | | | | | | | | |
| 80 | 2012/12/1 | | | | | | | | | | |
| 81 | 2012/12/2 | | | | | | | | | | |
| 82 | 2012/12/4 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 83 | 2012/12/13 | | | | | | | | | | |
| 84 | 2012/12/14 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 85 | 2012/12/15 | | | | | | | | | | |
| 86 | 2012/12/16 | | | | | | | | | | |
| 87 | 2012/12/17 | | | | | | | | | | |
| 88 | 2012/12/18 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 89 | 2012/12/28 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 90 | 2013/1/5 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 91 | 2013/1/8 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 92 | 2013/1/16 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 93 | 2013/1/25 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 94 | 2013/1/30 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 95 | 2013/2/8 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 96 | 2013/2/15 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 97 | 2013/2/21 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 98 | 2013/2/27 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 99 | 2013/3/6 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 100 | 2013/3/13 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |

表- 3.2.10 地下水温観測に用いたセンサー

| 観測NO | 観測日 | 地下水温の観測日 | | | | | | | | | |
|------|------------|------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | ○:No.1、●:No.2、◎:No.3 | | | | | | | | | |
| | | 【項目】上段:調査孔名称、下段:観測データ数 | | | | | | | | | |
| A1 | A2 | A3 | B | C1 | C2 | D1 | D2 | E1 | E2 | | |
| | | 89 | 89 | 89 | 51 | 46 | 43 | 48 | 48 | 88 | 92 |
| 1 | 2011/10/7 | | | | ○ | | | | | | ○ |
| 2 | 2011/10/11 | | | | ○ | | | | | | ○ |
| 3 | 2011/10/14 | | | | ○ | | | | | | ○ |
| 4 | 2011/10/18 | ○ | ○ | ○ | | | | | | | ○ |
| 5 | 2011/10/25 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 6 | 2011/10/28 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 7 | 2011/11/1 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 8 | 2011/11/4 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 9 | 2011/11/7 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 10 | 2011/11/11 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 11 | 2011/11/15 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 12 | 2011/11/18 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 13 | 2011/11/21 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 14 | 2011/11/25 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 15 | 2011/11/29 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 16 | 2011/12/2 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 17 | 2011/12/6 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 18 | 2011/12/9 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 19 | 2011/12/13 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 20 | 2011/12/16 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 21 | 2011/12/20 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 22 | 2011/12/23 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 23 | 2011/12/27 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 24 | 2011/12/29 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 25 | 2012/1/4 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 26 | 2012/1/6 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 27 | 2012/1/10 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 28 | 2012/1/13 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 29 | 2012/1/18 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 30 | 2012/1/22 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 31 | 2012/1/24 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 32 | 2012/1/29 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 33 | 2012/1/31 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 34 | 2012/2/5 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 35 | 2012/2/7 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 36 | 2012/2/10 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 37 | 2012/2/14 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 38 | 2012/2/17 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 39 | 2012/2/22 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 40 | 2012/2/28 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 41 | 2012/3/2 | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ | ○ |
| 42 | 2012/3/13 | ○ | ○ | ○ | | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 43 | 2012/3/21 | ○ | ○ | ○ | | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 44 | 2012/4/5 | ○ | ○ | ○ | | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 45 | 2012/4/20 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 46 | 2012/4/25 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 47 | 2012/5/1 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 48 | 2012/5/9 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 49 | 2012/5/14 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 50 | 2012/5/23 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 51 | 2012/5/30 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 52 | 2012/6/6 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 53 | 2012/6/13 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 54 | 2012/6/20 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 55 | 2012/6/27 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 56 | 2012/7/4 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 57 | 2012/7/11 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 58 | 2012/7/18 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 59 | 2012/7/25 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 60 | 2012/8/2 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 61 | 2012/8/8 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 62 | 2012/8/16 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 63 | 2012/8/21 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 64 | 2012/8/31 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 65 | 2012/9/5 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 66 | 2012/9/12 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 67 | 2012/9/20 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 68 | 2012/9/28 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 69 | 2012/10/2 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 70 | 2012/10/10 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 71 | 2012/10/18 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 72 | 2012/10/26 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 73 | 2012/10/31 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ |
| 74 | 2012/11/6 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ○ | ● | ● | ○ | ○ |
| 75 | 2012/11/13 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ○ | ● | ● | ○ | ○ |
| 76 | 2012/11/21 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | | ● | ● | ○ | ○ |
| 77 | 2012/11/25 | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | | ● | ● | ○ | ○ |
| 78 | 2012/11/27 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ○ | ○ |
| 79 | 2012/11/30 | | | | | | | | | | |
| 80 | 2012/12/1 | | | | | | | | | | |
| 81 | 2012/12/2 | | | | | | | | | | |
| 82 | 2012/12/4 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ○ | ○ |
| 83 | 2012/12/13 | | | | | | | | | | |
| 84 | 2012/12/14 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ○ | ○ |
| 85 | 2012/12/15 | | | | | | | | | | |
| 86 | 2012/12/16 | | | | | | | | | | |
| 87 | 2012/12/17 | | | | | | | | | | |
| 88 | 2012/12/18 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ○ | ○ |
| 89 | 2012/12/28 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ○ | ○ |
| 90 | 2013/1/5 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ○ | ○ |
| 91 | 2013/1/8 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ○ | ○ |
| 92 | 2013/1/16 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ○ | ○ |
| 93 | 2013/1/25 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ○ | ○ |
| 94 | 2013/1/30 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ○ | ○ |
| 95 | 2013/2/8 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ○ | ○ |
| 96 | 2013/2/15 | ○ | ○ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | ○ |
| 97 | 2013/2/21 | ○ | ○ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | ○ |
| 98 | 2013/2/27 | ○ | ○ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | ○ |
| 99 | 2013/3/6 | ○ | ○ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | ● | ● | ○ | ○ |
| 100 | 2013/3/13 | ○ | ○ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | ● | ● | ○ | ○ |

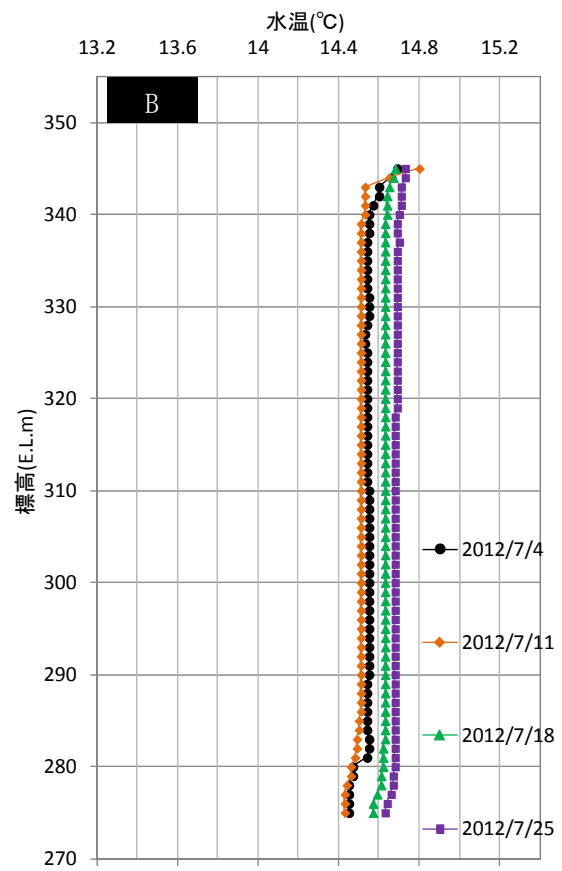
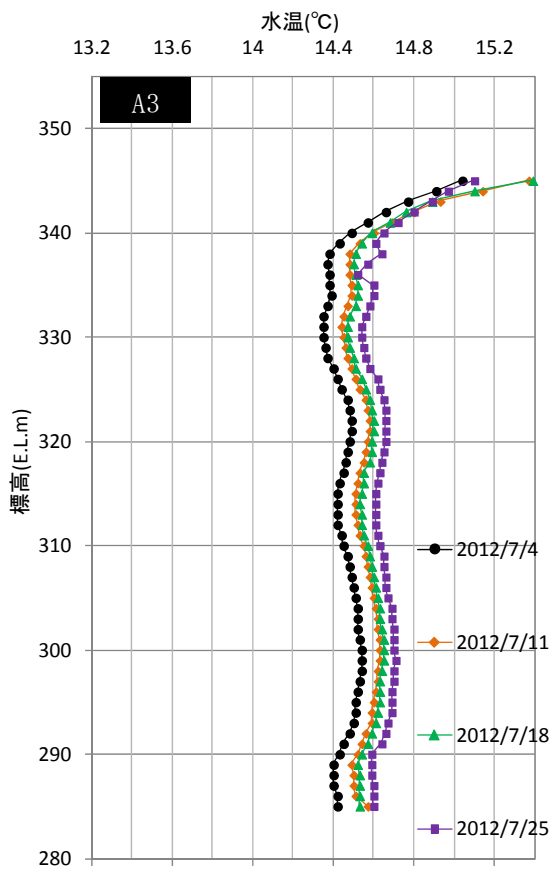
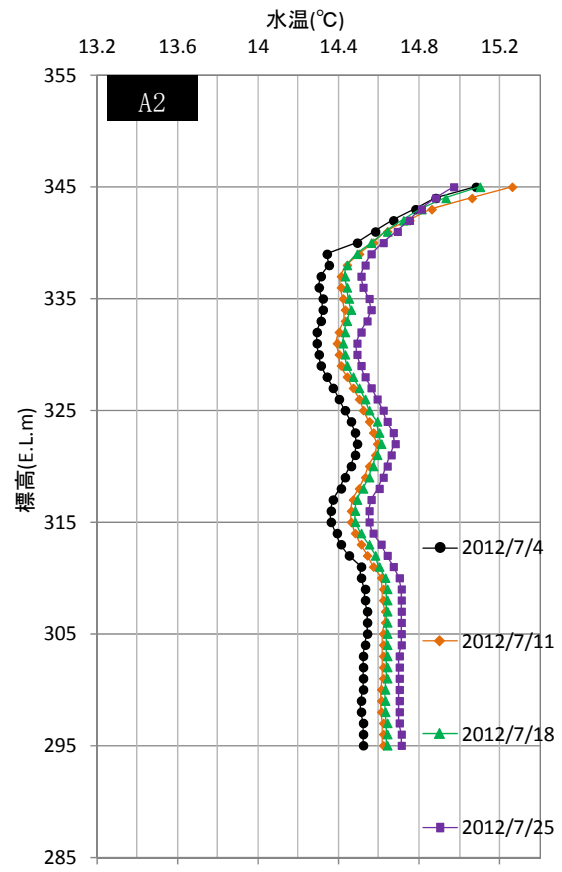
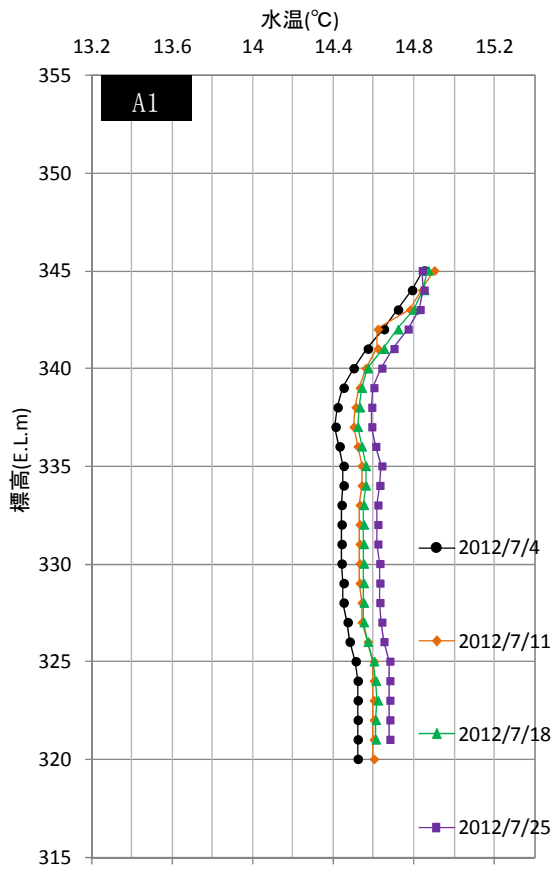


図- 3.2.17 地下水温度鉛直プロファイル例（2012年7月観測分） 1 / 3

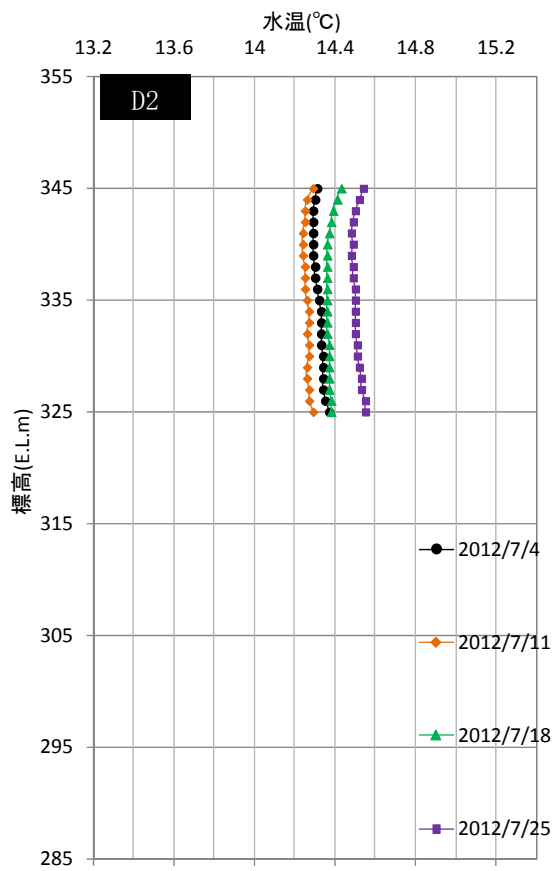
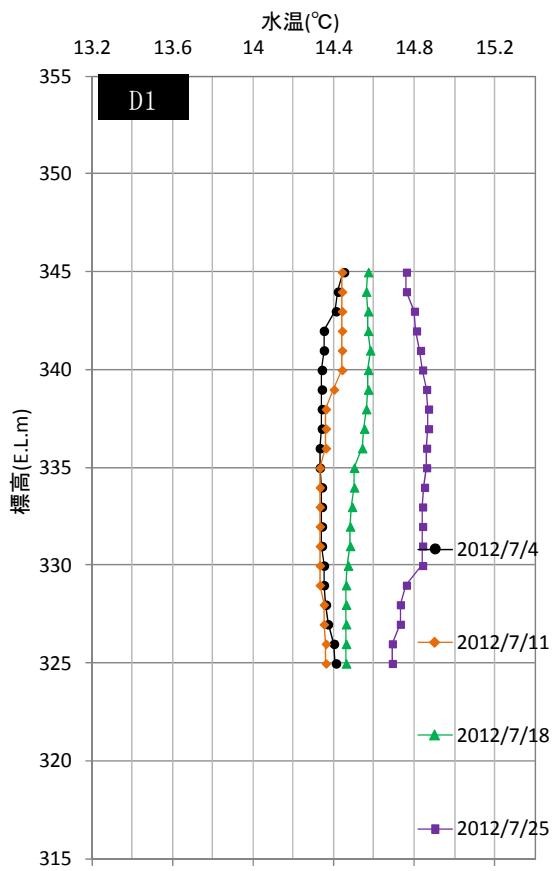
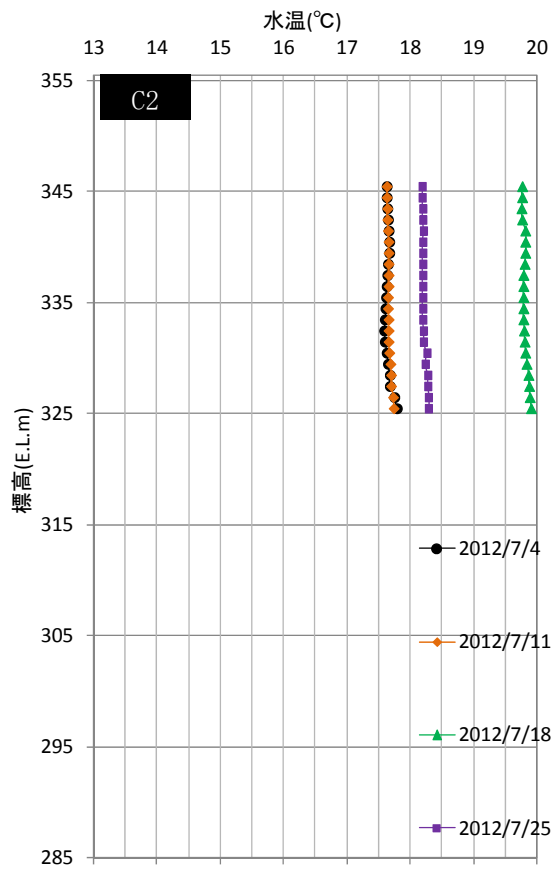
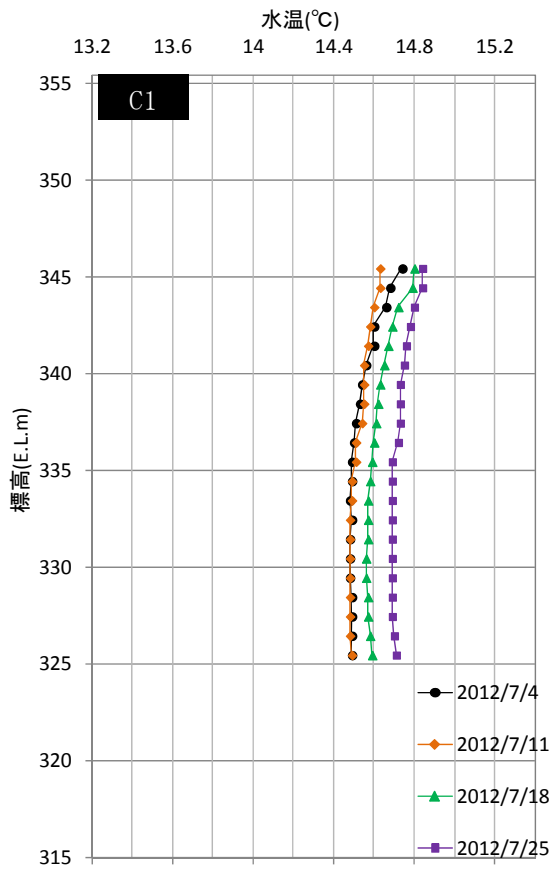


図- 3.2.18 地下水温度鉛直プロファイル例 (2012年7月観測分) 2 / 3

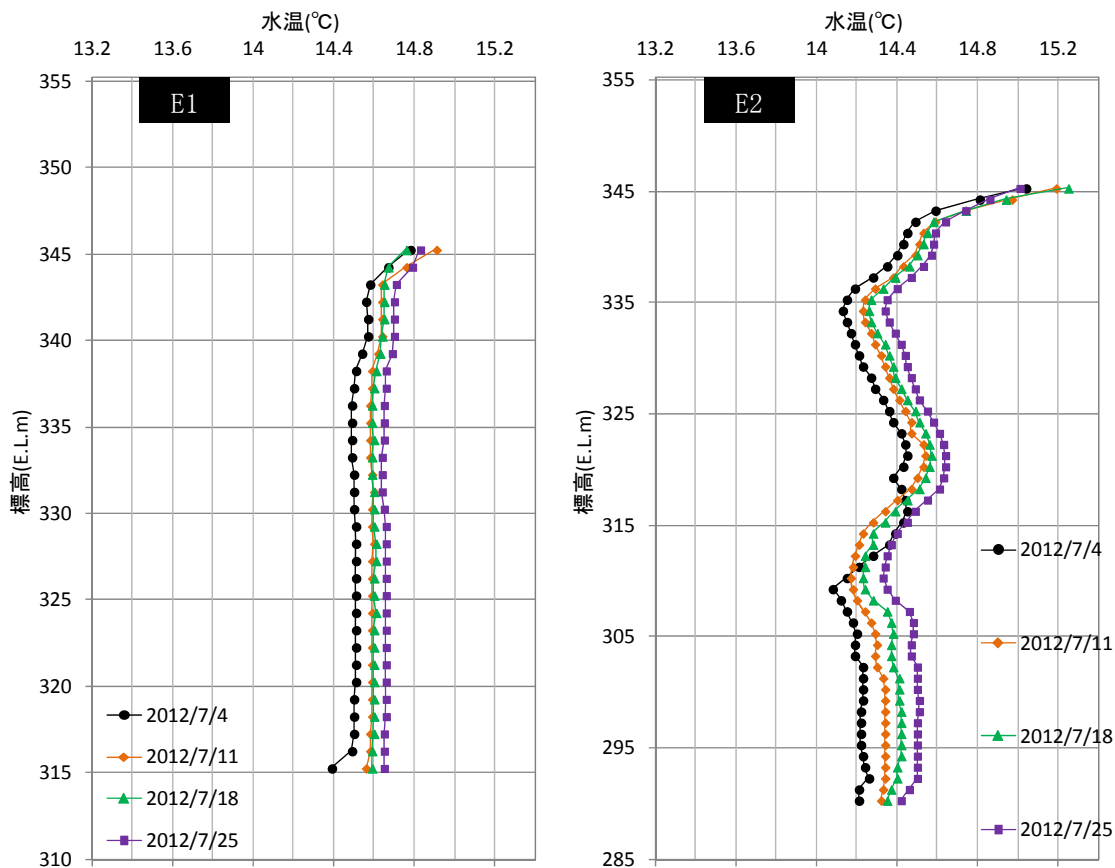


図- 3.2.19 地下水温度鉛直プロファイル例（2012年7月観測分） 3 / 3

図- 3.2.20に、A孔群における自記記録による地下水温モニタリング結果を示す。また図中にはA孔群に設置しているセンサーと同深度における手測り観測結果をプロットしている。図より、2012年1月以降の水温を見ると、すべての帯水層において水温変化は0.2～0.3℃程度と、ほぼ一定の水温が維持されていることがわかる。なお、2011年秋頃までの自記記録結果は、同じセンサーで計測している地下水位（間隙水圧）のモニタリング状況より、計測データの確からしさが不明瞭である。

自記記録結果と手測り結果を比較すると、2011年11月から2012年2月までは、両者の乖離が小さい。しかしながら、2012年3月は手測りのデータにバラつきが見られる。この理由には手測りによる人為的な計測誤差も考えられる。

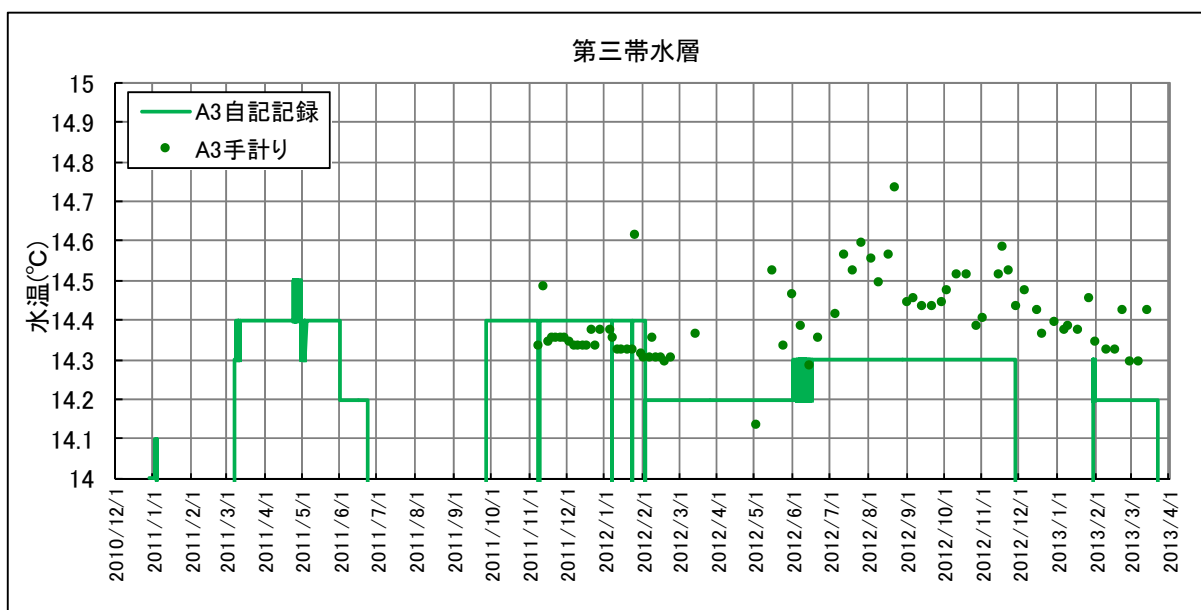
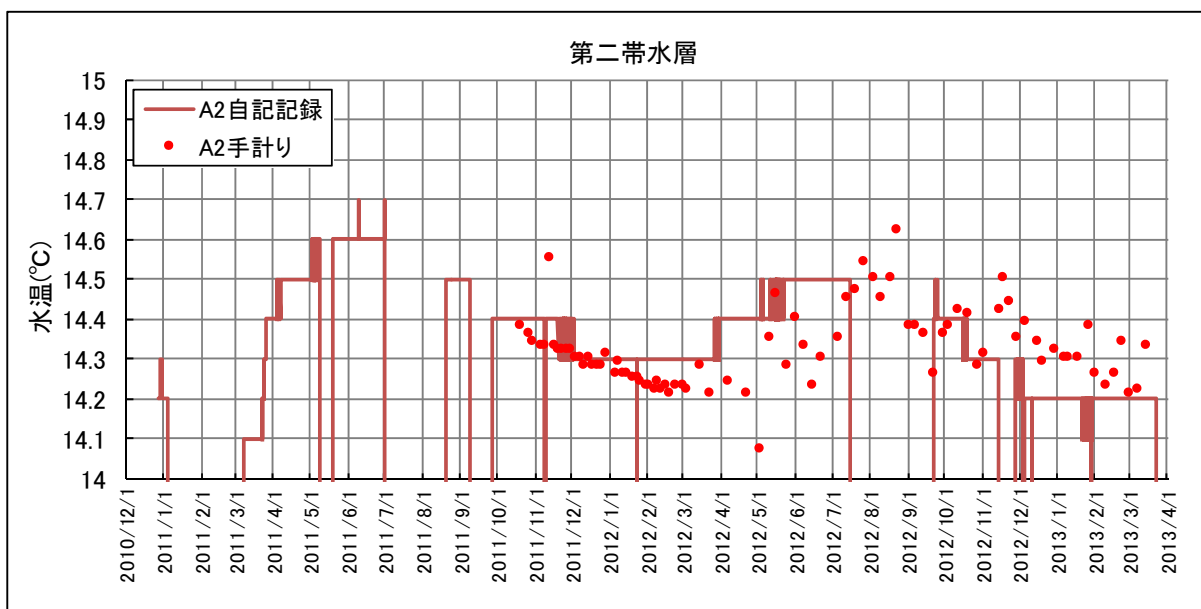
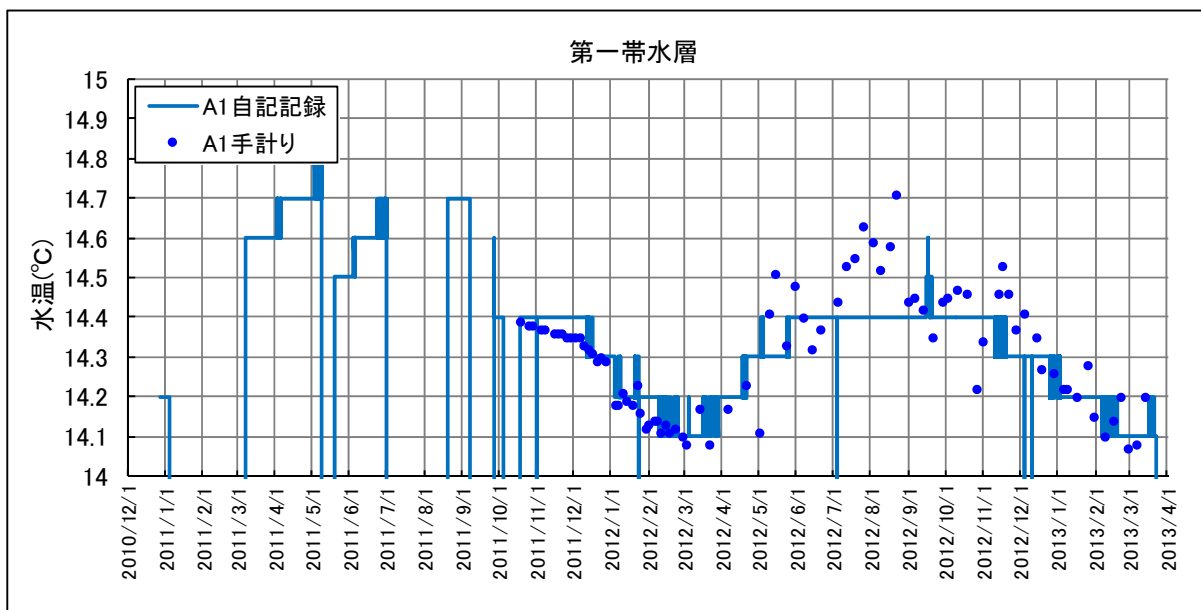


図- 3.2.20 地下水温の自記記録結果

3.3 調査結果の検討

NEDOプロジェクトで開発した地下水制御型ヒートポンプシステムは、帯水層蓄熱状況に応じた柔軟な井戸運用システムの実現が不可欠である。NEDOプロジェクトでは、システムの高効率化を目指すために、実証試験期間中における地下水原位置観測および数値シミュレーションの現況再現計算により、自然地下水流動場における帯水層蓄熱状況を把握しており、その成果を本項で紹介する。なお本項においては、先ず地下水原位置観測結果を整理し、次いで実証試験期間中における帯水層蓄熱状況を、原位置観測と数値シミュレーションから把握する。

3.3.1 原位置観測結果の考察

(1) 動水勾配

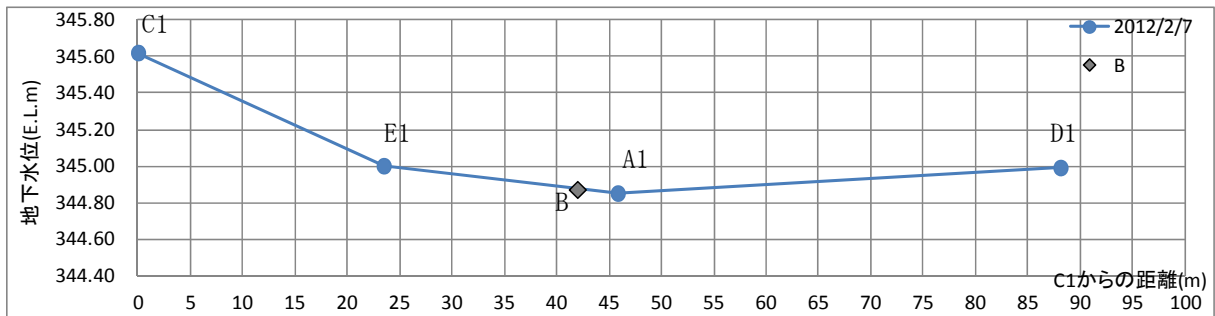
図- 3.3.1、図- 3.3.2は手測りによる計測データを基に、第一帯水層および第二帯水層を対象とする調査孔で得られた地下水位をグラフ化し、便宜的に水面形を作成したものである。水面形のグラフは全ての観測日において作成しているが、ここでは暖房運転期間、運転休止期間（春季）、冷房運転期間、運転休止期間（秋季）において、それぞれ代表的な水面形が得られた観測日の結果を整理した。なお、すべての観測日における水面形データを整理したグラフは参考資料で取りまとめている。

図- 3.3.1の第一帯水層の水面形を見ると、暖房運転時の注水によるC1孔の地下水位上昇や、冷房運転時の揚水によるD1孔の地下水位低下が確認できる。また、システム運転の影響を受けない運転休止期間に着目すると、C1孔とD1孔の地下水位差は数センチ程度と、動水勾配は非常に小さい。また、運転休止期間中のA1孔を見ると、近傍に位置するB孔の合成地下水位の影響を受け、他調査孔に比べて地下水位が低い。

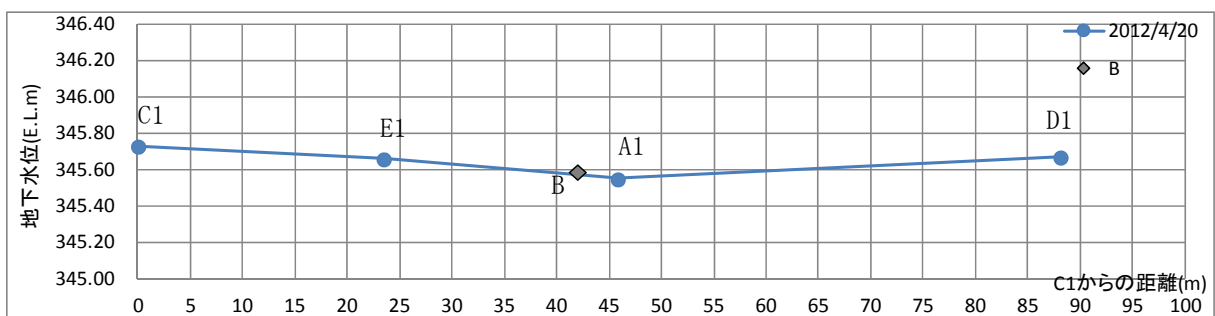
図- 3.3.2に示す第二帯水層の水面形より、暖房運転時の揚水によるC2孔の地下水位低下や、冷房運転時の注水によるC2孔の地下水位上昇の様子が見てとれる。また第一帯水層と同様に、システム運転の影響を受けない運転休止期間に着目すると、C2孔とD2孔の地下水位差は数センチ程度と、自然地下水の動水勾配は非常に小さい。また、運転休止期間中のA2孔を見ると、近傍に位置するB孔の合成地下水位の影響を受け、他調査孔に比べて地下水位が高くなっている。

図- 3.3.1、図- 3.3.2のような整理結果を踏まえて、空調システムの稼働していない時期に観測した結果のみを抽出し、C孔とD孔で水位差をとり動水勾配を推定した。この推定値を自然地下水の動水勾配と判断することとした。図- 3.3.3に第一帯水層、第二帯水層においてそれぞれ推定した動水勾配を示す。グラフの横軸は地下水原位置観測の実施日、縦軸は動水勾配 $i=1/I$ のI値をとったものである。また図中のプロット点の色は、黒は地下水位がC孔>D孔となる場合、橙は地下水位がC孔<D孔となる場合の動水勾配を示している。この結果より、自然地下水の動水勾配は、C孔からD孔へ傾斜し、数千分の1と非常に緩やかであることがわかる。ここでは、第一帯水層、第二帯水層ともに、自然地下水の動水勾配は $1/2,000$ 程度と判断し、後述する数値解析の条件に用いることとした。

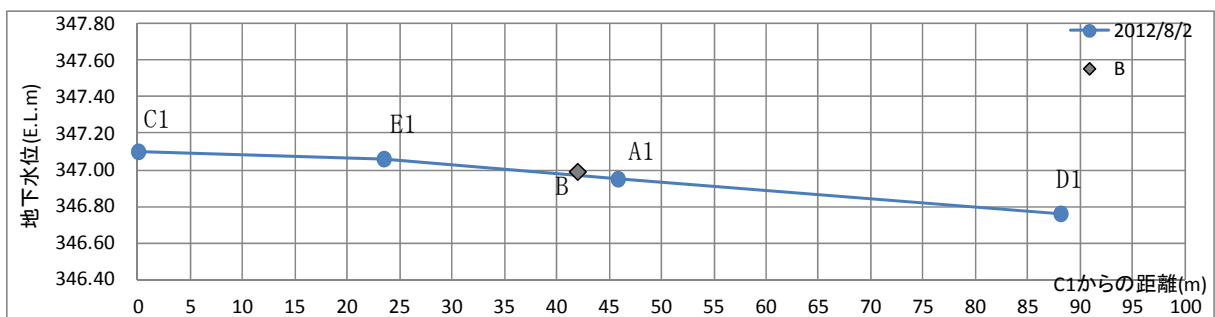
◆暖房運転時に計測された水面形の一例



◆運転休止期間（春季）に計測された水面形



◆冷房運転時に計測された水面形



◆運転休止期間（秋季）に計測された水面形

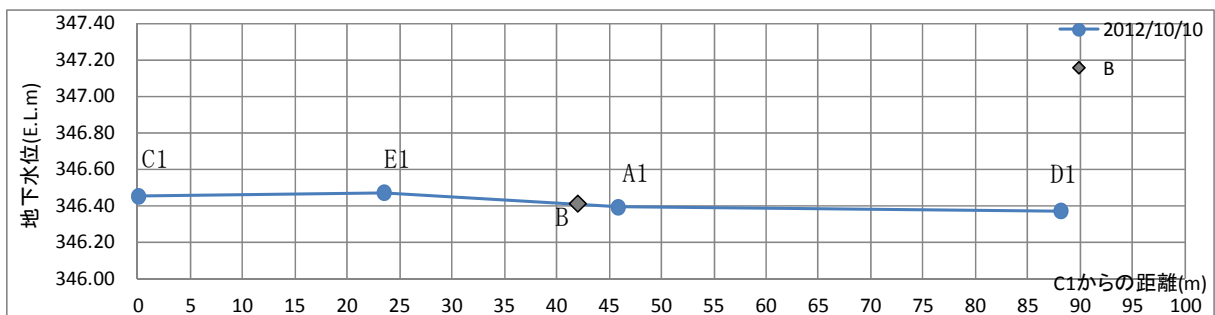
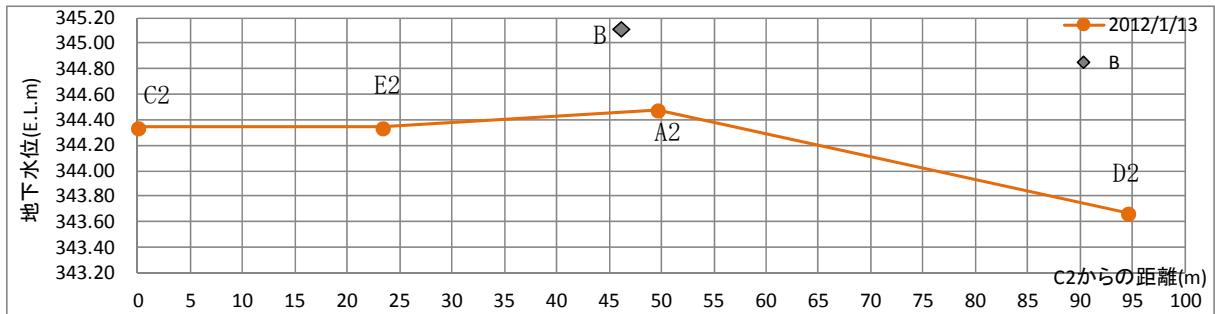
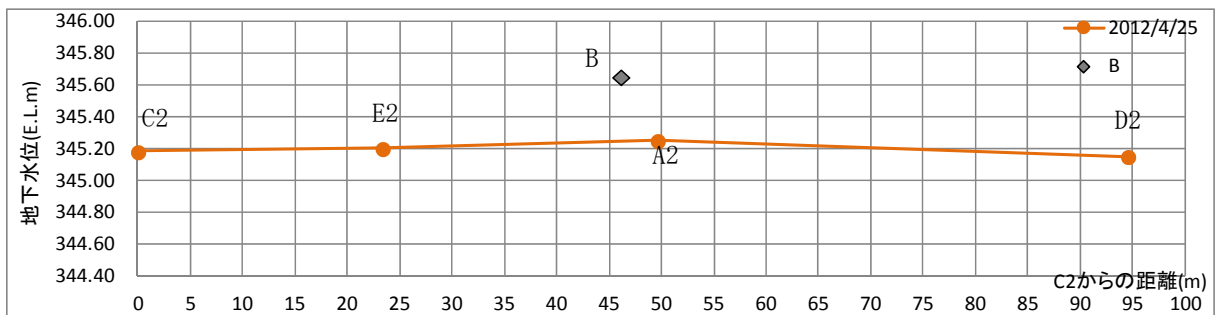


図- 3.3.1 手測り観測結果より推定した地下水面（第一帯水層）

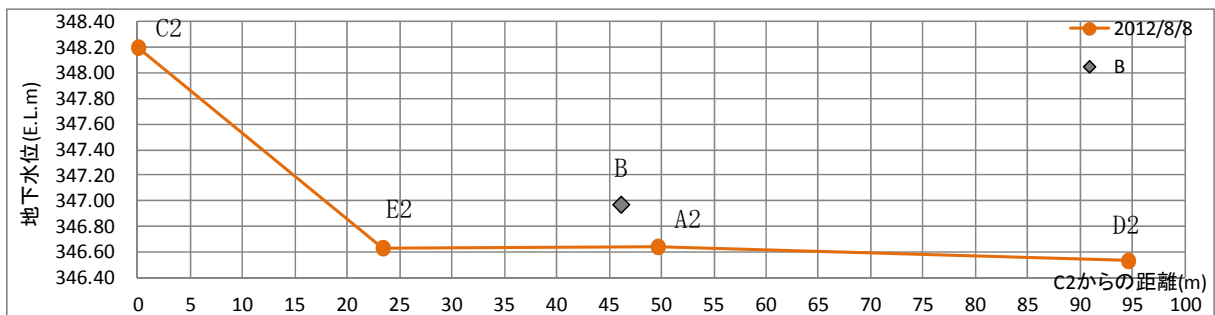
◆暖房運転時に計測された水面形の一例



◆運転休止期間（春季）に計測された水面形



◆冷房運転時に計測された水面形



◆運転休止期間（秋季）に計測された水面形

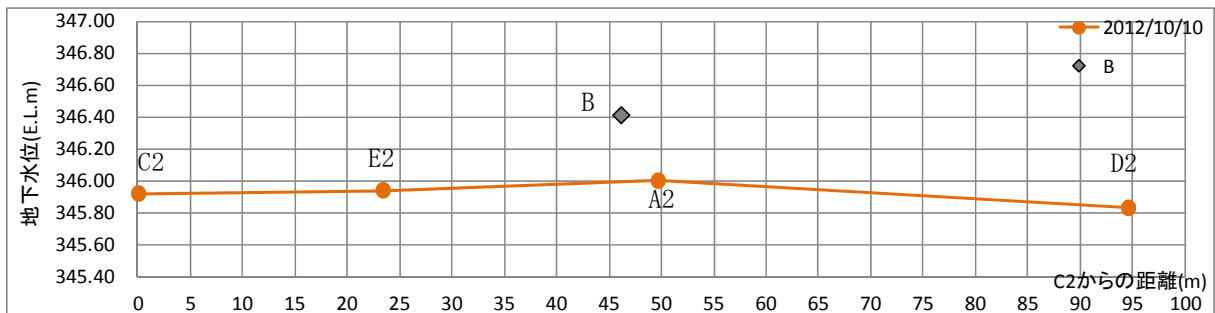


図- 3.3.2 手測り観測結果より推定した地下水面（第二帯水層）

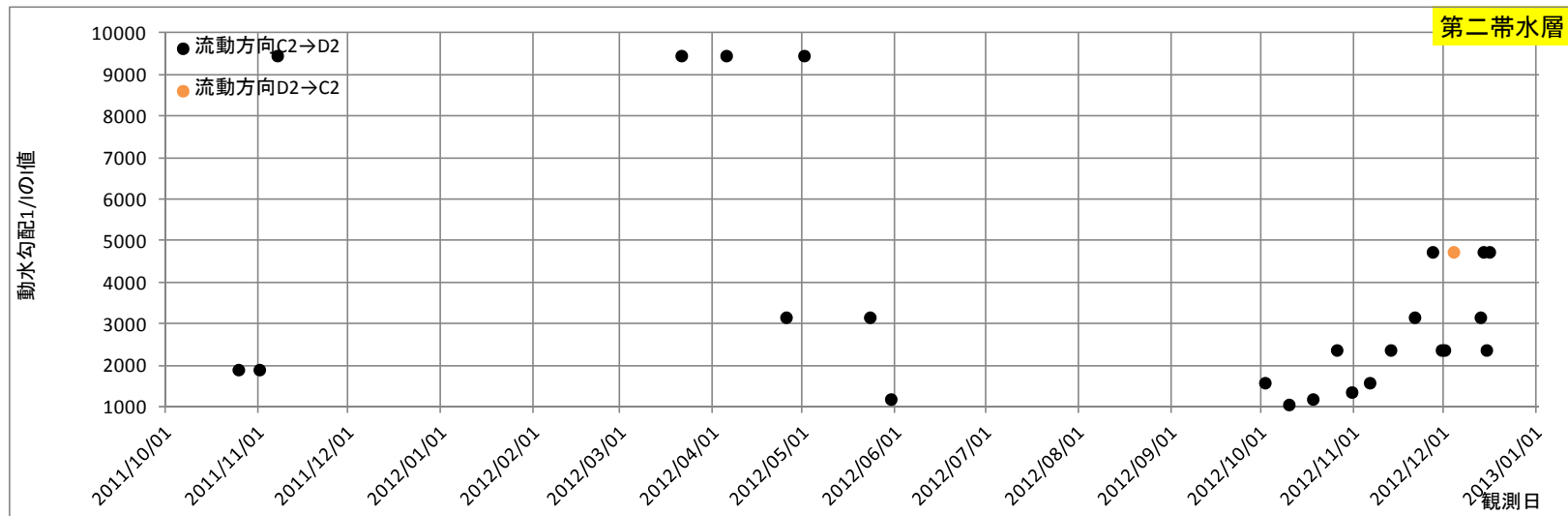
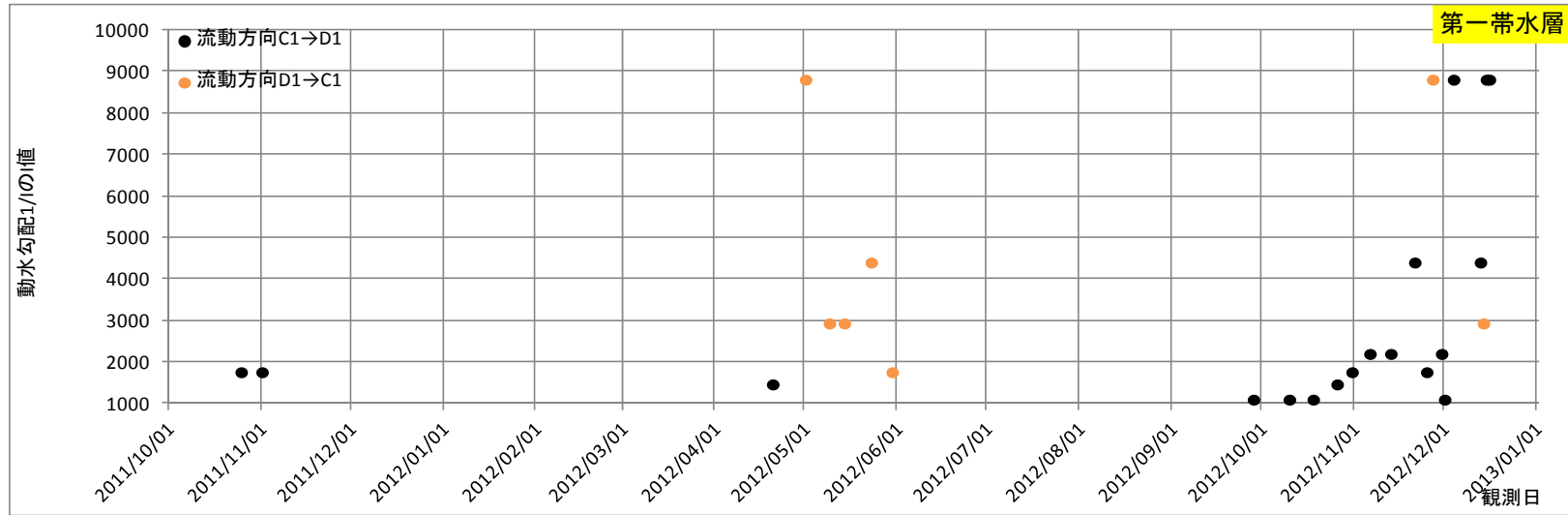


図- 3.3.3 推定した自然地下水の動水勾配

(2) 地下水位変動特性

A孔群を対象とする自記記録により得られた地下水位を図- 3. 3. 4に整理する。これら図より、手測りの観測値は自記記録のデータと概ね一致することがわかる。また自記記録データは一部センサーの故障等により欠測する期間があるが、これら期間については手測りの観測値による補間が可能であると言える。

図- 3. 3. 5および図- 3. 3. 6は、グラフの横軸は1月1日から12月31日までの一年間として、縦軸には地下水位標高をとり、地下水位の年間変動状況と年別の比較ができるようにした。なお参考までに、図中には手測りの地下水位計測値もプロットしている。

2011年と2012年の地下水変動状況を比較すると、第一帯水層、第二帯水層ともに、5月後半からの地下水位に最大約1m程度の差が生じている。これは長野気象台長野観測所の月別降水量をグラフ化した図- 3. 3. 7よりわかるとおり、2011年は4月、5月が平年に比べて多かったのに対して、2012年の同時期は平年を下回る降水量であり、これにより両者の乖離が顕著に生じたものと考えられる。また、2012年は9月以降の降水量が少なかったこともあり、秋季、冬季の地下水位が2011年に比べて約1m程度低い値となっている。

NEDOプロジェクトにおいて、後述する数値解析の初期条件および境界条件として用いる地下水位の年平均を概算するために、2012年を対象とし、年間の地下水位データを作成している。なお、自記記録データと欠測期間は手測りの観測値を用いて補間し、自記記録データは1時間ピッチで取得されていることから、手測りデータについても一時間ごとにデータを作成した。3次スプライン関数を用いる補間プログラムを作成して補間値を求め、図- 3. 3. 8に示す結果を得た。これにより2012年の年間平均で見ると、A1孔の地下水位がA2孔よりも33cm高い。ただし、前述のとおりA孔群はマルチスクリーンを持つB孔の影響を受けているため、実際の第一帯水層と第二帯水層の水位差はさらに大きいと考えられる。年間の地下水位変動の周期については他調査孔と同様と考えられることから、図- 3. 3. 8を参考に5月上旬および11月上旬の観測値が年平均値相当と判断した。

以上より、数値解析時の初期条件および境界条件を設定する際は、B孔の影響が少ないC孔群に着目し、C1孔およびC2孔において5月上旬および11月上旬の手測り観測した結果を基に、第一帯水層および第二帯水層における地下水位の年平均値を推定している。

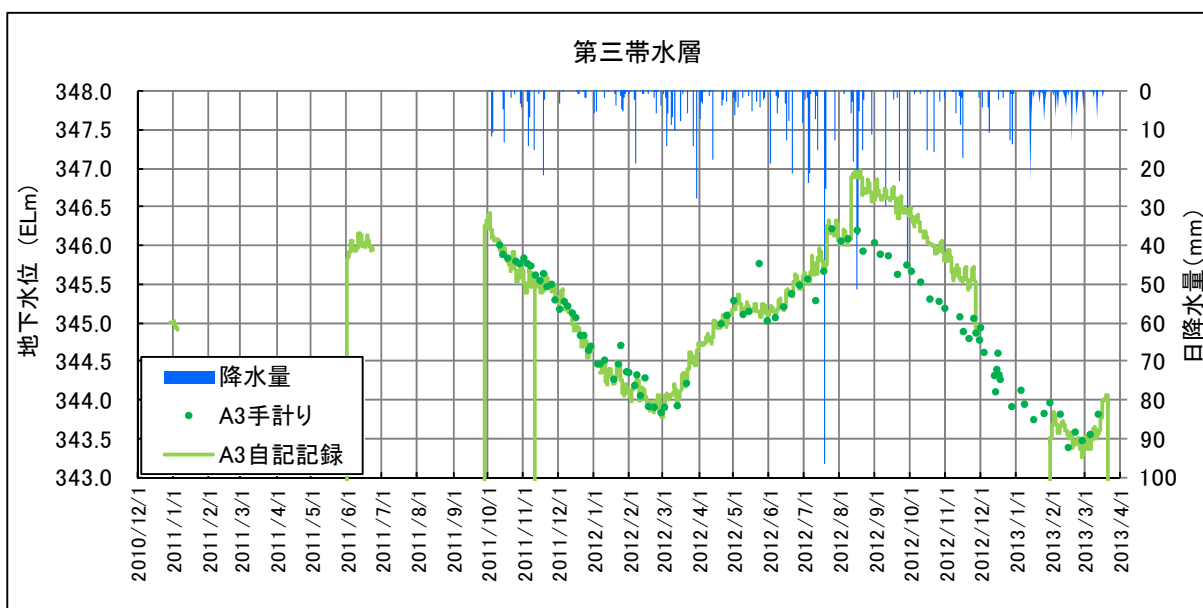
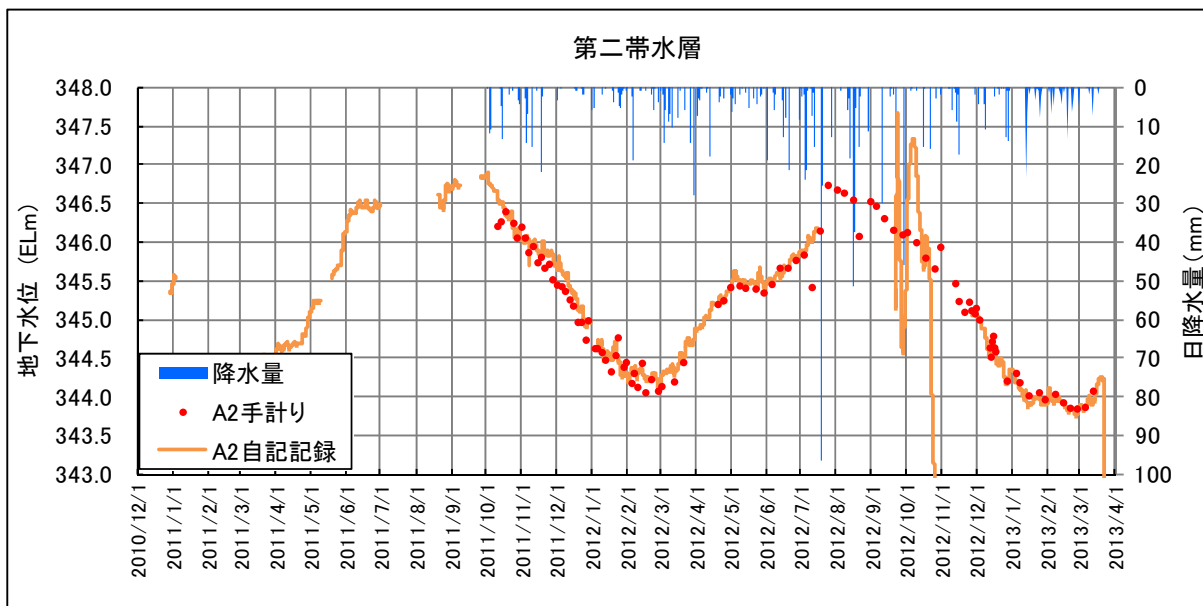
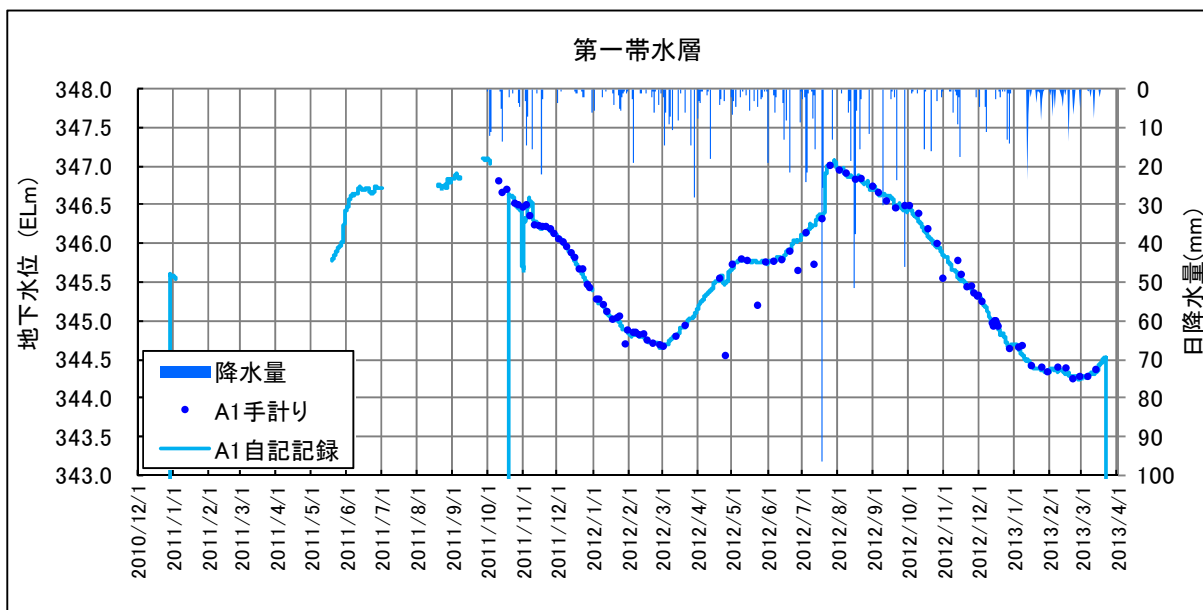


図- 3.3.4 地下水位の自記記録結果

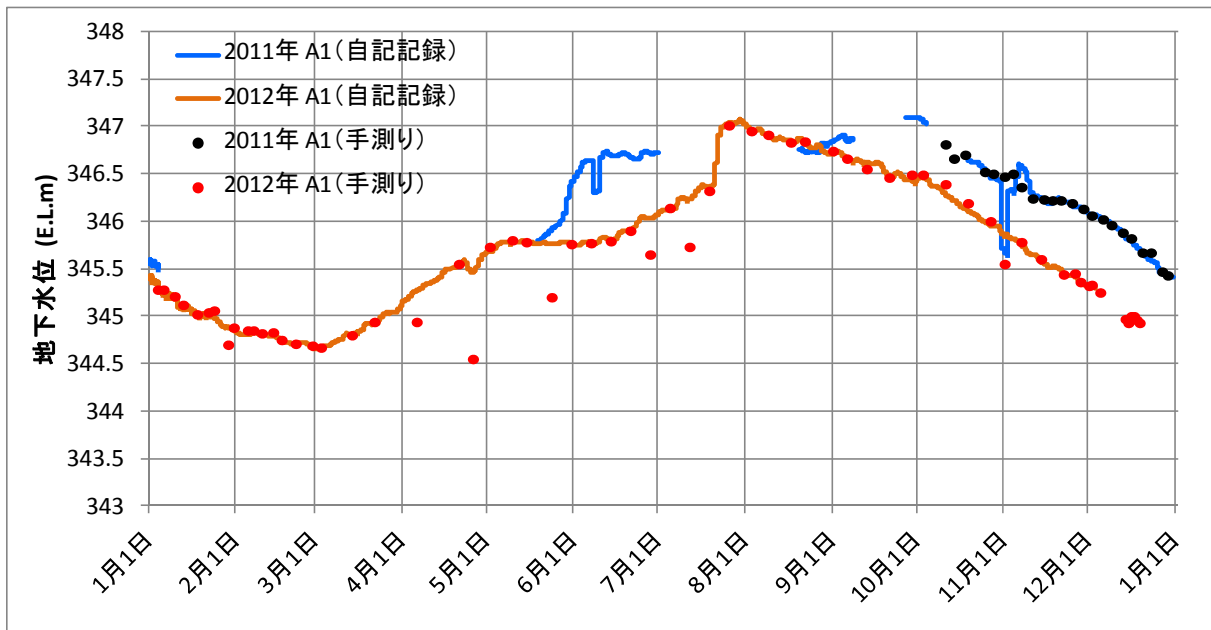


図- 3.3.5 地下水位の年間変動特性（第一帯水層）

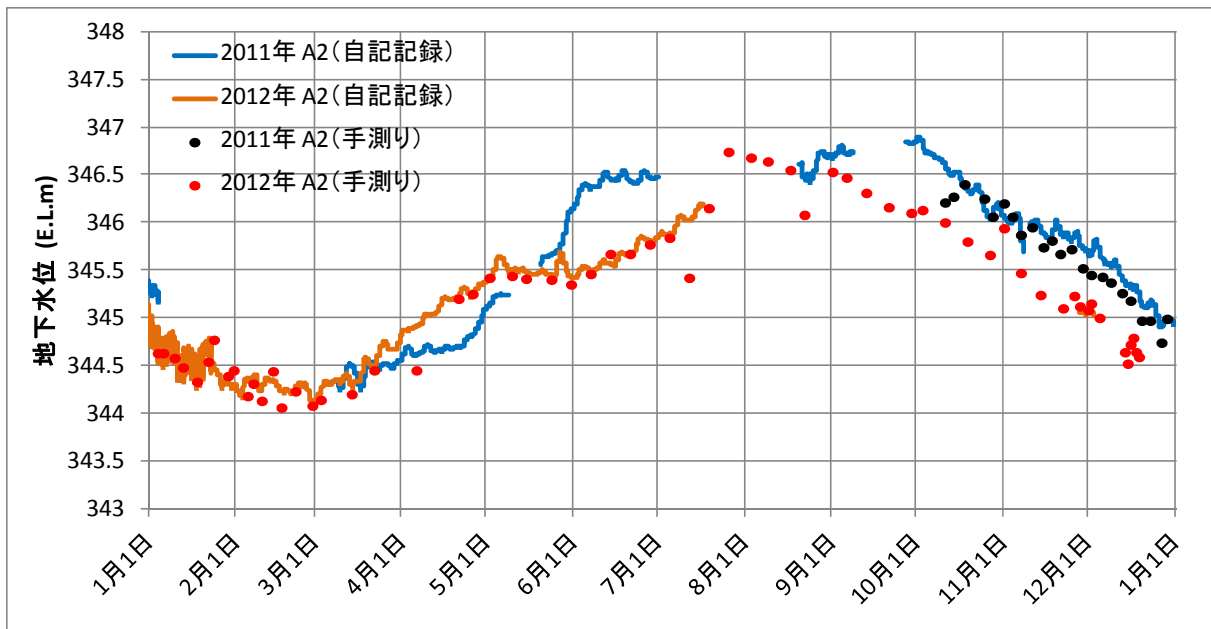


図- 3.3.6 地下水位の年間変動特性（第二帯水層）

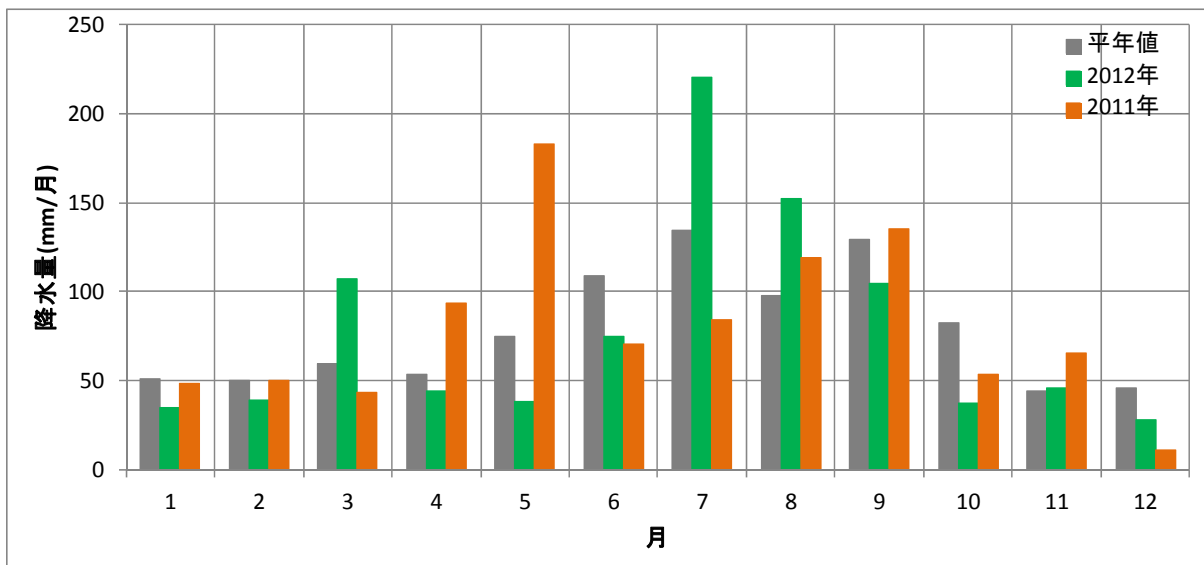


図- 3.3.7 月別降水量の比較：長野（長野気象台）

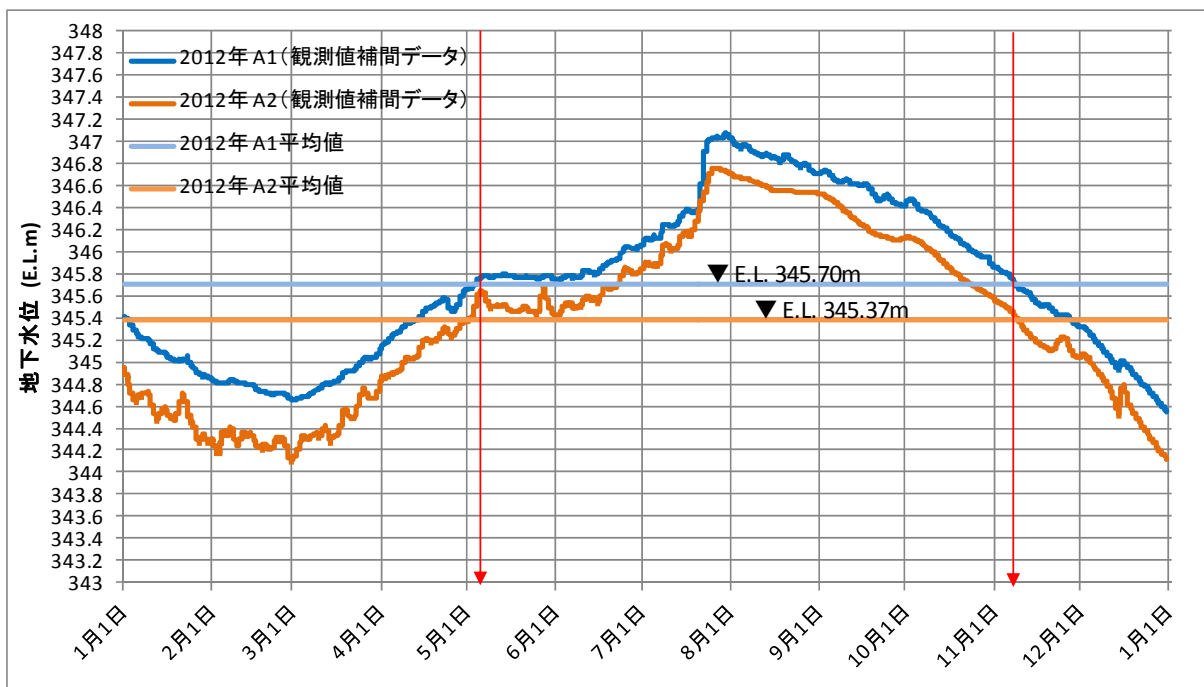


図- 3.3.8 補間した年間地下水位変動データ（2012年）と年平均水位

前述した周辺地下水利用の影響は、A孔群以外の調査孔においても同様に影響を受けていると想定される。そこで、自記記録結果より平日と土日・祝日では日変動特性に差異があることが明らかとなったことから、2012年の12月13日（金）、12月14日（土）、12月15日（日）、12月16日（月）の土日を挟む4日間において、他調査孔を対象に手測りによる地下水位観測を実施した。観測を実施する時間帯は正午前後（10時～14時）で統一した。

図- 3.3.9に第一帯水層、図- 3.3.10に第二帯水層の地下水位をそれぞれ示す。

これらより、第二帯水層を対象とする調査孔では、A2孔と同様に、平日から休日にかけて地下水位が回復し、その後休日から平日にかけて地下水位が低下する傾向が確認できた。一方、第一帯水層を対象とする調査孔では、顕著な地下水差は確認できなかった。A1孔はわずかに“平日が低く休日が高い”という傾向が確認できるが、これは第二帯水層、第三帯水層の影響を受けるB孔が近傍にあるためと考えられる。したがって、周辺地下水利用は、そのほとんどが第二帯水層および第三帯水層を対象としているものと考えられる。

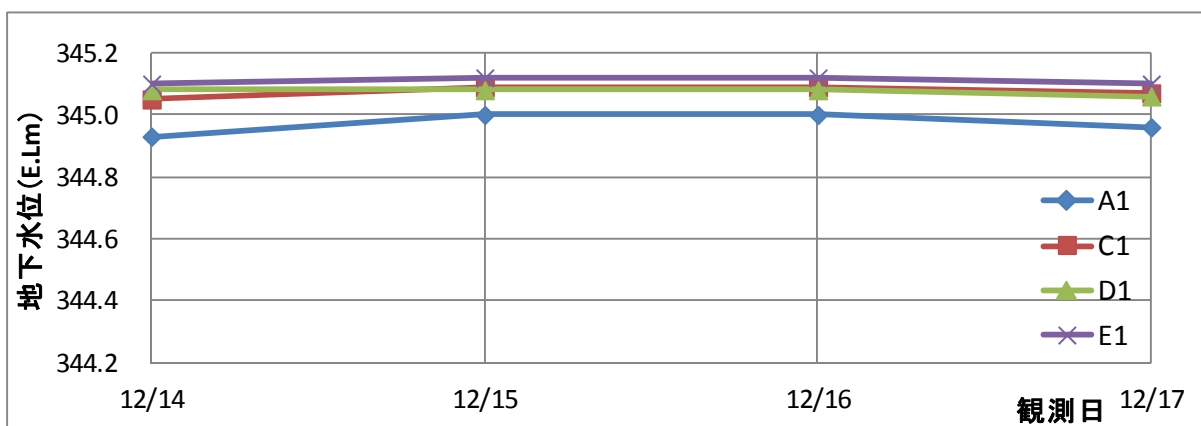


図- 3.3.9 全調査孔における平日と休日の地下水位変化（第一帯水層）

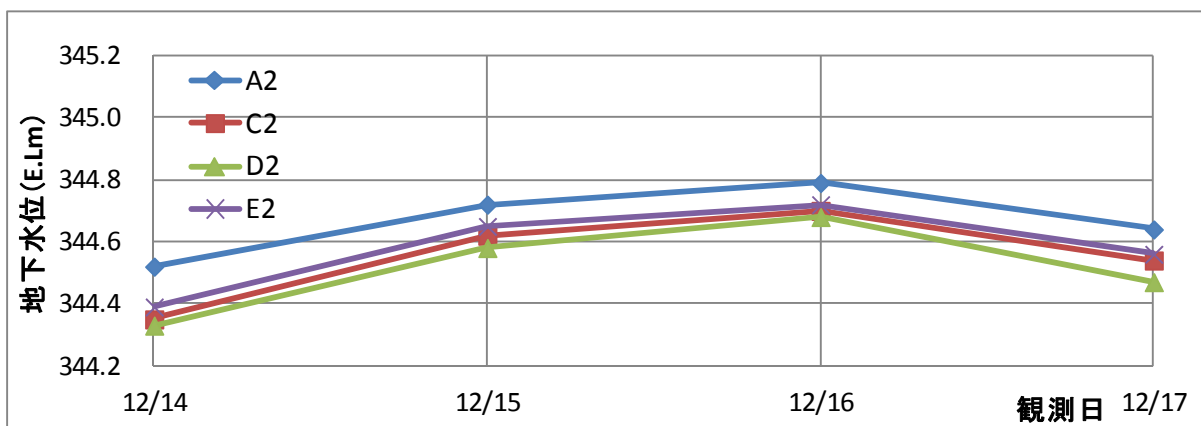


図- 3.3.10 全調査孔における平日と休日の地下水位変化（第二帯水層）

(3) 数値シミュレーションによる大学周辺地下水流動場の評価

参考までに、大学周辺における地下水流動場について、数値シミュレーションにより評価した事例を整理する。数値シミュレーションには、準三次元地下水シミュレーションコードFegwf8²を用いた。

導入サイト周辺で地下水の大規模利用をしている施設を図- 3.3.11に整理する。周辺施設で特に揚水量が大きいのは、信州大学工学部キャンパスの南東に位置するA社と長野市水道水源である。ちなみに、本実証試験で設置した井戸の配置は、A社と長野市水道水源を結ぶ直線上に位置する。したがって仮に、これら周辺施設の地下水利用により熱移動が助長されたとしても、システム設計時に想定した流線と同方向であるため、熱回収は可能であると考えられる。



| 施設名 | 揚水量 (m ³ /日) |
|-----------|-------------------------|
| A社 | 約 11,400 |
| B病院 | 約 400 |
| C施設 (長野市) | 約 360 |
| 長野市水道水源 | 約 22,000 |

図- 3.3.11 実証試験サイト周辺の大規模地下水利用施設

² 藤縄 (1995) : 第5回地下水シミュレーション講習会 コース : 「有限要素法の基礎」、日本地下水学会主催講習会資料など

各帯水層におけるキャンパス周辺からの揚水の影響について上記においても考察がなされているが、第一帯水層より第二帯水層からの揚水が中心に行われていることが考察からも判明した。このことから、周辺域の地下水流動解明のため、第二帯水層を対象とした準三次元地下水流動解析を東西2.5km、南北3.5kmの範囲で実施した。

図- 3.3.12、図- 3.3.13に解析結果図としてまとめた。図- 3.3.12はケース1として、解析モデル範囲の中でも一番揚水量の多いA社が揚水を稼働している間の地下水位分布を表したものであり、図- 3.3.13はケース2として、揚水停止時の地下水位分布を表している。また、モデル内に点在する赤丸は揚水井位置であり、年間10万m³以上の揚水井、もしくは工学部キャンパスから半径500m以内に位置する揚水井を抽出し、合計で9本の揚水井をモデルに反映している。

図- 3.3.12、図- 3.3.13より、地下水位分布は裾花川扇状地地形に則した形で緩やかに北西から南東方向にある犀川へと流動していることが分かる。上記でも述べたが、モデルの南に位置するA社が揚水を行うと、工学部キャンパス内にある観測井水位にも影響が出ていることが解析結果からも検証ができた。また、図- 3.3.14はA社揚水停止時の水位から稼働時の水位を差し引いて求めた影響範囲の図となっており、解析結果から稼働時と停止時では約34cmの水位差が生じることが分かった。

図- 3.3.15は2011年11月～2013年2月までの地下水位観測データと解析結果から得られた地下水位を、C2孔とD2孔の位置で比較したものであり、ケース1、ケース2の解析結果（定常計算）の水位は観測データの水位変動幅内に収まっている。また、観測データの平均水位はC2孔で345.24m、D2孔で344.96mであり、一方、ケース1での解析結果におけるC2孔での水位は344.95m、D2孔で344.75mであることから、双方の値とも近い水位が得られ、ケース2で得られた水位においてもC2孔が345.27m、D2孔で345.13mであることから、ケース2においても現実的な値が得られた。モデル全体でも、図中の星印で示した観測井にて水位検定を行っており、それらの観測井においても実測水位と解析水位との間に近い値が得られているため、モデルにある一定の精度が得られたと考えられる。

以上の事から、平日と休日における、ある一定の規則性を持った水位の変動が分かる水位観測データと解析結果を比較しても、整合性が取れたものとなっており、第二帯水層における水位変動はA社における揚水の影響が大きいものと想定される。

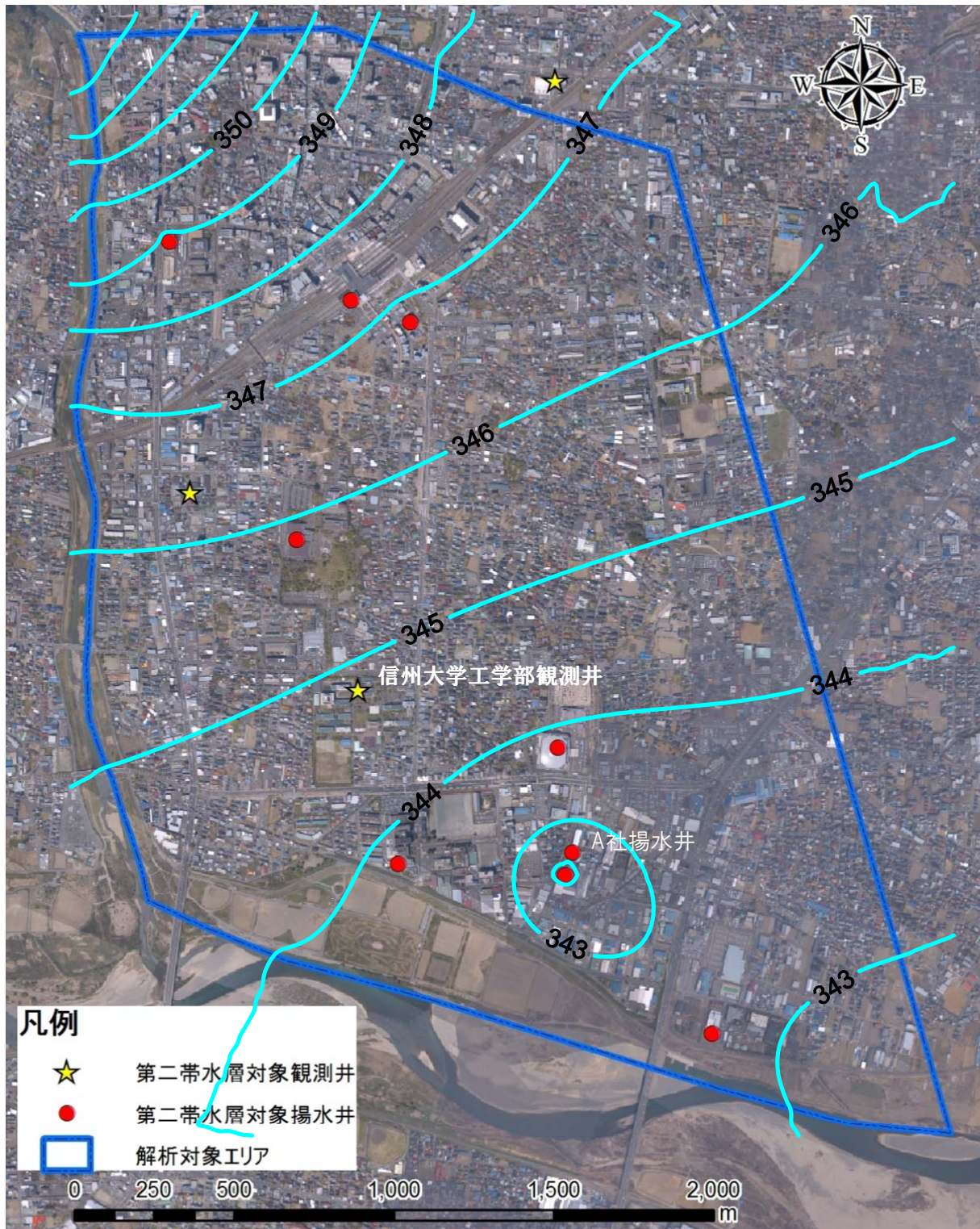


図- 3.3.12 ケース 1 : A社井戸揚水時の地下水分布



図- 3.3.13 ケース 2 : A社井戸停止時の地下水分布

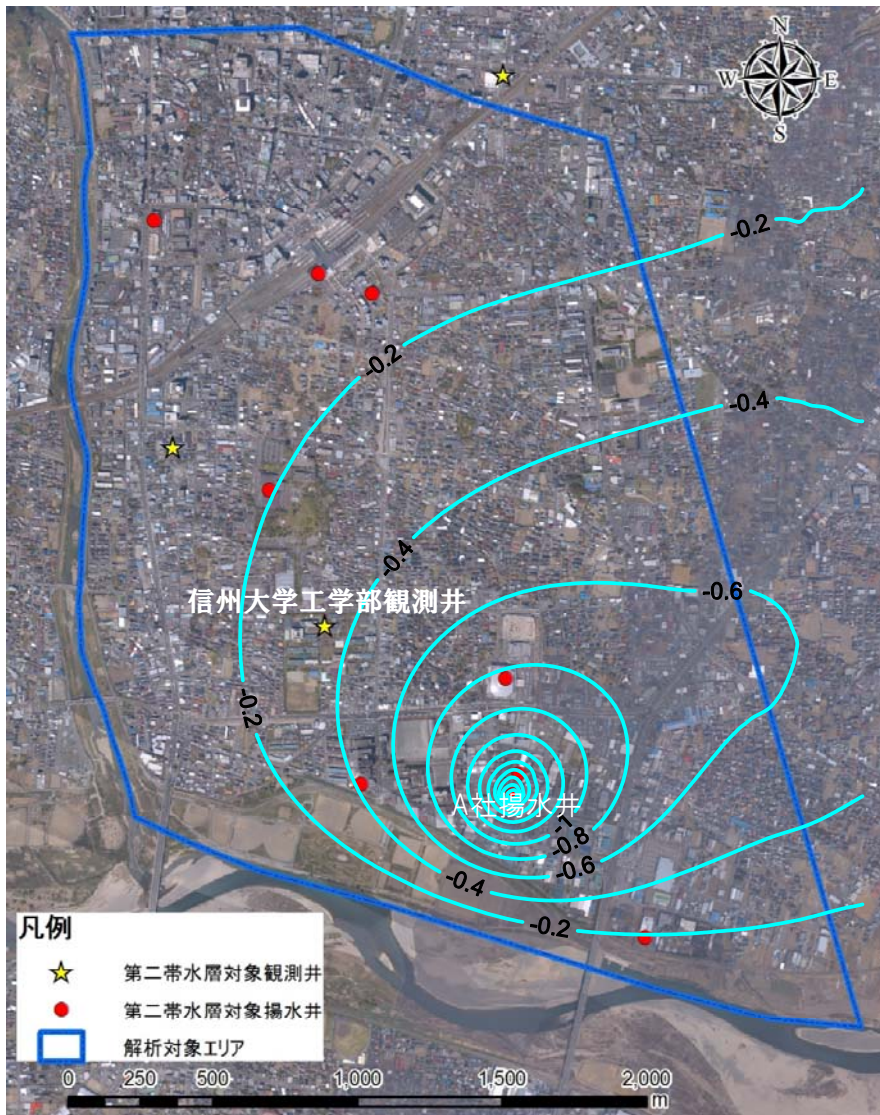


図- 3.3.14 A社における揚水の影響範囲

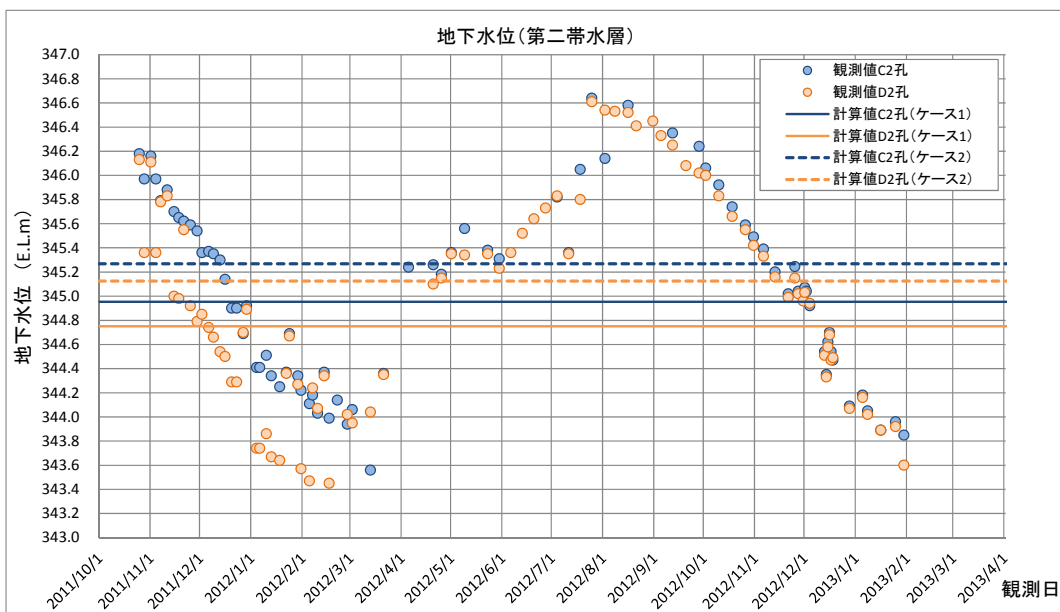


図- 3.3.15 地下水観測データと解析結果の比較

3.3.2 蓄熱状況の評価

(1) 原位置観測結果の考察

本実証試験においては帯水層の蓄熱状況を把握することが重要である。そこで各調査孔における地下水温度の時系列変化を視覚化するため、可視化ソフトウェアSurfer (Hulinks社)を用いて図化した。可視化結果を図- 3.3.16、図- 3.3.17に示す。なお、図化の際のデータの補間法にはInverse Distance to a Power法を採用し、図の縦軸の単位は(m)、横軸(時間軸)の単位は(日)として図化を行った。

次頁に、作成した図より考えられる蓄熱状況について整理する。

◆地下水温の原位置観測結果の考察

| 総論 | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ・夏季実証運転期間中に C2 孔より注入した温水が貯留されていることが確認できた。 ・C2 孔または E2 孔において第一帯水層と第二帯水層のシールド（遮水）が機能していない可能性がある。これにより、冬季実証運転期間に C1 孔に注入した冷水の一部が、C2 孔または E2 孔を介して第二帯水層へ移動しているおそれがある。 | |
| 調査孔名 | 考察 |
| C1 孔 | 冬季実証運転時の冷水注入孔で、暖房運転の冷水が数回観測できている。 夏季実証運転期間において高温帯が観測されたのは C1 孔と C2 孔（注入孔）である。第二帯水層への温水注入が、何らかの原因により第一帯水層へ影響を及ぼしたことが想定される。 |
| E1 孔 | 年間を通して、大きな温度変化がない。C1 孔へ注入した冷水が確認できていない。 |
| A1 孔 | 2012 年 1 月から 4 月中旬にかけて、比較的低い温度が観測されている。これは、冬季実証運転中に C1 孔へ注入した冷水の影響が考えられる。 |
| D1 孔 | 2012 年 9 月頃から低温の地下水温が観測されている。これが冬季実証運転中に注入された冷水の影響かどうかは現状では判断できない。今後も原位置観測を継続することとする。 |
| C2 孔 | 冬季実証運転終了後に冷水が観測されている。これは何らかの理由により、C1 孔に注入した冷水の影響が第二帯水層で生じたものと考えられる。 夏季実証運転時には温水を注入しており、現在まで継続して温水帯が観測されている。 |
| E2 孔 | 2012 年 1 月頃より比較的低温度の地下水が観測された。この観測結果は他の調査孔に比べて際立っており、E2 孔付近での冷水の存在が想定された。この理由としては、C2 孔または E2 孔におけるシールドの不備が考えられる。 |
| A2 孔 | 夏季実証運転時に注入した温水が観測されていない。今後も原位置観測を継続する。なおこの原因として、前述のとおり第二帯水層は周辺施設の地下水利用の影響を強く受けることがわかっており、この影響も無視できないものと考えられる。 |
| D2 孔 | D1 孔と同様に、2012 年 9 月頃から低温の地下水温が観測されている。これが冬季実証運転中に注入された冷水の影響かどうかは現状では判断できない。今後も原位置観測を継続することとする。 |

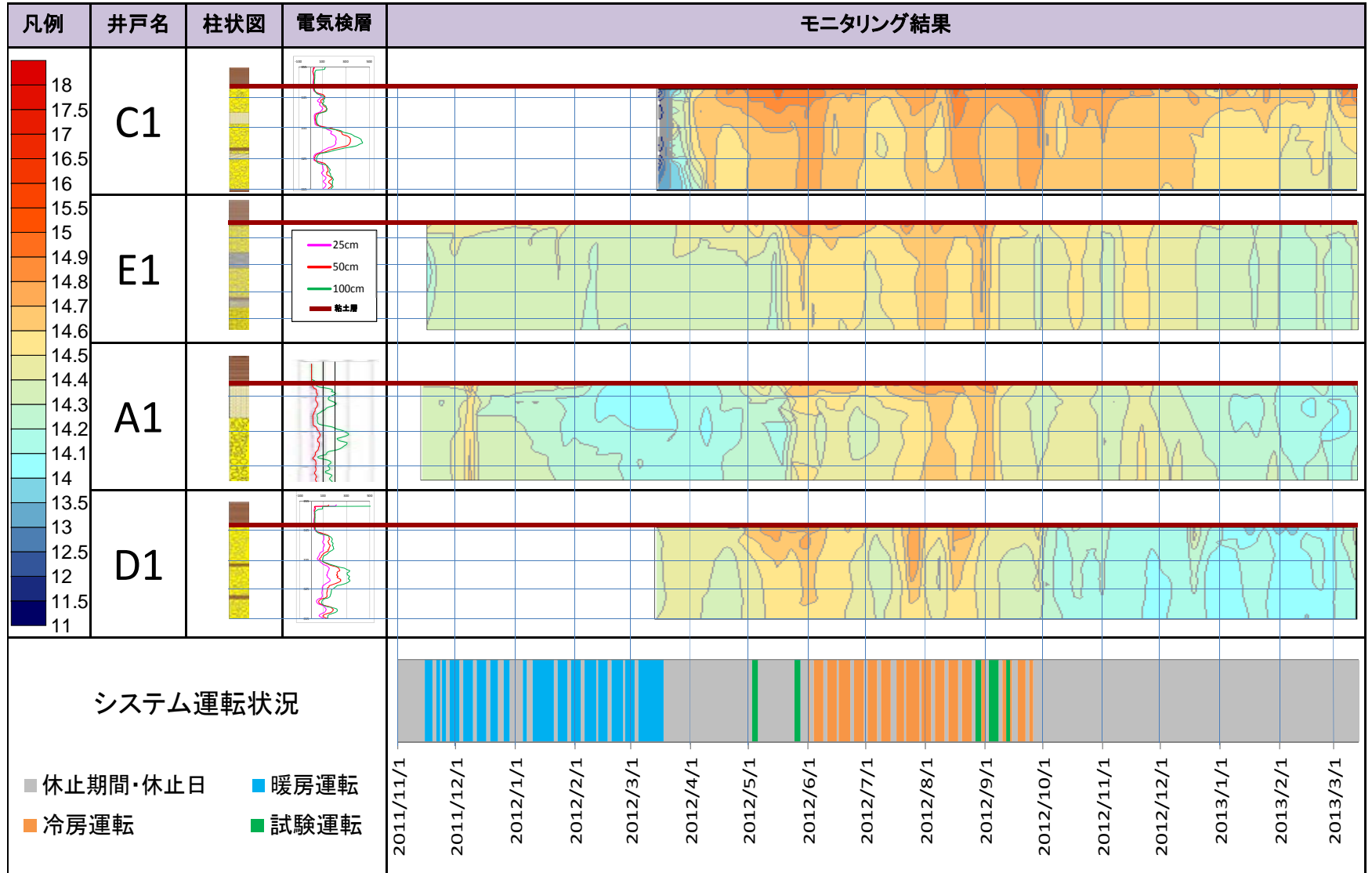


図- 3.3.16 各孔における地下水温度の経時変化（第一帯水層）

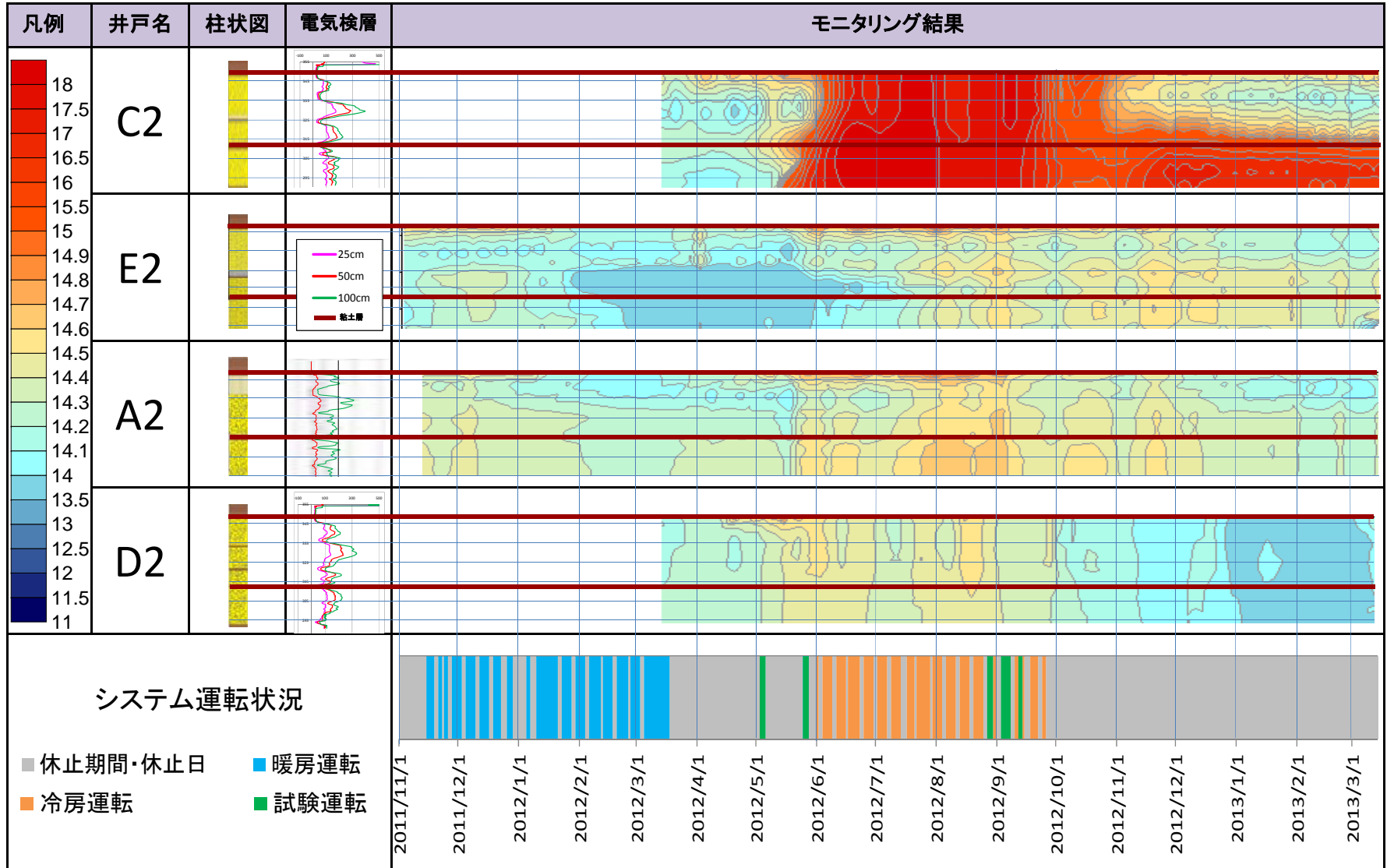


図- 3.3.17 各孔における地下水温度の経時変化（第二帯水層）

(2) 数値シミュレーションによる帯水層蓄熱状況の把握

NEDOプロジェクトでは、数値シミュレーションにより帯水層蓄熱状況を把握している。ここでは、当該検討結果を紹介する。

実証実験期間を対象とし、帯水層中の蓄熱状況や熱移動について、数値解析により把握する。なお、システム導入サイトは平坦な地形であること、揚水、注水のモデル化が必要であること等の理由より、数値解析にはSWATER3dp³を適用した。

1) 解析メッシュ

井戸配置を基に作成した有限要素メッシュの平面図を図- 3.3.18に、また計算に用いた3次元プリズム要素を図- 3.3.19にそれぞれ示す。

有限要素メッシュは図- 3.3.18に示すとおり、想定される地下水流動方向に対してx軸をとり、その直行方向にy軸を設定し、x-y平面上で200m×100mを解析対象領域とした。平面メッシュは、蓄熱と熱移動が想定されるC孔群からD孔群に至る調査孔近傍において特に細分（辺長2.5m）している。

本検討では、2つの帯水層を対象とし、粘土層と砂礫層の3次元互層モデルを作成している（図- 3.3.19参照）。本モデルの節点数は25,002、要素数は47,632である。また、計算対象領域は地表面（標高354.98m）から第二帯水層下面（標高290.28m）までとし、第一帯水層と第二帯水層を分離する粘土層付近はポテンシャル勾配が大きくなることが想定されるため、鉛直方向に細分している。また、同様の理由より第一帯水層の毛管水帯近傍も細分した。これら細分箇所の鉛直方向もメッシュサイズは約1.0mである。

³ 藤縄、富樫（2012）：地下熱利用技術 9. 地下熱利用のための数値解析技術、地下水学会誌、Vol.54、No.1、39-52.

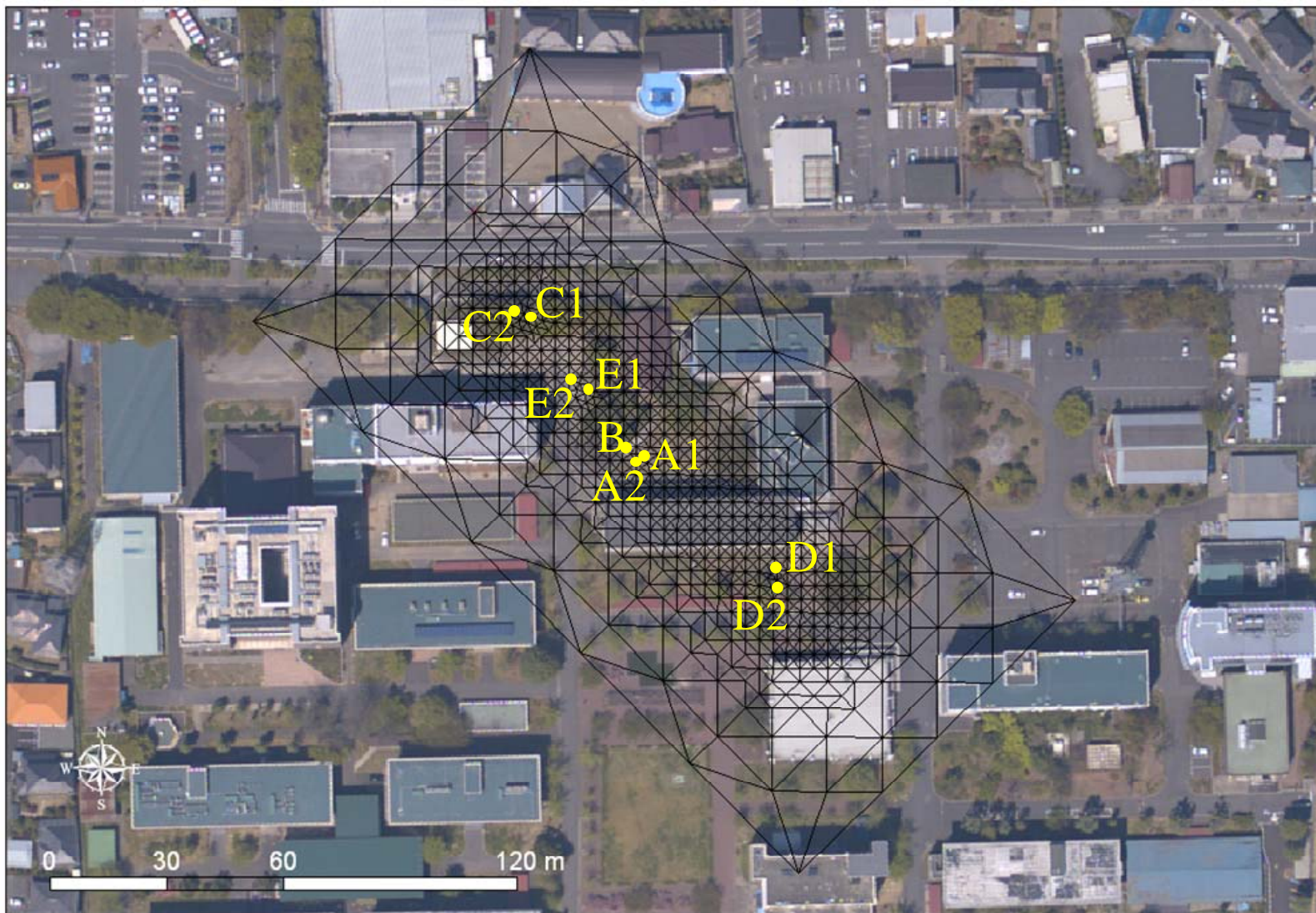


図- 3.3.18 有限要素メッシュ (平面図)

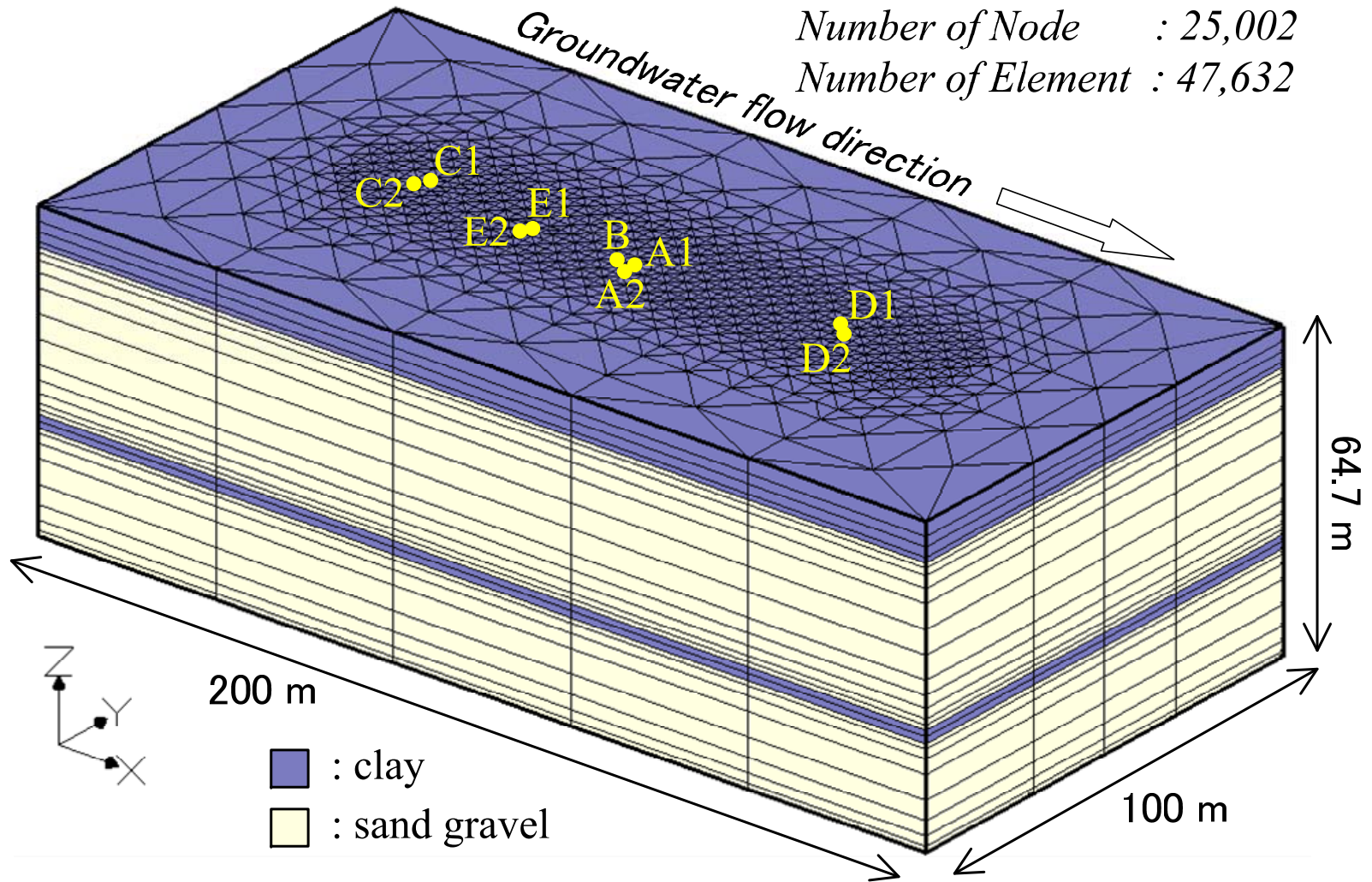


図- 3.3.19 有限要素メッシュ (3次元図)

2) 解析に用いたパラメータ

数値解析に用いたパラメータを表-3.3.1に示す。このうち、飽和透水係数、分散長などは前述の逆解析結果を採用している。また、間隙率はオールコアボーリングより推定した値を用いた。土壌水分特性曲線のパラメータは文献値を参考に、砂礫層を想定した土壌水分特性曲線を作成し、Powellの共役傾斜法を用いて同定したvan Genuchtenの式の α および β を用いた。

熱輸送計算に必要な固相、液相、気相の体積熱容量は文献値を採用した。また熱伝導率は、液相、気相についてはそれぞれ空気と水を対象とした文献値を用い、固相は以下に示す方法により概算した値を用いている。

◆固相の熱伝導率の設定方法

信州大学構内で、熱応答試験が別途2度実施されている。このうち1回は第一、第二の両帯水層を対象としており、もう一回は第一帯水層のみを対象としている。ここでは、両帯水層を対象とした熱応答試験より得られた結果を用いて、固相の熱伝導率を設定している。

なお、大学構内の地下水はほぼ飽和状態(水飽和度 $S=1.0$)であり、かつ地下水流動がほとんどないと仮定した。また、間隙率はオールコアサンプリング結果より0.2と推定した。予め明らかとなっていた原位置の見かけの熱伝導率を用いて、固相の熱伝導率を逆算して推定すると、見かけの熱伝導率2.51 (W/w/K) のとき固相の熱伝導率は5.291 (W/w/K) となる。

表- 3.3.1 数値解析に用いたパラメータ

| 基準温度 4°Cのときの飽和透水係数 | | | |
|-----------------------|---------------|---------|--------------------|
| 粘土層 | K_r | 0.00036 | m/hr |
| 砂礫層(第一帯水層) | K_r | 0.306 | m/hr |
| 砂礫層(第二帯水層) | K_r | 1.104 | m/hr |
| 間隙率 | ε | 0.200 | - |
| 飽和体積含水率 | θ_s | 0.200 | - |
| 残留体積含水率 | θ_r | 0.100 | - |
| van Genuchten 式のパラメータ | | | |
| α | | 5.270 | /m |
| β | | 2.138 | - |
| 横分散長 (第一帯水層) | α_L | 3.561 | m |
| 横分散長 (第二帯水層) | α_L | 10.089 | m |
| 縦分散長 (第一帯水層) | α_T | 0.3561 | m |
| 縦分散長 (第二帯水層) | α_T | 1.0089 | m |
| 体積熱容量 | | | |
| 固相 | $(\rho C)_s$ | 550.00 | J/m ³ K |
| 液相 | $(\rho C)_w$ | 1161.11 | J/m ³ K |
| 気相 | $(\rho C)_a$ | 0.3361 | J/m ³ K |
| 熱伝導率 | | | |
| 固相 | λ_s | 5.291 | W/mK |
| 液相 | λ_w | 0.594 | W/mK |
| 気相 | λ_a | 0.024 | W/mK |

3) 初期条件・境界条件

浸透流解析で必要となる初期水頭分布および境界条件は、地下水の原位置観測結果を基に設定した。

地下水の原位置観測結果より、動水勾配は第一帯水層、第二帯水層ともに1/2,000と考えられ、またC1孔、C2孔の年間平均地下水位をそれぞれ346.00mと345.50mと推定して、図-3.3.20に示すとおり地下水流下方向(x軸方向)の全水頭分布を設定した。これを3次元領域に拡大し、初期水頭分布としている。

一方、上流側境界と下流側境界は定水頭境界として扱うこととし、境界条件で設定する全水頭値についても図-3.3.20に示す値を用いている。なお、上流側境界が図中の $x=0$ (m)、下流側境界が図中の $x=200$ (m)である。

熱輸送解析における境界条件はすべての面を不分散境界として取扱い、初期水温分布は原位置観測結果より 14.0°C で一定とした。

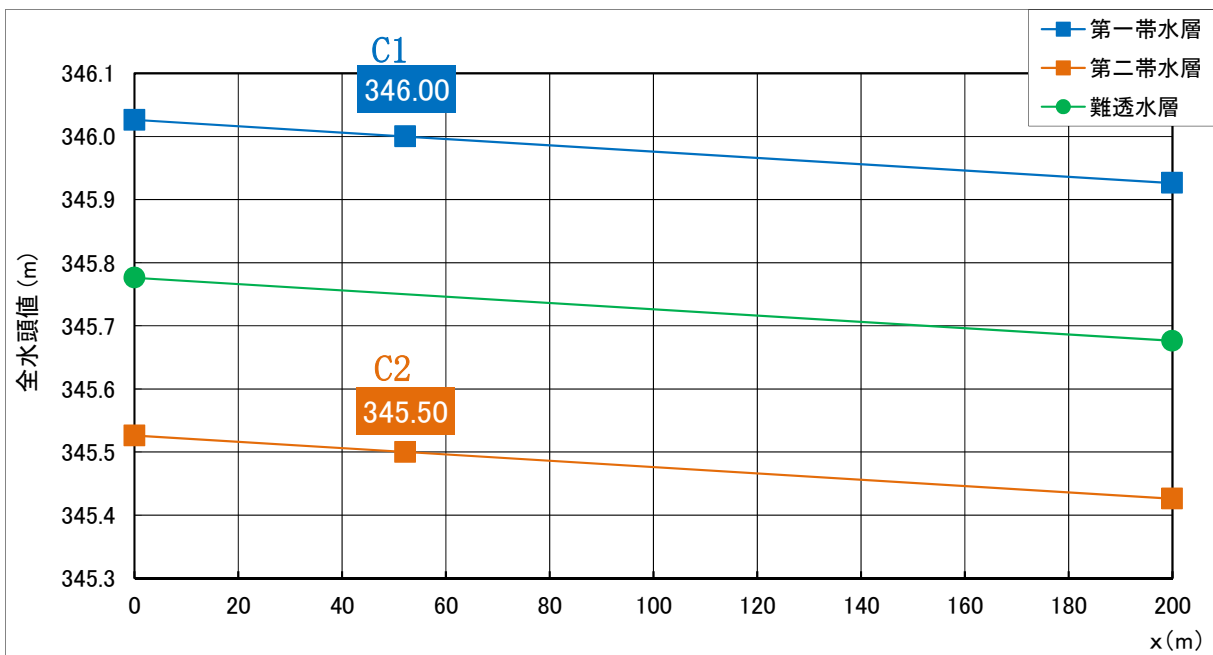


図- 3.3.20 地下水原位置観測より推定した自然地下水の全水頭分布

4) システム運転条件

本検討は実証試験の再現計算となるため、冷暖房運転期間や実際のシステム稼働時間、また稼働時における地下水揚水量、注水量、注水温度等を、正確にモデル条件に反映した。なおモデル化した井戸は、実証試験と同様に、暖房運転時は揚水井D2孔、注水井C1孔、冷房運転時は揚水孔D1孔、注水井C2孔である。

計算期間は平成23年11月15日（暖房運転試験開始時点）から平成24年11月15日の一年間とし、計算条件には実際のシステム運転時のモニタリングより得られた揚水量、注水量、注水温度をそれぞれ時系列で設定した。これらシステム運転条件を表- 3. 3. 2に示す。また、図- 3. 3. 21、図- 3. 3. 22にはそれぞれ、モニタリングより得られた実際の揚水量・注水量および注水温度の時系列データを示す。これら条件の下で現況再現計算を実施した。

表- 3. 3. 2 システム運転条件

| 運転モード | 運転期間 (年月日) | 揚水量 (m ³ /hour) | 注水温度 (C°) |
|-------|----------------------|-------------------------------|---------------|
| 暖房 | 2011/11/15~2012/3/17 | 1.3~11.5 | 8.2~13.9 |
| 休止 | 2012/3/18~2012/5/31 | - | - |
| 冷房 | 2012/6/1~2012/9/25 | 3.4~11.5 | 15.5~21.5 |
| 休止 | 2012/9/26~2012/11/15 | - | - |

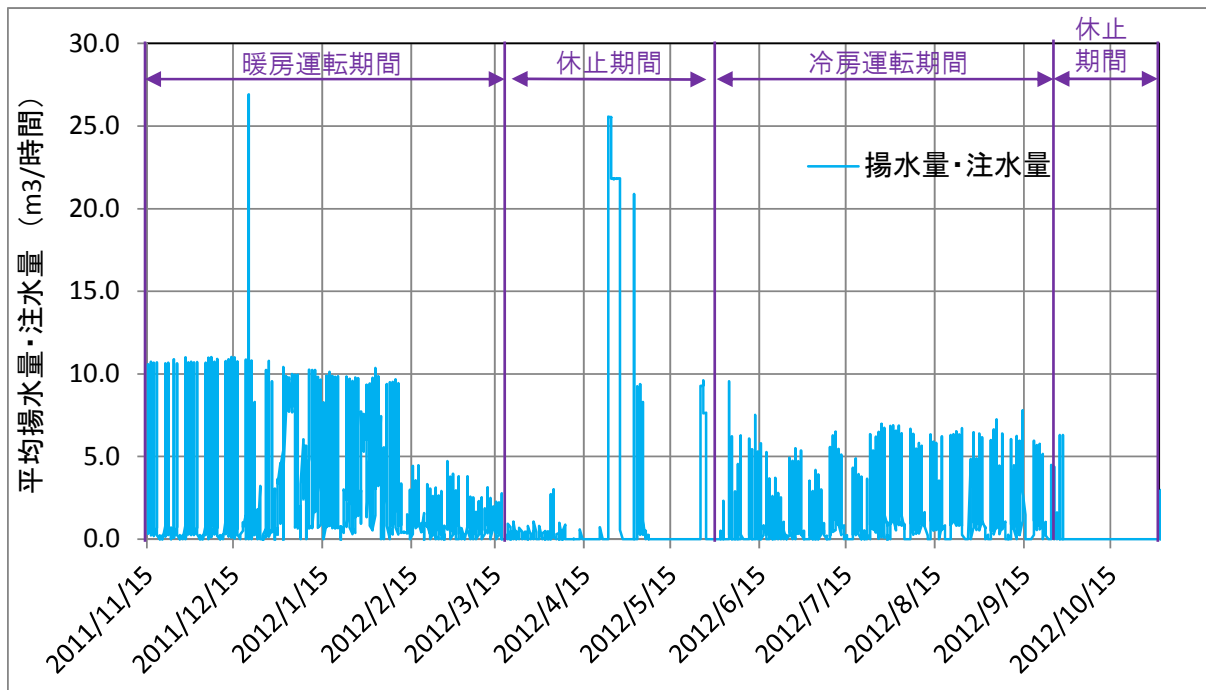


図- 3.3.21 現況再現計算に用いた揚水量・注水量 (m³/hr)

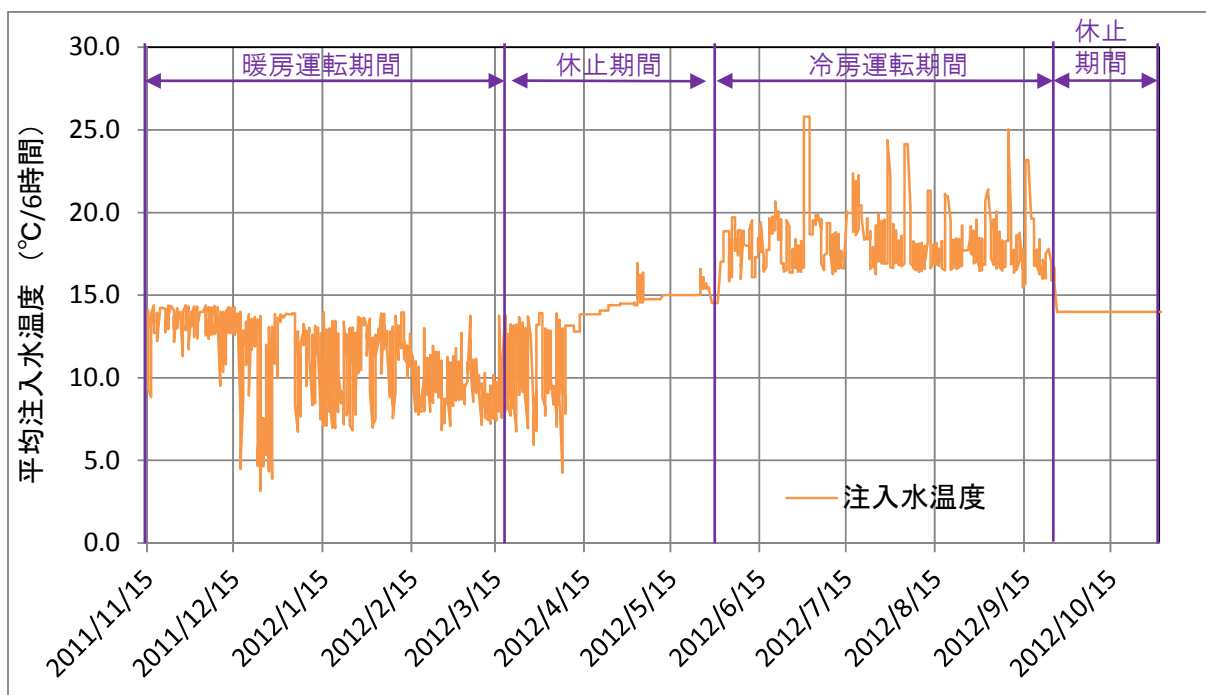


図- 3.3.22 現況再現計算に用いた注水温度

5) 現況再現計算結果

現況再現計算は、前項までに整理した条件を基本ケース（現況再現1）として、動水勾配を大きくしたケース（再現計算2）、C1孔の熱応答試験より得られた熱伝導率を用いたケース（再現計算3）の3ケースを実施している。各ケースの計算条件を表- 3.3.3に示す。

表- 3.3.3 各現況再現計算ケース

| ケース名 | 計算時間 | 初期温度 | 空調用井戸 | | | | 揚水量・注水量 (m ³ /hr) | | 注水温度 | | 動水勾配 | | 備考 |
|-------|------|--------|-------|-----|-----|-----|------------------------------|-----|------|-----|---------|---------|---------|
| | | | 冷房 | | 暖房 | | 冷房 | 暖房 | 冷房 | 暖房 | 第一帯水層 | 第二帯水層 | |
| | | | 揚水井 | 注水井 | 揚水井 | 注水井 | | | | | | | |
| 現況再現1 | 1年間 | 14.0°C | D1 | C2 | D2 | C1 | 実測値 | 実測値 | 実測値 | 実測値 | 1/2,000 | 1/2,000 | 基本ケース |
| 現況再現2 | 1年間 | 14.0°C | D1 | C2 | D2 | C1 | 実測値 | 実測値 | 実測値 | 実測値 | 1/200 | 1/200 | 動水勾配見直し |
| 現況再現3 | 1年間 | 14.0°C | D1 | C2 | D2 | C1 | 実測値 | 実測値 | 実測値 | 実測値 | 1/2,000 | 1/2,000 | 熱伝導率見直し |

(a) 現況再現計算（現況再現1）

実証試験期間の再現計算結果を図- 3.3.23および図- 3.3.24に整理した。

両図より、暖房期間中はC1孔より第一帯水層に冷水が蓄熱され、冷房期間中はC2孔より第二帯水層に温水が蓄熱される結果となっている。しかしながら、暖房期間に形成された冷水塊は、冷房運転期間までに揚水井となるD1孔までは到達せず、季節間の蓄熱利用ができていない状況であることがわかった。これは当初想定された地下水流動場に対して、実際の地下水流速が小さい（動水勾配が小さい）ためと考えられる。

以上の結果より、実証試験においてシステム運転した1年間での熱回収は期待できないものの、長期間運転をする場合は、連続運転期間が長期となるほど帯水層中に貯留される冷水塊および温水塊は増大するため、このままの運転条件でも熱回収効率が次第に向上するものと考えられる。

なお計算結果より、第一帯水層と第二帯水層では蓄熱状況が異なることがわかる。特に第二帯水層に貯留される温水は、第一帯水層の冷水に比べ温度フロントの移動がより大きい傾向が明らかである。これは、第一帯水層より第二帯水層の方が横分散の値が約3倍、また透水係数も約3倍それぞれ大きいことに加え、注入した温水により水の粘性度が低くなり透水係数が上昇したことが影響を及ぼしたものと考えられる。

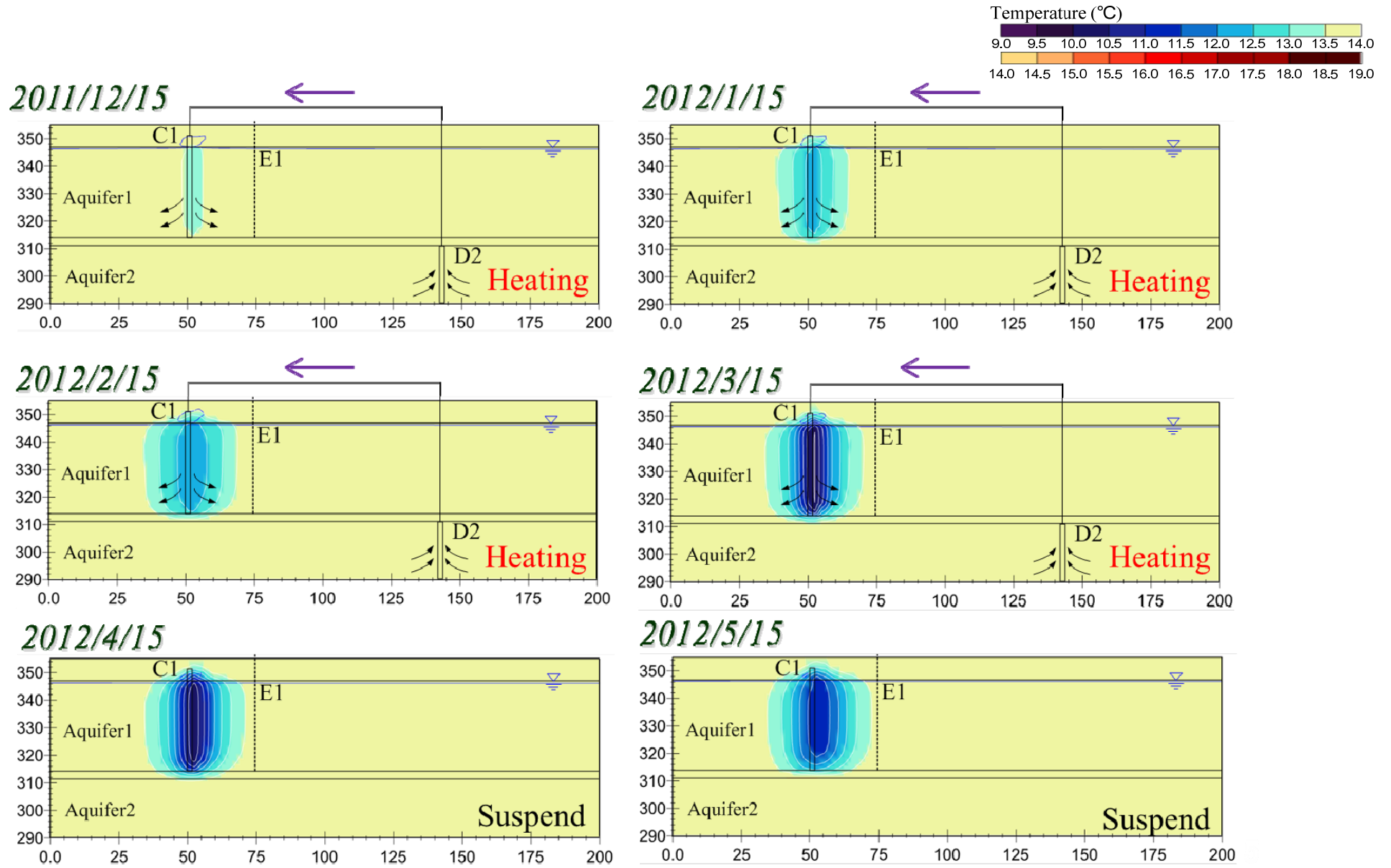


図- 3. 3. 23 【現況再現 1】 シミュレーションによる蓄熱状況 (1 / 2)

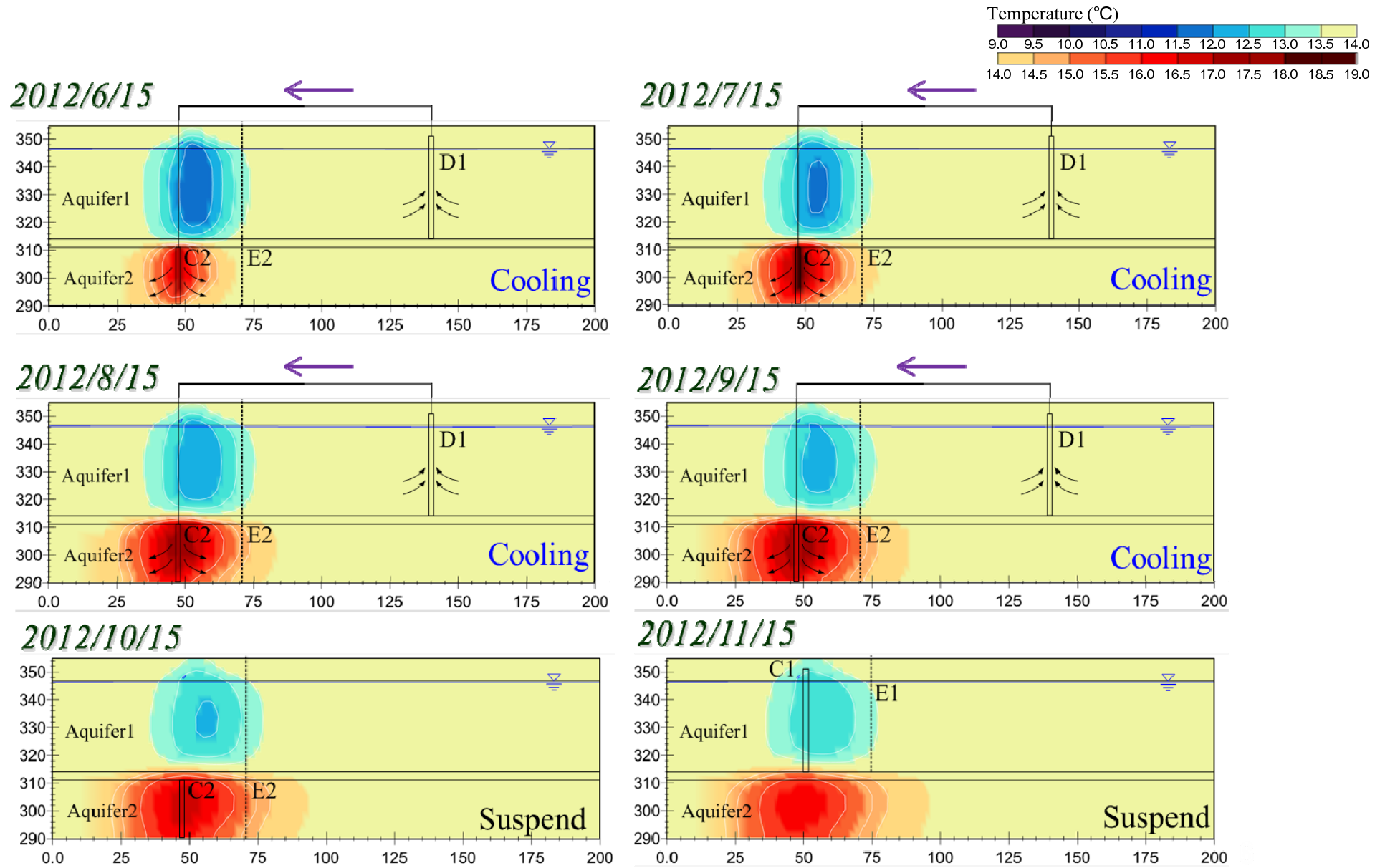


図- 3.3.24 【現況再現 1】 シミュレーションによる蓄熱状況 (2/2)

(b) 現況再現計算（現況再現2）

前述のとおり、本実証試験において流向流速試験を実施している。この試験結果と別途実施した揚水試験結果より概算される動水勾配は、 $1/10 \sim 1/20$ と極めて大きく、流向流速試験で観測された流速の確からしさが疑われる。しかしながら、地下水位の原位置観測結果からも明らかなように、導入サイトでは周辺における揚水の影響を大きく受けているため、移流効果が想定より大きい可能性がある。そこでここでは、動水勾配を現況再現1の10倍（ $1/200$ ）とし、実証試験期間の再現計算を行った。計算結果を図- 3.3.25および図- 3.3.26に示す。

解析で用いた各パラメータは現況再現1と同値ではあるものの、動水勾配を10倍としたことで移流効果が増大し、温度フロントの移動速度が速くなることがわかる。計算開始から6ヶ月後（2012/5/15）には冷水塊がE1孔に到達している。しかしながら、移流の増大により冷水塊の分散が促進され、現況再現1ではC1孔付近の地下水温が $11.0^{\circ}\text{C} \sim 11.5^{\circ}\text{C}$ であったのに対し、現況再現2では $12.0^{\circ}\text{C} \sim 12.5^{\circ}\text{C}$ となっている。

一方、解析開始から7ヶ月後（2012/6/15）は冷房期間となり、第二帯水層に温水が注水されている。10ヶ月後（2012/5/15）には温水塊の温度フロントが $x=143\text{m}$ 付近まで進んでD2孔に到達している。また、現況再現1ではC2孔付近に滞留していた温水塊が、現況再現2では回収井となるD2孔まで達している。

以上の結果より、実証期間中においてE1孔に冷水塊が到達することが明らかとなったが、E1孔への冷水到達は現場観測結果からは明確には確認できていないことから、動水勾配を過大に設定する必要性を判断するには至らないものと考え、本ケースは参考検討の位置づけであると判断した。

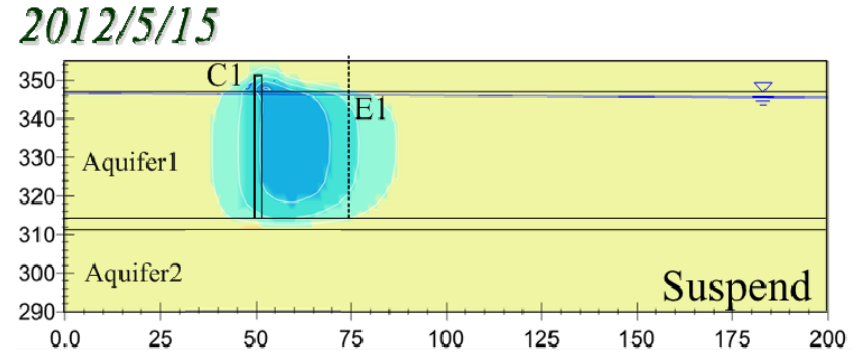
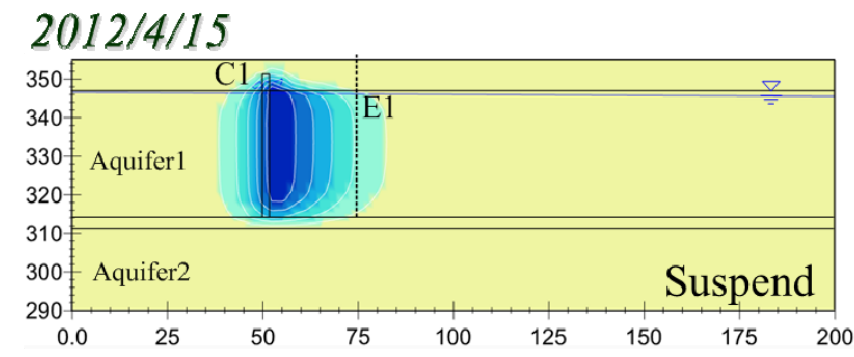
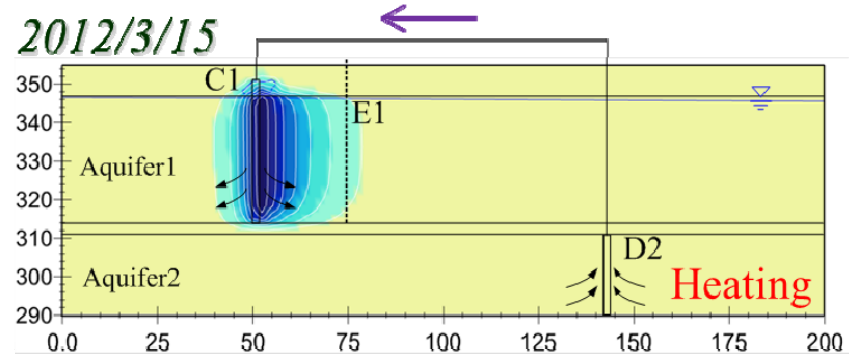
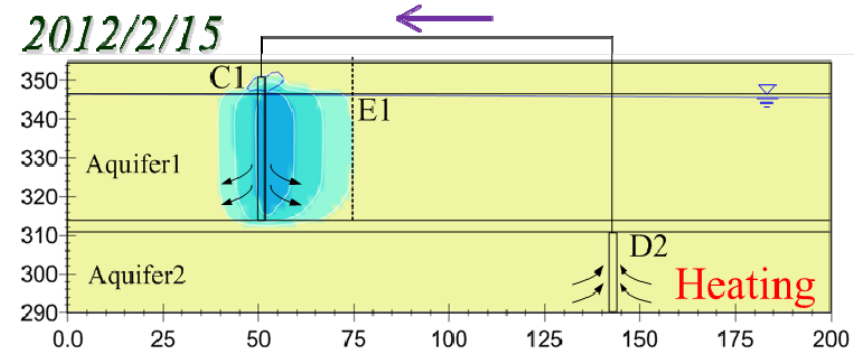
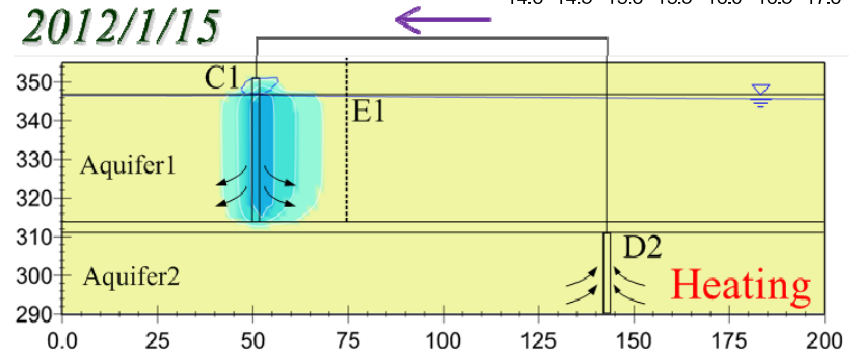
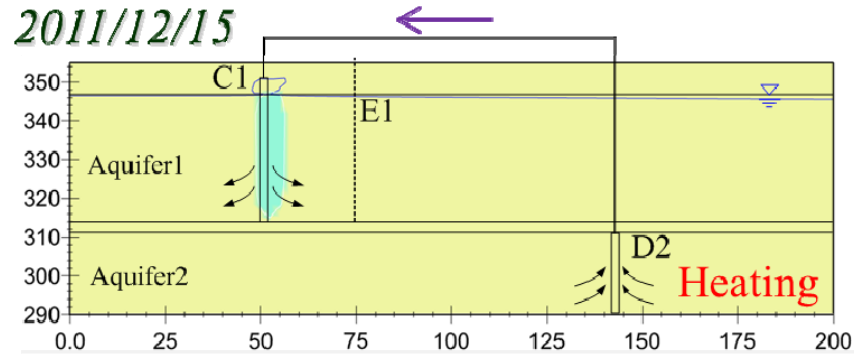
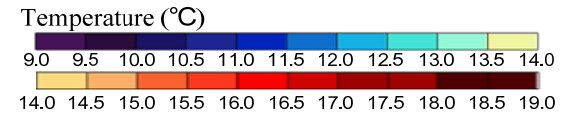


図- 3. 3. 25 【現況再現 2】 シミュレーションによる蓄熱状況 (1 / 2)

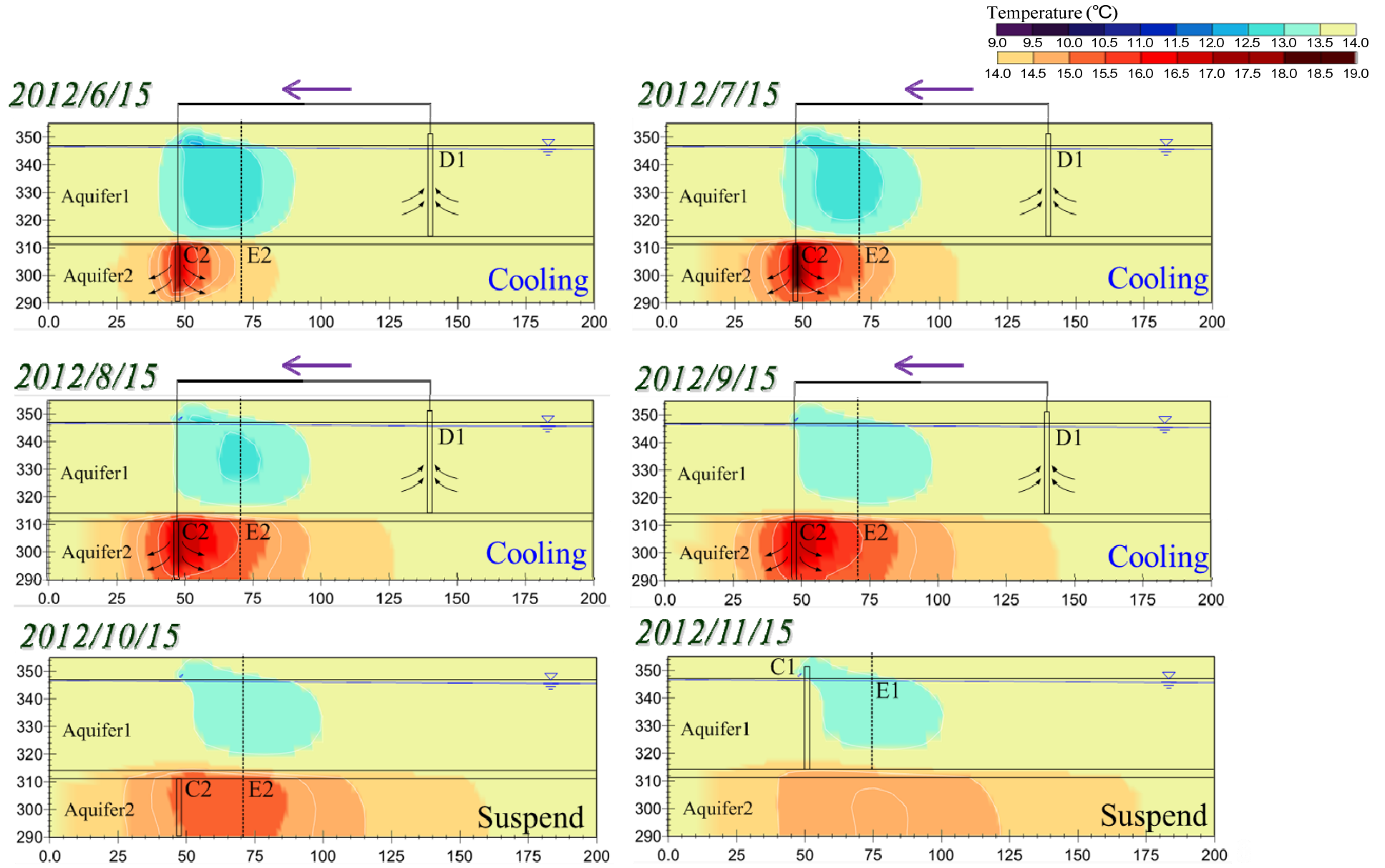


図- 3. 3. 26 【現況再現 2】 シミュレーションによる蓄熱状況 (2 / 2)

(c) 現況再現計算（現況再現3）

前述のとおりC1孔を利用した熱応答試験を実施しているが、本検討の現況再現1のケースでは、データの信頼性の観点より熱応答試験専用孔で実施した試験より得られた熱伝導率を採用した。ここでは再現計算1との比較を目的とし、C1孔の試験結果から評価された熱伝導率を用い、再現計算3を実施した。なお、再現計算1では見かけの熱伝導率を2.51W/m/Kとしたが、本ケースでは2.82W/m/Kとして計算している。その他解析で用いたパラメータは現況再現1と同様である。

現況再現3の計算結果を図-3.3.27および図-3.3.28に整理した。これら結果より、現況再現1とほとんど差異のない冷温水の蓄熱および移動状況となることがわかった。したがって、見かけの熱伝導率が10%程度変わったとしても、システム性能に影響するような蓄熱状況の変化は生じないと言える。

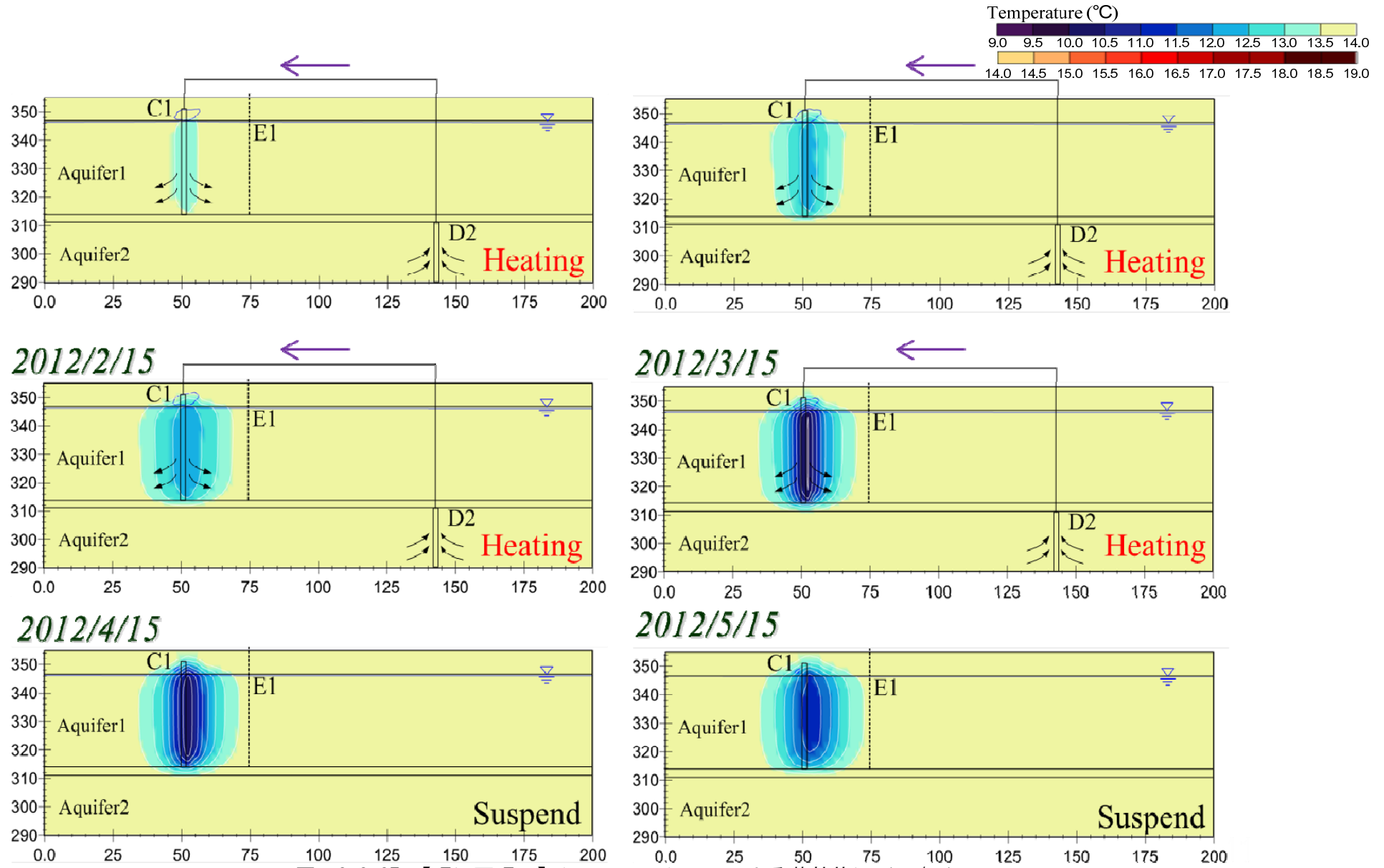


図- 3.3.27 【現況再現3】シミュレーションによる蓄熱状況 (1/2)

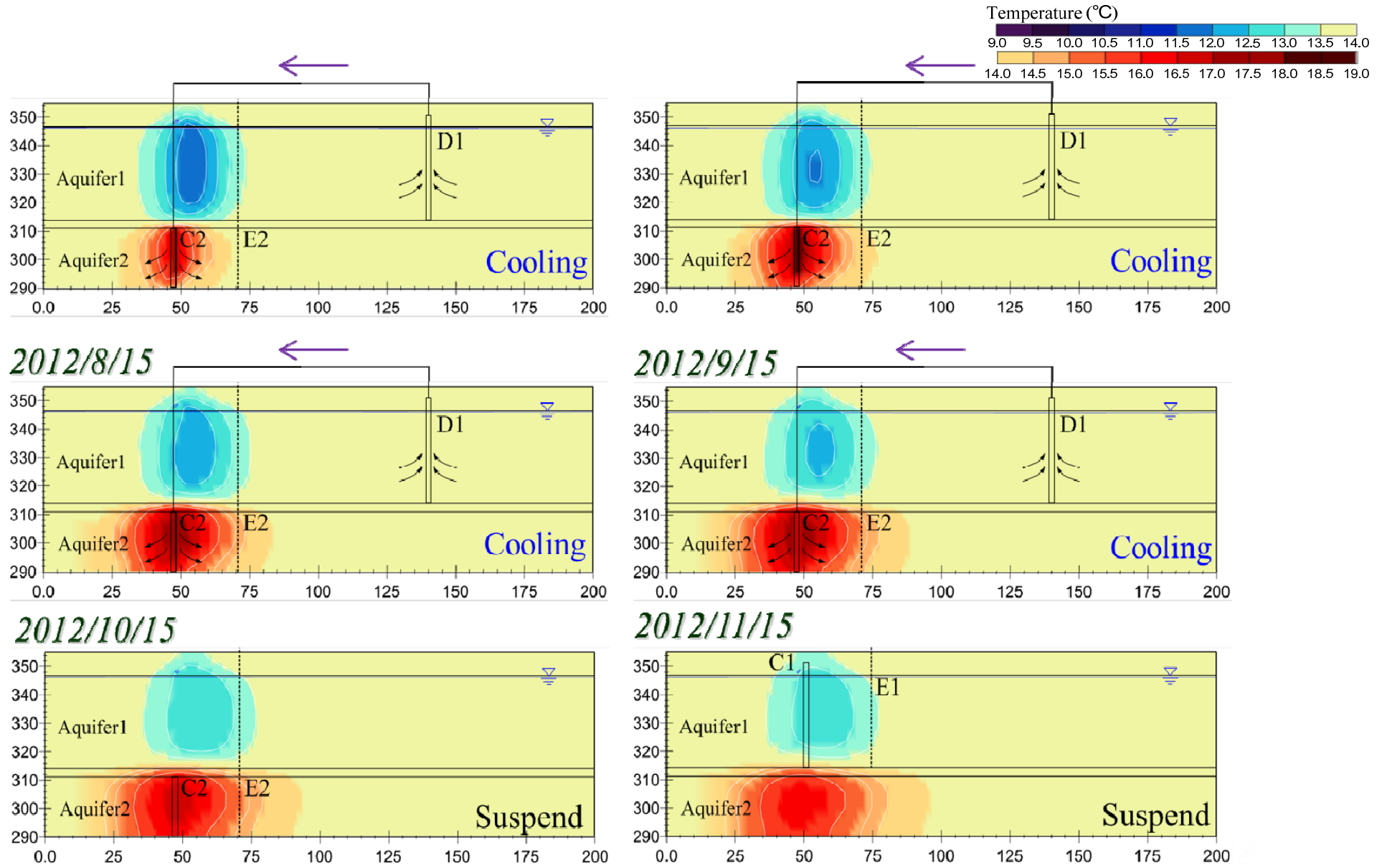


図- 3.3.28 【現況再現3】シミュレーションによる蓄熱状況 (2/2)

3.3.3 地下熱利用技術の導入にあたっての留意点

原位置調査結果および数値シミュレーション結果より、以下が明らかとなった。


- ・信州大学工学部の実証試験サイトでは、流向流速試験から得られた結果とは異なる地下水流動が想定される。
- ・実証試験サイトにおける地下水位の変動状況より、周辺施設による揚水の影響を受けている。
- ・実証調査期間に帯水層に蓄熱された冷水・温水について、滞留状況および熱移動状況の詳細を、既存観測井における原位置観測のみでは詳細が把握できない。
- ・数値シミュレーション結果から得られる熱移動状況より、蓄熱状況の把握には地下水流動場の評価（特に地下水流速）が重要である。
- ・また、熱伝導率を感度パラメータとした検討では、見かけの熱伝導率の10%程度の差異は、蓄熱状況に与える影響はほとんどない。

以上を踏まえ、地下熱利用技術の導入にあたって、次の項目に留意する必要があると考えられる。

- ・オープン型の地下熱利用の場合は、帯水層蓄熱効果を期待できるが、このとき地下水流動場の評価が非常に重要となる。
- ・クローズド型の地下熱利用の場合も、地中に放熱した温冷熱の移動がシステム効率の維持に大きく役立つこととなるため、システム導入地における移流効果の評価が重要となる。
- ・一方、適切なシステム設計のためには正確な熱伝導率の評価が必要となるが、数値シミュレーションの結果、熱伝導率に顕著な差異がない場合は、システム効率も大きく変わるものでない。
- ・したがって、数値解析に用いる固相の熱伝導率の決定には既往の熱応答試験で十分であると考えられ、重要なのは、見かけの熱伝導率を決定する地下水面深さや地下水流速の評価を地域単位で定量評価することである。

3.3.4 数値シミュレーションの基本条件

机上調査より明らかなように、安曇野市の地下水流動機構における豊富な湧水量は、地域の大きな特性である。安曇野市において数値シミュレーションにより地下熱利用技術の導入効果を評価するには、この特徴的な地下水流動機構を細密に表現する必要がある。地下水流動機構の再現の重要性については、前項で記述したとおりである。なお、図中に示す詳細地下水流動モデルと熱移動モデルは、便宜的に別項目として整理したが、前掲のSWATERを適用することで、これらの一連で検討することが可能である。



| 広域水循環モデル | 詳細地下水流動モデル | 熱移動モデル |
|---|---|---------------------------------------|
| 松本盆地を対象とする広域水循環モデルを構築し、量的観点で地域における水収支の再現性を確保する。 | 安曇野市を対象とする詳細な地下水流動モデルを構築し、湧水現象等、安曇野市における地下水流動機構の再現性を図る。 | 詳細地下水流動モデルを用いて、熱移動現象を連成する熱移動モデルを構築する。 |

図- 3.3.29 安曇野市における数値シミュレーションの検討ステップ

以上を踏まえ、安曇野市を対象とする数値シミュレーションモデルの構築に必要なデータ項目を表-3.3.4に列挙する。これら項目のうち、3次元グリッドモデル、地下水の流動計算、検証用の各データについては、前述した机上調査結果を用いることができる。

表- 3.3.4 数値シミュレーションモデルの構築に必要なデータ項目

| 3次元グリッドモデル | | | 地下水の流動計算 | | | | |
|------------|----------|-----------|---------------|---------------|-----------------|------|-----|
| データの名称 | | | データの名称 | | | | |
| 大項目 | 細目 | | 大項目 | 細目 | | | |
| 地形モデル | 陸域 | 標高 | 気象モデル | 降雨量 | | | |
| | 海域 | | | 蒸発散量 (自然地) | 気温 | 可照時間 | |
| 表層モデル | 土地利用 | マニングの粗度係数 | | | 蒸発散量 (市街地) | 降雨量 | |
| | | 透水係数 | | 気圧 | | | |
| | 表層土壌 | | | 日射量 | | | |
| 地質モデル | 地下地質 | 透水係数 | | 水利用 | 河川取水 | | |
| | | 有効空隙率 | | | 河川取水 (農業用水) | 水田面積 | 減反率 |
| | | 不飽和透水係数 | | | 地下水取水 | | |
| | | 毛管圧力 | | | 地下水取水 (農業用水) | 水田面積 | 減反率 |
| | | 圧縮率 | | | 放水量、排水量 | | |
| | | | 流体物性 | 密度 | | | |
| | | | | 粘性 | | | |
| | | | | 圧縮率 | | | |
| 熱移動の計算 | | | 検証用 | | | | |
| データの名称 | | | データの名称 | | | | |
| 大項目 | 細目 | | 大項目 | 細目 | | | |
| 原位置データ | 地下水温(鉛直) | | 自然状態の 流況復元 | 河川流量 | | | |
| | 湧水温度 | | | 地下水位 | | | |
| 帯水層定数 | 分散長 | | | 湧水地分布 | | | |
| | 固相の熱伝導率 | | 現況再現 | 河川流量 | | | |
| | 液相の熱伝導率 | | | 地下水位 | | | |
| | 気相の熱伝導率 | | | 地下水温 | | | |
| | 固相の体積熱容量 | | | | | | |
| | 液相の体積熱容量 | | | | | | |
| 気相の体積熱容量 | | | | | | | |

4. 課題と来年度の方針

4.1 小水力発電関連の課題

発電箇所の今後の課題として、有望地点の大巻（月岡）地区で、今後ナノ水力発電を開発する上での課題について、以下より述べる。

[課題]

- ①ナノ水車設置箇所の水路落差工には、設置に伴う一部改造が必要となるので、地域住民の合意が必要である。
- ②年間の通水量が不明であり、流量調査を行い、年間の発電量変動を把握する必要がある。
- ③ナノ水車設置設計のために、水路構造物の正確な形状寸法を測定しておく必要がある。
- ④要施設候補の公民館が発電箇所から直線距離で約180mあり、距離がある。
発電力は低いと考えられるので、近傍で夜間照明や電磁柵など発電所と需要施設の距離がない計画を行うことが望ましい。

4.2 地下熱関連の課題

信州大学工学部で実施された実証試験を踏まえ、安曇野市に地下熱利用技術を導入する際に事前に把握すべきいくつかの次項が明らかとなった。これを受け、現状における課題を以下に整理する。

[課題]

- ①地下熱利用の導入効果の評価には、原位置観測のみでなく、数値シミュレーションによる評価を同時に行うことが望ましい。
- ②地下熱利用技術の導入効果の評価は、地下水流動場の把握が不可欠である。
- ③安曇野市における地下水流動場の評価には、松本盆地全域における水循環機構の再現が必要となる。
- ④松本盆地を対象とする広域水循環モデルにより大まかな地下水流動を把握し、この計算結果を、安曇野市を対象とする詳細モデルの境界条件に引き継げるように、広域と詳細の両モデルがデータ互換性を有するように留意が必要である。

4.3 平成25年度以降の調査（案）

前項までで整理した課題を踏まえ、小水力発電関連および地下熱関連のそれぞれで、次年度以降の調査計画（案）を検討する。検討結果を表-4.3.1に示す。なお、小水力発電関係については別途表-4.3.2に整理するとおり、平成25年度中にナノ水力発電有望地点を選定し、移動、発電のデータを収集するまでを目的とした調査を実施する必要がある。

表- 4.3.1 各現況再現計算ケース

| | 小水力発電関連調査 | 地下熱関連調査 |
|--------|--|---|
| 平成25年度 | <div style="text-align: center;"> <p>1.水量観測</p> <p>1)水路水位観測 2)定期流量・流速測定</p> <p>↓</p> <p>2.調査データ解析</p> <p>1)観測データ解析 2)気象データ解析 3)最有力地点の選定と水車導入計画 ※導入計画は信州大学主体で検討</p> <p>↓</p> <p>水車の設置</p> <p>※1箇所程度(信州大学が設置)</p> <p>↓</p> <p>3.水量観測 (フォローアップ)</p> <p>1)水位計の再設置 2)連続観測</p> <p>↓</p> <p>4.調査結果の評価</p> <p>1)観測データ整理、解析 2)水量と発電量の関係検討 3)次年度の調査計画立案</p> </div> | <p>観測計画案を含む</p> <p>1.地下水流動シミュレーションモデル構築(広域モデル)</p> <p>1)広域地下水シミュレーションモデルの構築 2)現況再現計算 3)将来予測計算</p> <p>↓</p> <p>2.各種データ整理</p> <p>1)信州大学工学部の地下熱冷暖房施設の観測データ整理 2)安曇野市における湛水田観測データ、地下水位データ</p> <p>↓</p> <p>3.調査検討の評価</p> <p>1)各種観測データの解析 2)水・熱連成地下水シミュレーションモデル構築にあたっての課題 3)次年度調査計画立案</p> |
| 平成26年度 | <p>1.水量観測 (フォローアップ)</p> <p>1)水路水位観測 2)定期流量・流速測定</p> <p>↓</p> <p>2.調査結果の評価</p> <p>1)観測データ整理、解析 2)水量と発電量の関係検討 3)3年間の調査検討結果のとりまとめ</p> | <p>1.各種データ整理</p> <p>1)信州大学工学部の地下熱冷暖房施設の観測データ整理 2)安曇野市における湛水田観測データ地下水位データ</p> <p>↓</p> <p>2.水・熱連成地下水シミュレーションモデルの構築(詳細モデル)</p> <p>1)水・熱連成詳細シミュレーションモデルの構築 2)導入効果予測計算</p> <p>↓</p> <p>3.調査検討の評価</p> <p>1)各種観測データの解析 2)地下水涵養湛水田の効果検討(生態系への寄与など) 3)地下熱利用の効果検討 4)3年間の調査検討結果のとりまとめ</p> |

表- 4.3.2 平成25年度ナノ水力発電計画（案）

| 月 | 作業項目 | | | |
|--------|---------------------------|-------------------------------|-------------------|----------------|
| | 調査 | 水車 | | |
| H25. 4 | 有力候補 再設定 | | | |
| 5 | ・水位計設置 ・流速測定 ・H-Q設定 | ・有力候補地点 構造物測定 ・水車設置方法検討 | | |
| 6 | 水位・ 流量 観測 | 水車 設計 ・ 製作 | | |
| 7 | | | ・流速測定 ・H-Q補足設定 | |
| 8 | | | | |
| 9 | | | | |
| 10 | | | | |
| 11 | | | | |
| 12 | | | | |
| H26. 1 | | | | 水車設置・ 発電量計測 |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |