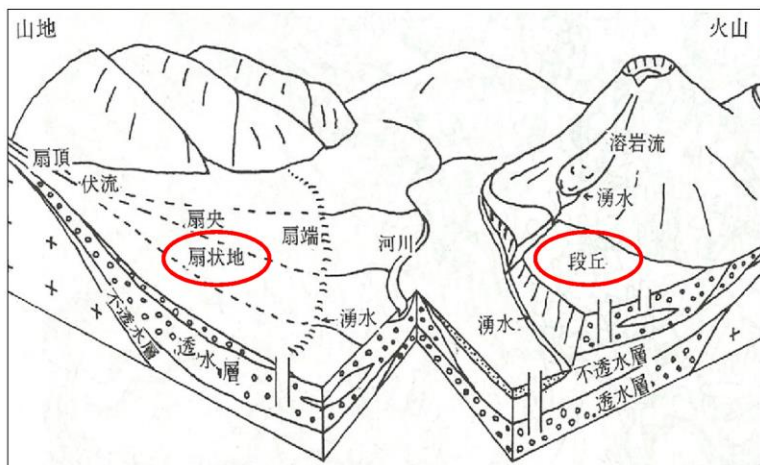


安曇野市水循環の可視化に資する研究業務 〈報告〉

1. 契約受託者 国立大学法人 信州大学
2. 研究題目 安曇野市水循環の可視化に資する研究業務
3. 研究担当者 国立大学法人 信州大学工学部
水環境・土木工学科 中屋 眞司 教授
4. 研究実施場所 安曇野市 ・ 国立大学法人 信州大学
5. 研究機期間 平成27年11月9日から平成28年10月31日
6. 研究概要 「安曇野市水環境基本計画」の策定に当たって、策定を進めている安曇野市水環境基本計画策定委員会の運営を円滑化し、より実現性・具現性の高い計画として議論が進められるような「調査・評価・解析・検討」を行う。

3. 安曇野市の概要と本業務の着目点

3.1 地下水の器



次ページ地質模式断面線

高瀬川

乳川

中房川

烏川

黒沢川

梓川

鎖川

奈良井川

- 山地・丘陵
- 波田面
- 森口面
- 沖積面

穂高川

三川合流部

犀川

万水川

3

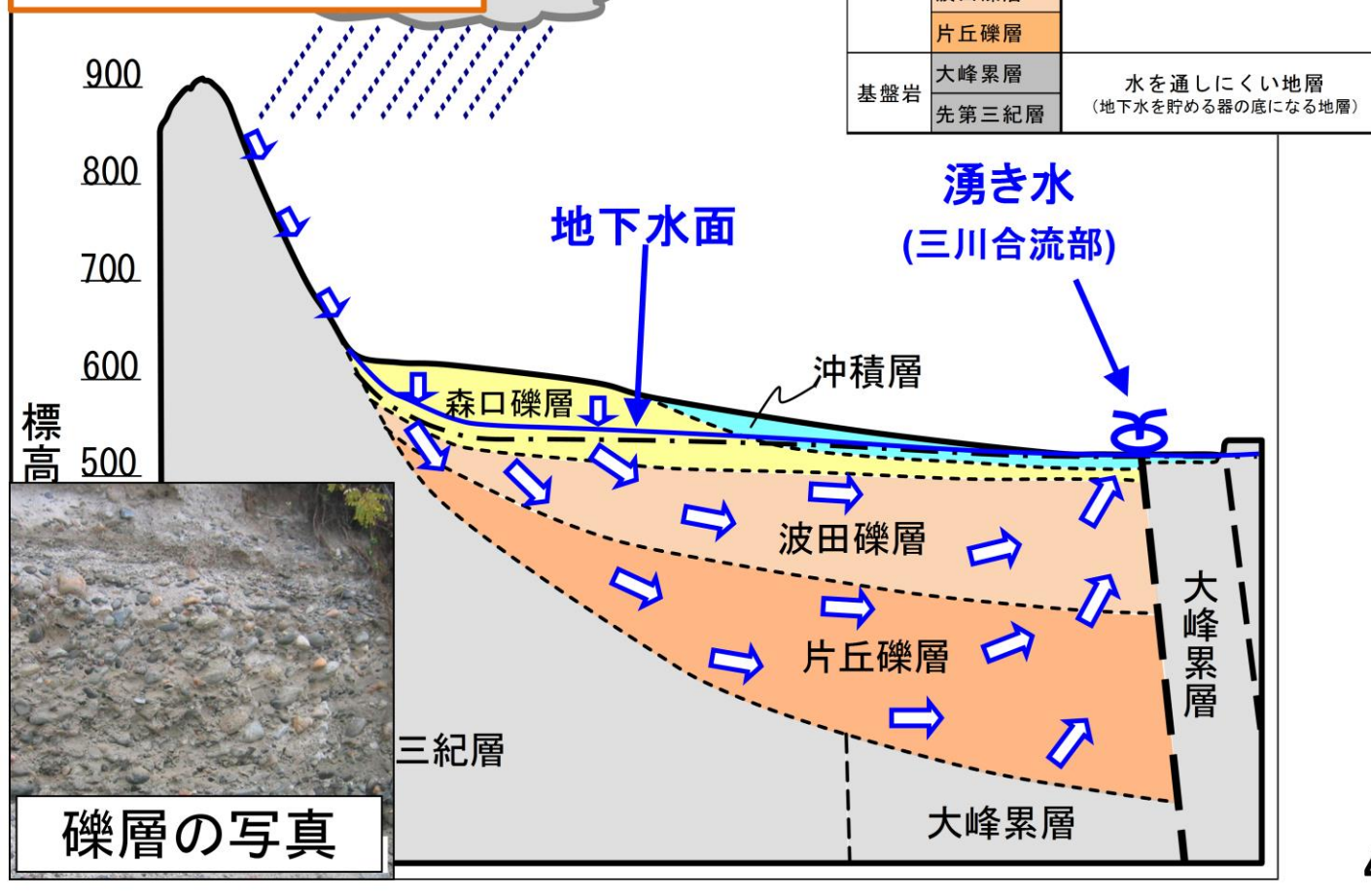
松本盆地は、北アルプスと筑摩山地に挟まれた南北50km 東西10km の細長い盆地です。

その出口は、安曇野市に位置する犀川、高瀬川、穂高川の合流部(以下、三川合流部と呼びます。)にあり、松本盆地全体の表流水と地下水は、全て安曇野市の三川合流部に集まってきます。

松本盆地には、河川が搬送した最大厚さ400mに及ぶ砂礫層が分布しています。砂礫層は間隙に富み豊富な地下を貯える能力を有し、地下水の器として機能しています。

3. 安曇野市の概要と本業務の着目点

3.1 地下水の器



4

松本盆地は、三川合流部(標高520m)を出口とする深い水がめとなっています。

地下水流動と湧水のメカニズムは、①絶え間ない涵養により、②地域の地下水位が上昇する一方、三川合流部の出口の地下水位の高さはほとんど変化しないので、③涵養量に応じた三川合流部へ向かう地下水面の傾きが生じます。傾いた地下水面は水平に戻ろうとしますが、毎年新たな涵養があるため、一定の傾きで均衡します。この一定の傾きに応じた④地下水流動が生じ、⑤地下水を押し出すことで、⑥三川合流部の湧き水が生じることとなります。

この流動は、深い水がめの地下水にも及びながら、長い年月をかけ、ゆっくりと流動し、地域の地下水利用を支えながら、三川合流部へ至り、湧き水として河川へ戻ってきます。

3. 安曇野市の概要と本業務の着目点

その他、家庭用水としても利用

3.2地下水利用



水道用水



事業用水



養魚用水



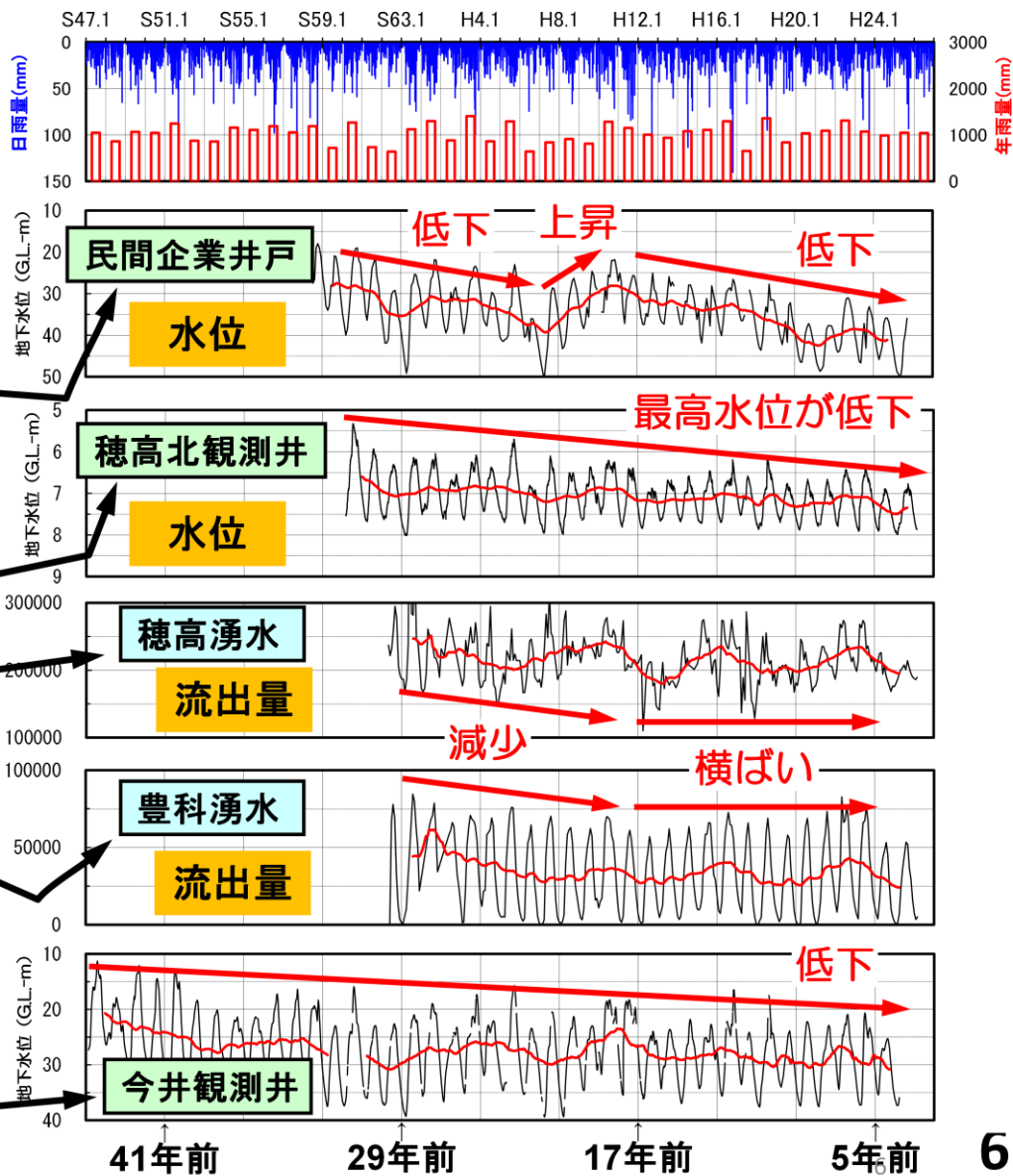
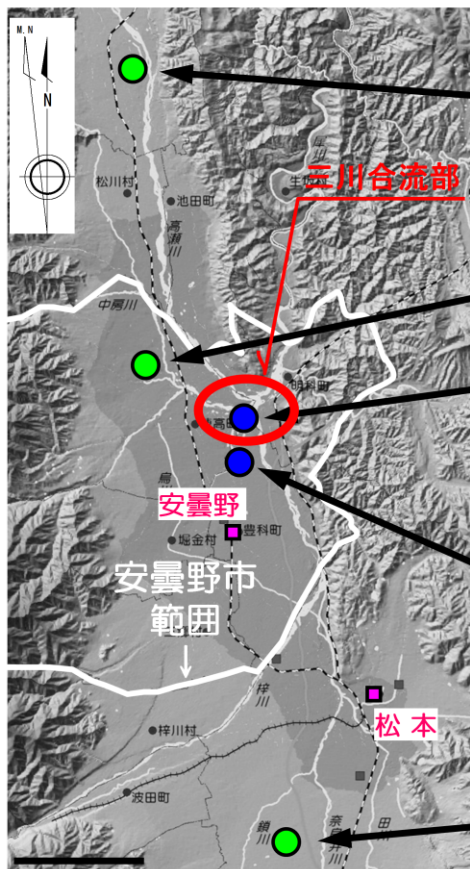
農業用水

5

松本盆地の地下水は、市民生活や産業活動を支えています(写真2.2)。また、安曇野市の三川合流部や松本市の奈良井川左岸では、湧き水を利用したわさび栽培が盛んです。

3. 安曇野市の概要と

3.3地下水の 変化と影響



地下水位と湧出量は、長期的な低下・減少傾向を示しますが、ここ10年ほどは横ばいとなる箇所も認められます。

3. 安曇野市の概要と本業務の着目点

3.3地下水の変化と影響



7

地下水位低下の影響で、環境省選定名水百選「安曇野わさび田湧水群」の碑が立つ「憩いの池」の水がかつて枯渇したことがあります。
※現在は、再び豊富な地下水が湧き出しています。

わさび業者の声



指針(平成24年8月)



条例(平成25年4月)



実効性のある計画立案の必要性



今回

3. 安曇野市の概要と本業務の着目点

3.4 本業務の着目点

計画策定への寄与を念頭に

着目点

**① 見えない地下を
見えるようにする**
・効果的な施策立案と関係者の合意形成に必要

**② 計画立案に必要なと
なる定量化を行う**
・計画の妥当性確保のため、目標数値や管理値の科学的根拠が必要

③ 資金調達・管理手法の幅広の検討
・指針原則の「受益者負担」は実現性に課題あり
・対象を市域外に広げた幅広な検討が必要

実施項目

【調査】

- ① 河川調査 (伏没強度・三川合流部湧出量)
- ② 水質分析 (年代・同位体比・主要イオン)

【検討】

- ① 水収支検討 (揚水量把握・地下水賦存量算出・要素整理と定量化・水収支マップ作成)
- ② 地下水利用可能量 (閾値) 検討
- ③ 地下水涵養方策検討 (麦後湛水効果検証・方策抽出と目標量設定)

【解析】

- ① 地下水流動の可視化
- ② 地下水の現在と将来予測

9

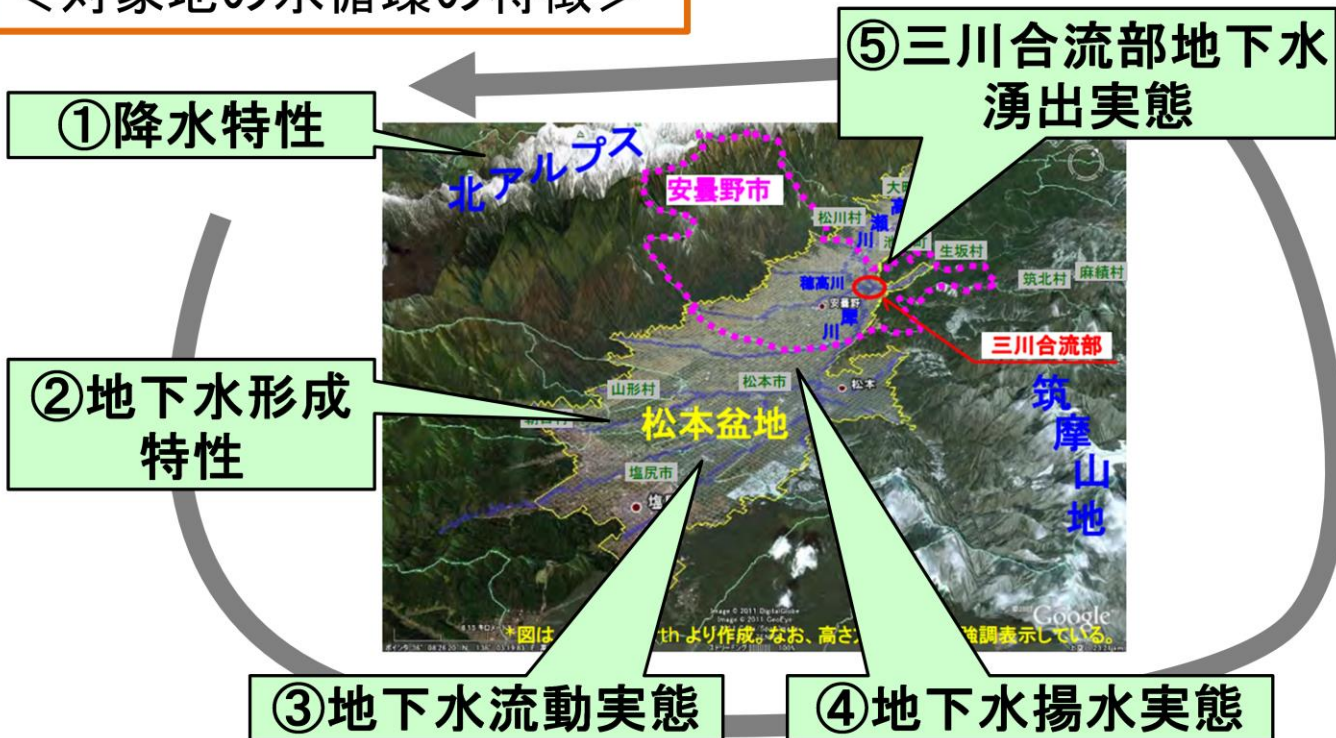
実現性と具現性の高い「安曇野市水環境基本計画」の策定に寄与するため、①見えない地下を見えるようにする可視化②計画立案に必要な定量化に着目し、それぞれ調査・検討・解析を行いました。

調查結果

4.1水循環とは

＜水循環とは＞ 海の水が雲となり、大地に雨として降り、川を下り海に戻る大きな水の巡り

＜対象地の水循環の特徴＞



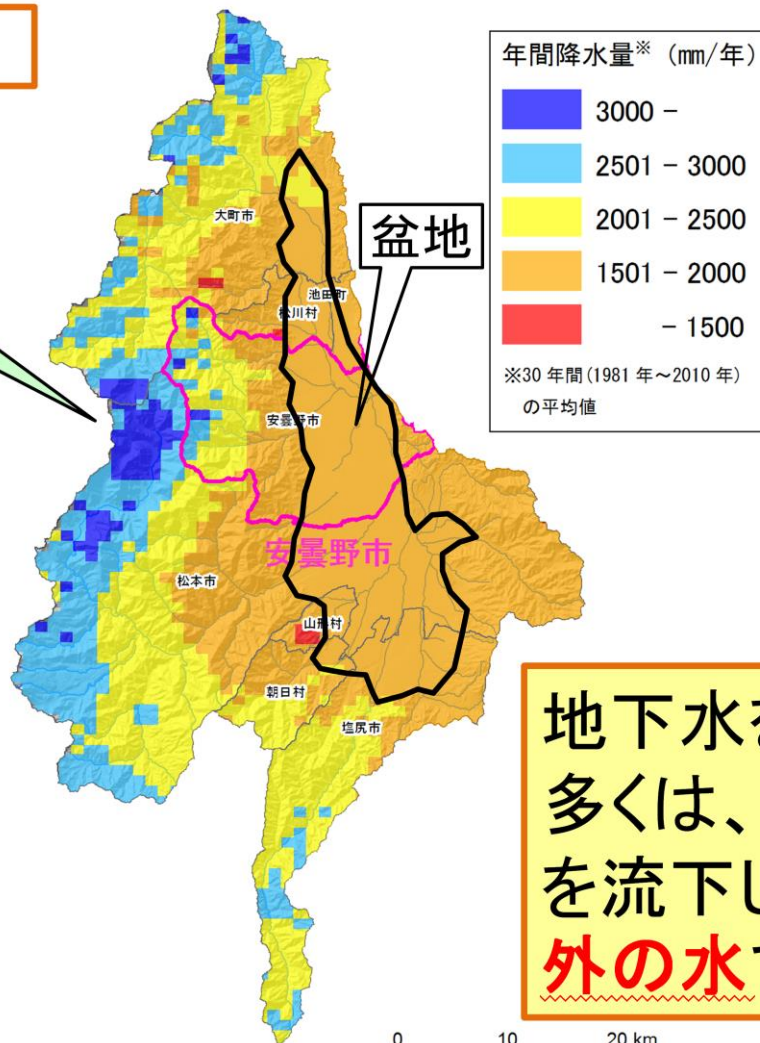
上記①～⑤を調査し明らかにした

11

上記①～⑤を明らかにすることを目的に調査を実施しました。

4.2降水特性

山地は盆地の倍ほどの降水がある



地下水を育む降水の多くは、山地から河川を流下してくる盆地以外の水である

出典) 気象庁メッシュ平年値 2010 左記に示されたメッシュ毎の降水量(1981年~2010年平均値)を解析雨量で補正し図化

図 2.16 安曇野市を含む松本盆地流域の年間降水量の分布 (信州大学可視化研究成果)

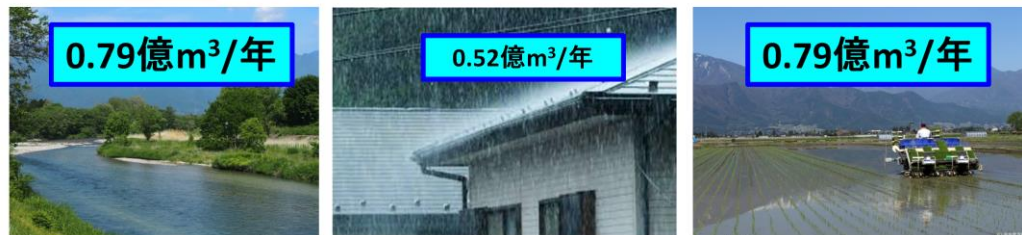
12

山地は盆地の倍ほどの降水があり、松本盆地の地下水を育む降水の多くは、盆地外の山地から河川を流下してくる盆地以外の水です。

4.3地下水形成特性

形成の経路

※平成26年の安曇野市内の推定量



扇状地である松本盆地の特性

河川伏没と同程度の寄与量
(安曇野市は県内でも水田が特に多い)

厚く広い砂礫層:
地下水が多く貯留・長く流動

3つの経路で地下水となる

13

地下水は、水循環における一連の水の動きの中で、地中に一時的に蓄えられたものであり、表流水に比べてゆっくりとした時間軸での流動を特徴としています。

山地や盆地に降った雨(降水)は、一部が大気に戻り(蒸発散)、一部が土地から地下に浸透し(土地浸透)、残りが沢や道路側溝をとおつて(表面流出)、梓川や高瀬川といった大河川のほか、烏川や黒沢川といった中小河川に至り、河川水として流れていきます。河床は水を通しやすい砂礫地盤からなるため、ここを流れる河川水も地下浸透し、これを河川伏没と呼びます。また、農業用水路を經由し、水田水として地下浸透(水田涵養)する水もあります。

地下水は、これら「土地浸透」、「河川伏没」または「水田涵養」の3つの経路のいずれかの形態で地下浸透し、地下に貯えられることとなります。

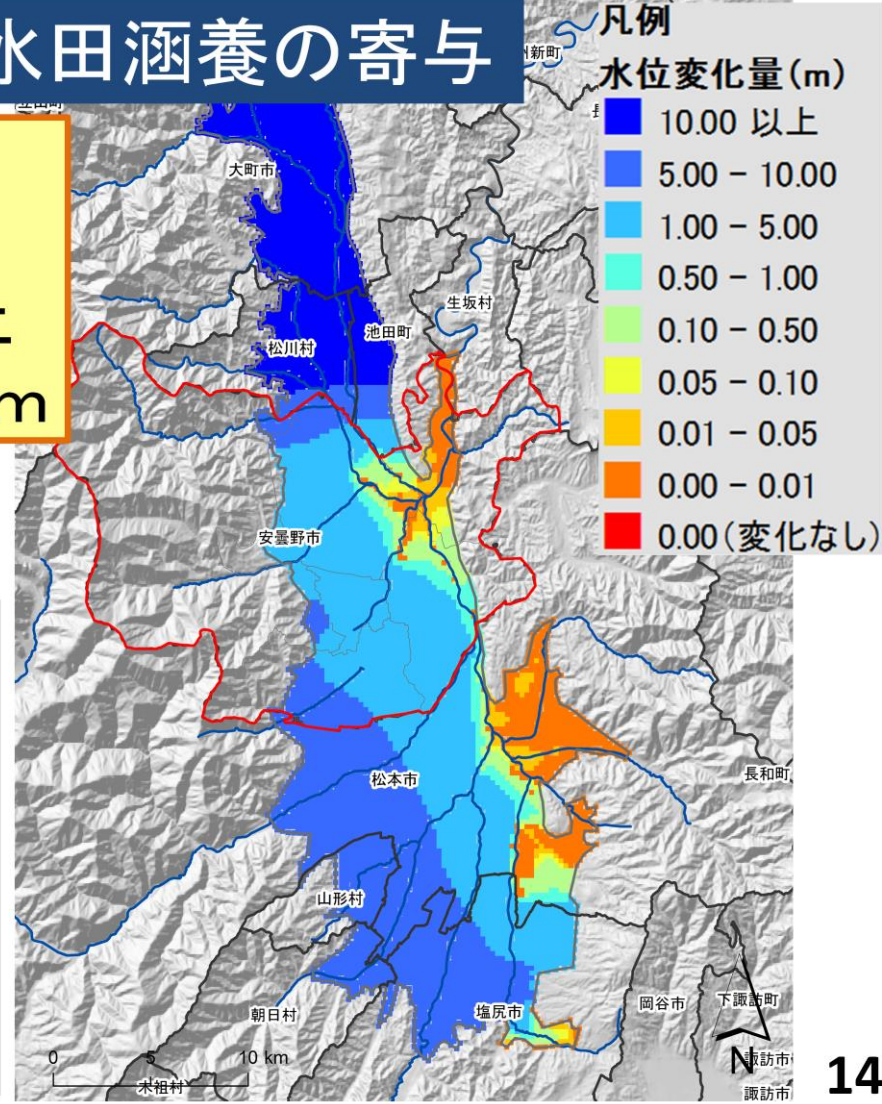
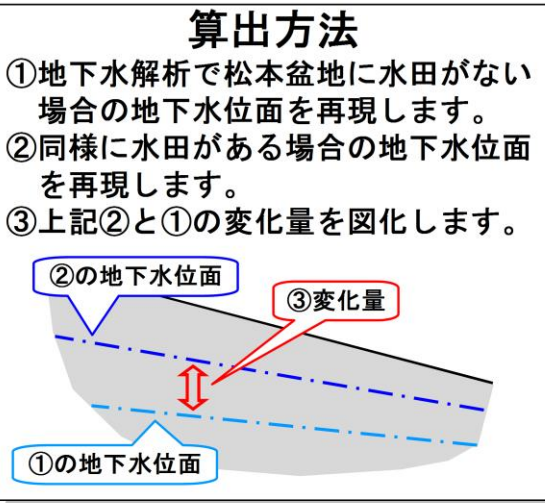
安曇野市では、土地浸透と河川伏没だけでなく、水田からの涵養水が、地下水の重要な涵養源となっています。これらの水の一部は市外からの表流水により賄われています。また、市外から地下水として流入する量も豊富です。

平成26年度の安曇野市内の地下水浸透量を推定すると上記のとおりで、河川伏没量と水田涵養量が同程度、地下水浸透に寄与していることが分かります。

4.3地下水形成特性

水田涵養の寄与

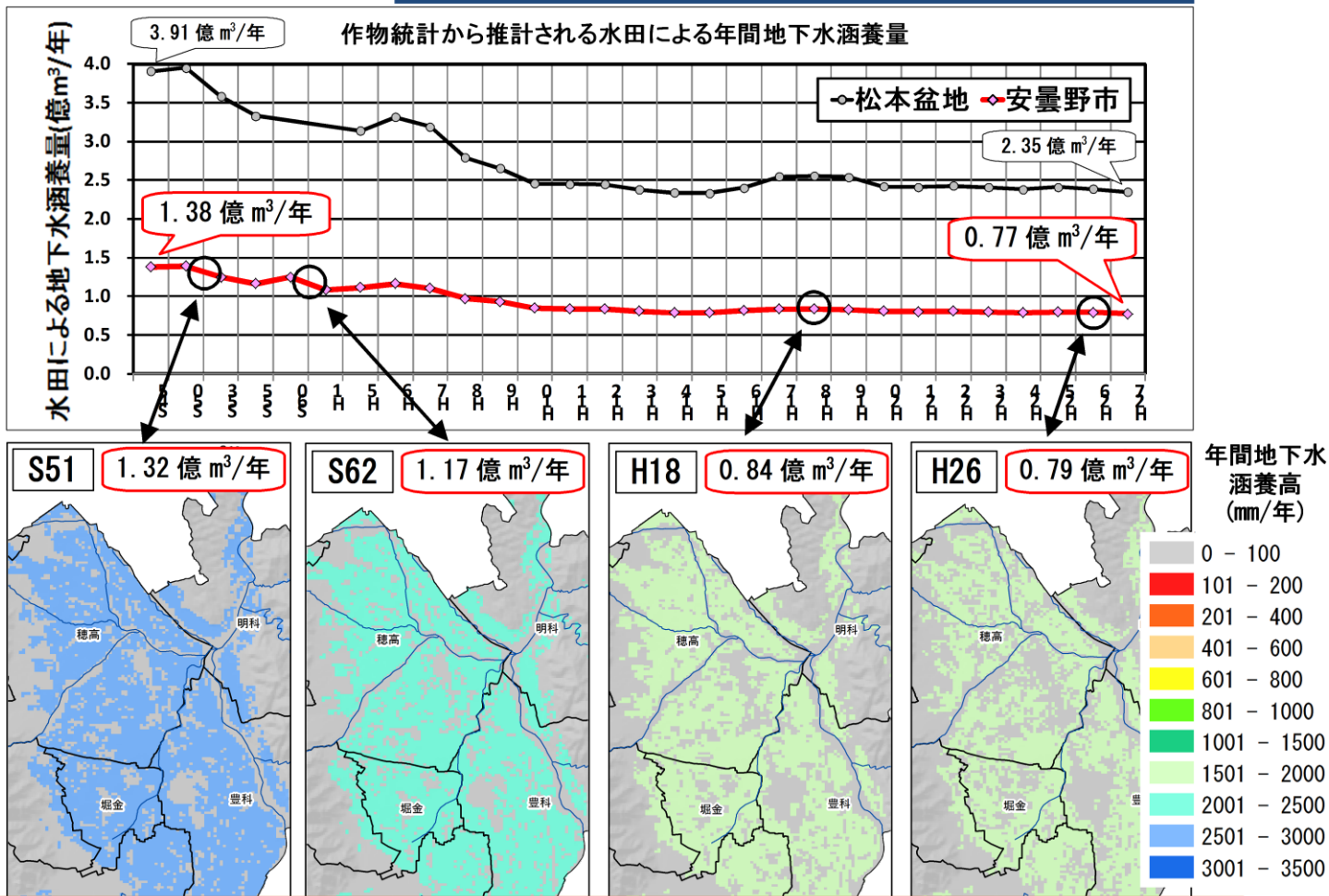
例) 水田涵養の
地下水位上昇寄与
盆地: 最大10m以上
安曇野市内: 5~10m



松本盆地には平成26年現在、約9,600haの面積で水稲作付されており、約2.4億m³/年の地下水供給があると推定されます。この水田涵養は、松本盆地の地下水位を最大10m以上上昇させ、安曇野市内でも5~10mの上昇に寄与しています。この地下水位上昇により、三川合流部における湧出量も増加し、その量は、年間5.84億m³/年(平成26年値)の30%程度(約1.75億m³/年)と見積もられます。

4.3地下水形成特性

水稻作付け面積の減少



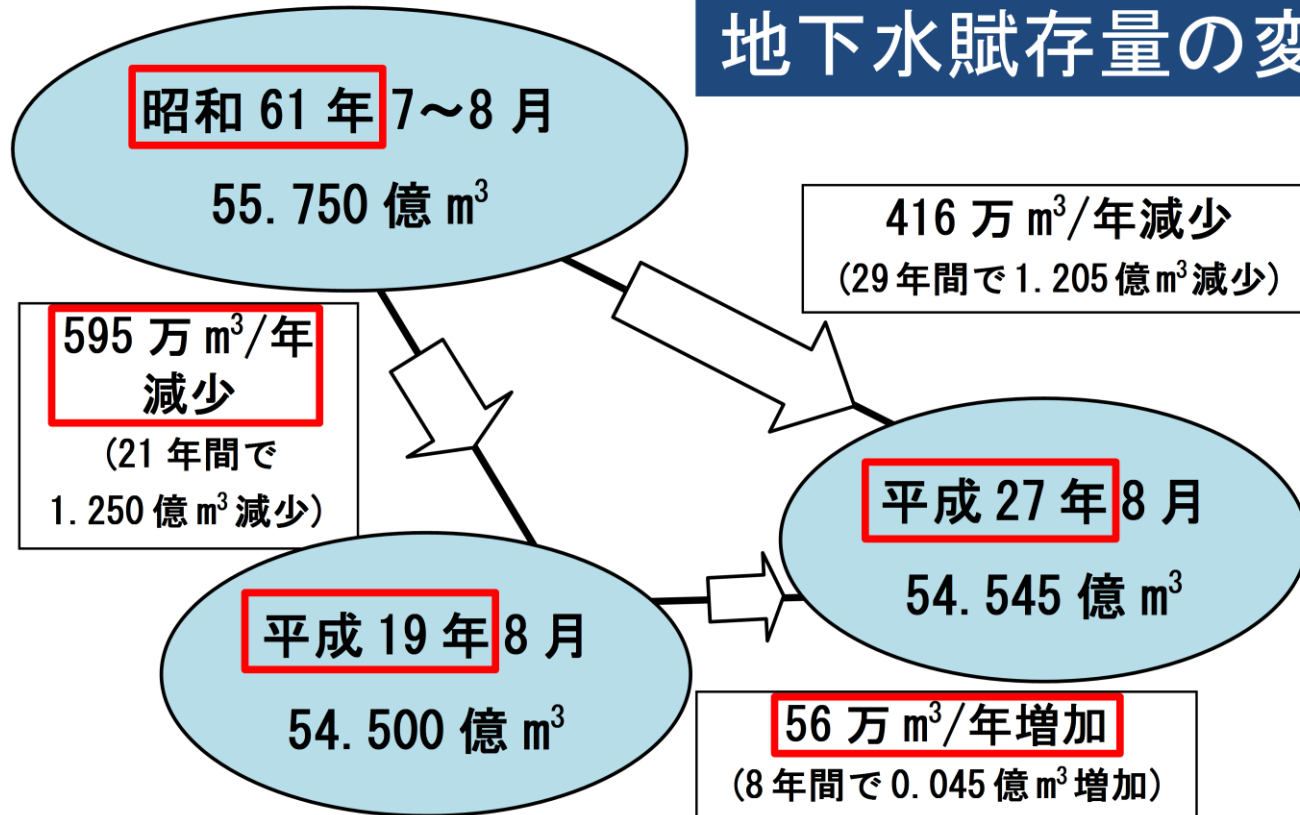
水田涵養量は、過去に比べ減少(最近横ばい)

15

水稻作付け面積の減少により、水田による地下水涵養量は大きく減少しました(最近は横ばいです。)

4.3地下水形成特性

(安曇野市内の) 地下水賦存量の変化



指針時 **595 万 m³/年減少** が最新比較では **56 万 m³/年微増** (ただし **盆地全体では 275 万 m³/年減少**)

16

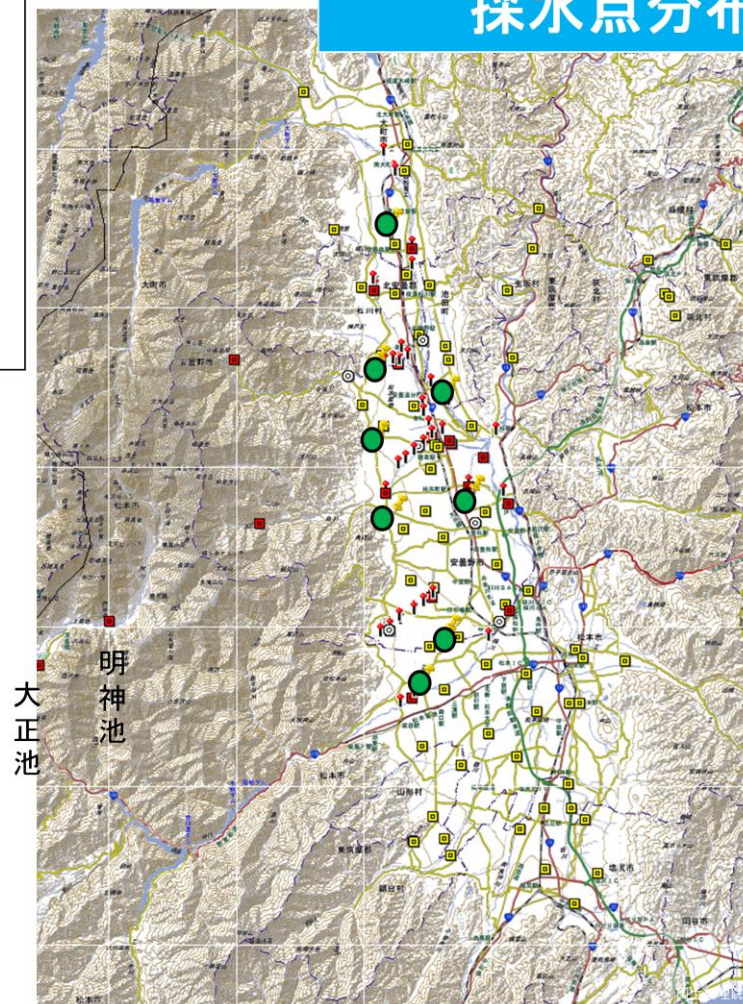
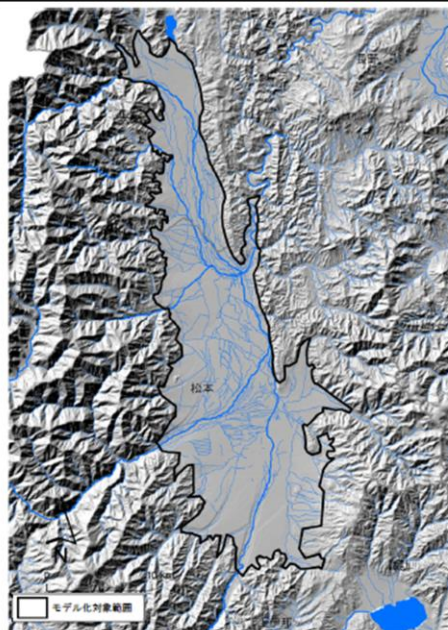
地下水賦存量とは、地下に貯えられた地下水の量です。
安曇野市には55億トン程度の地下水があります。この地下水は以前減少傾向でしたが、現在やや増加気味です。
ただし、盆地全体では減少傾向が続いています。

4.4地下水流動実態(年代調査)

安曇野～松本盆地の 採水点分布

採水点位置

- ・黄□ : 井戸水
- ・赤□ : 河川水
- ・白◎ : 雨水
- ・黄ピン: 水田水 ●
- ・赤ピン: 河川流量



17

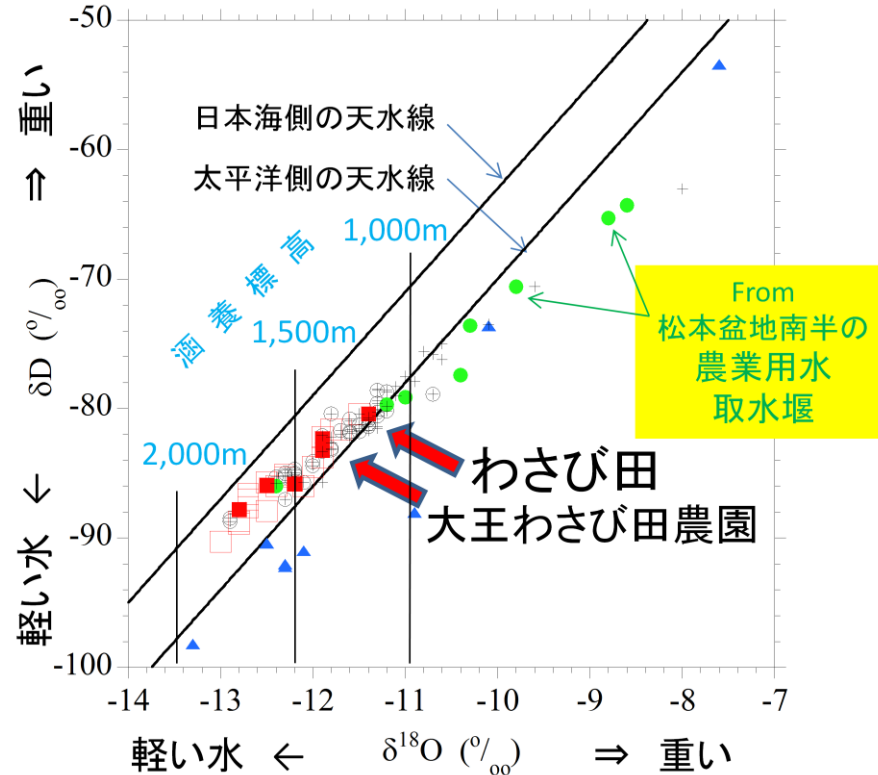
地下水は盆地を流れ安曇野市に集まってきますが、その流動経路や年代を安曇野市を含む流域広くで調査しました。その調査位置を示した図面です。

採水試料は、井戸66検体、河川24検体、水田8検体、雨水8検体で合計107検体を採水しました。

安曇野～松本盆地の水の起源

Azumino - Matumoto - Ohmachi

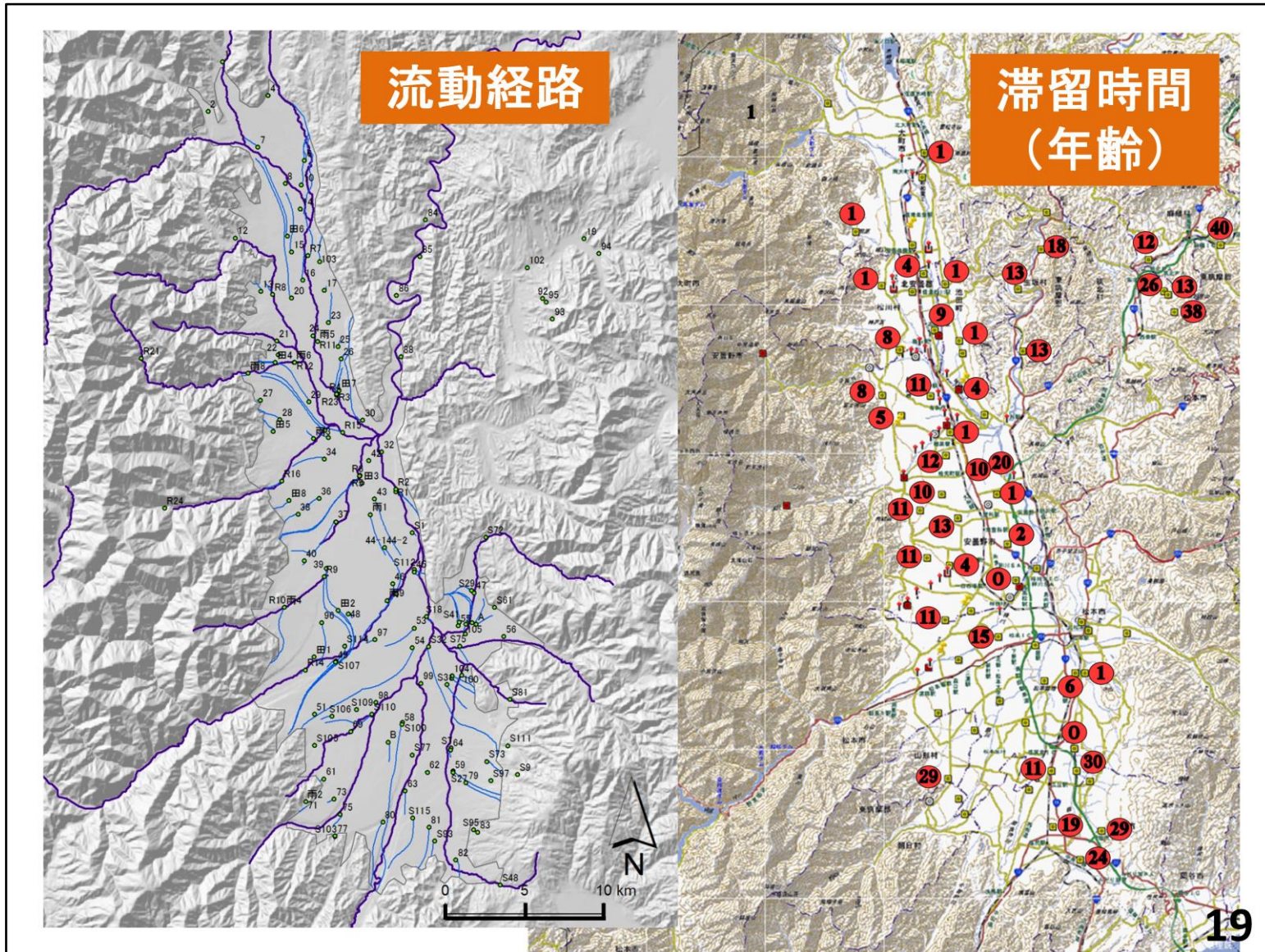
- 地下水(北)
- 河川水
- ▲ 雨水
- 水田水
- 湧水
- + 地下水(全)



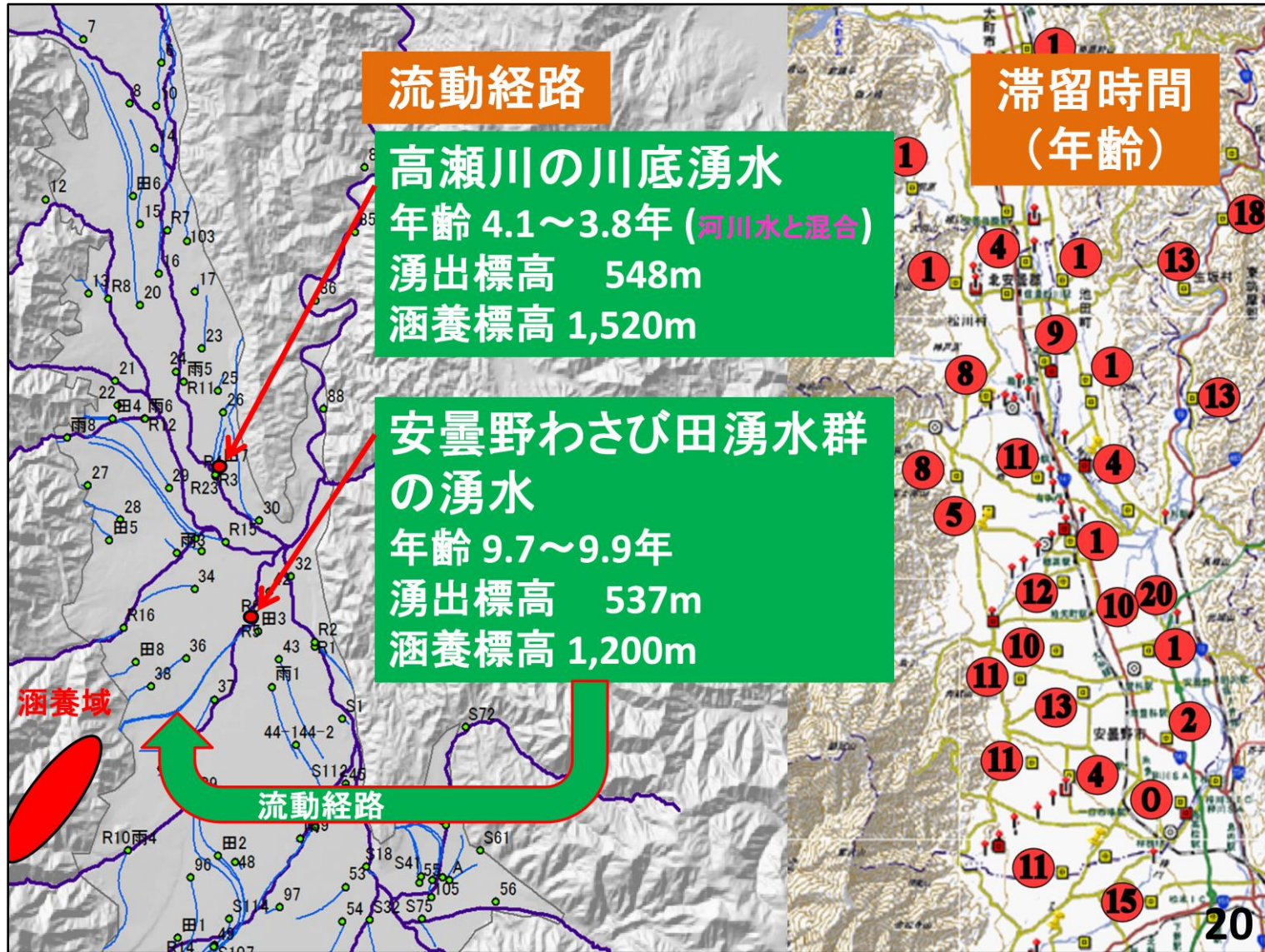
1. 地下水の主な由来は、河川水、水田水である。
2. 湧水の主な由来は、河川水(地下水)である。
3. 湧水の涵養標高は、およそ1750m ~ 1200m である。

18

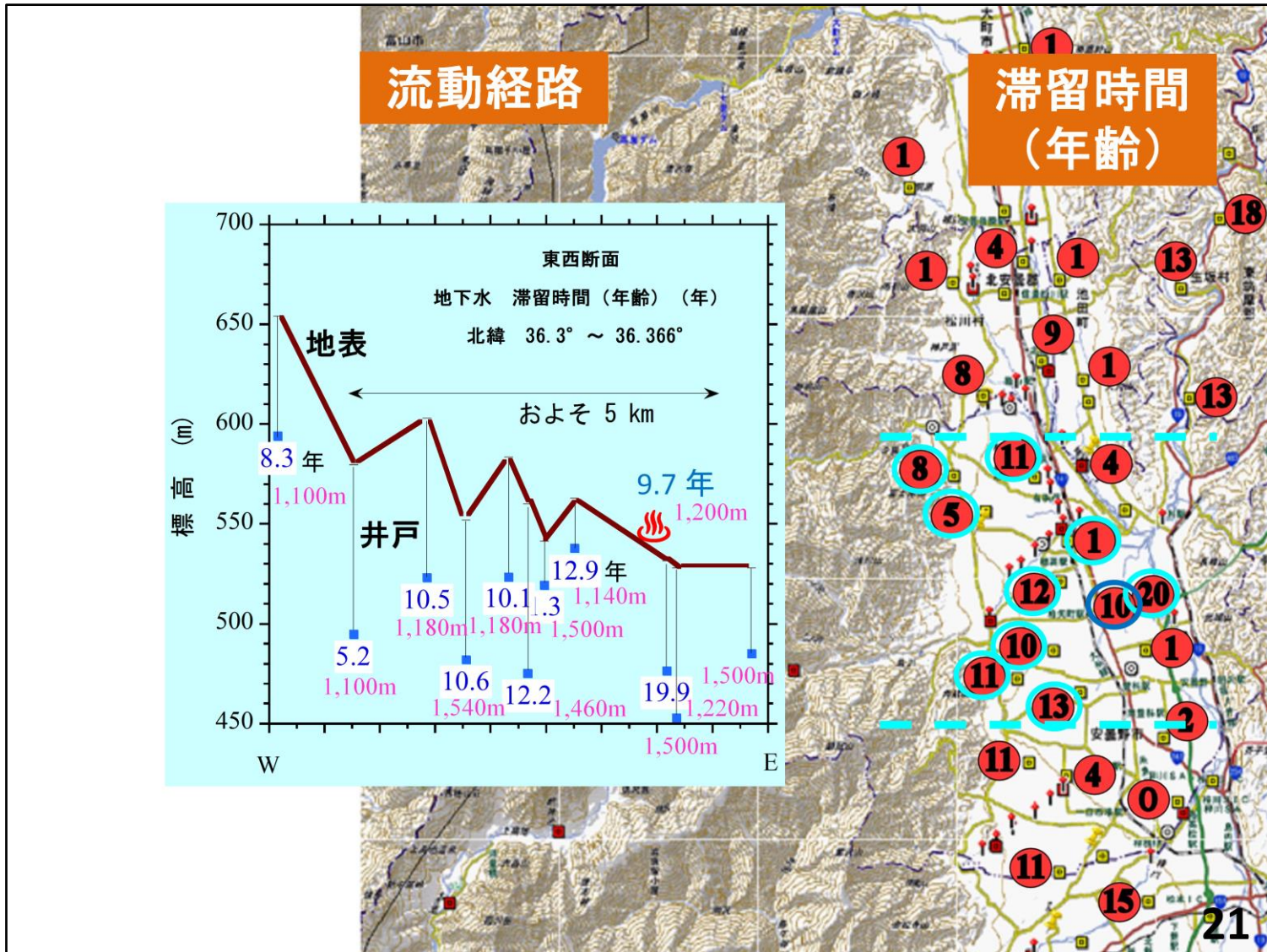
調査の結果、井戸などから得られる地下水の起源は河川水および水田水である一方、湧水の起源は河川水の傾向が強いことが分かりました。



左は調査位置毎の流動を線で表現した図で、右は調査位置毎の水の年齢を示した図です。



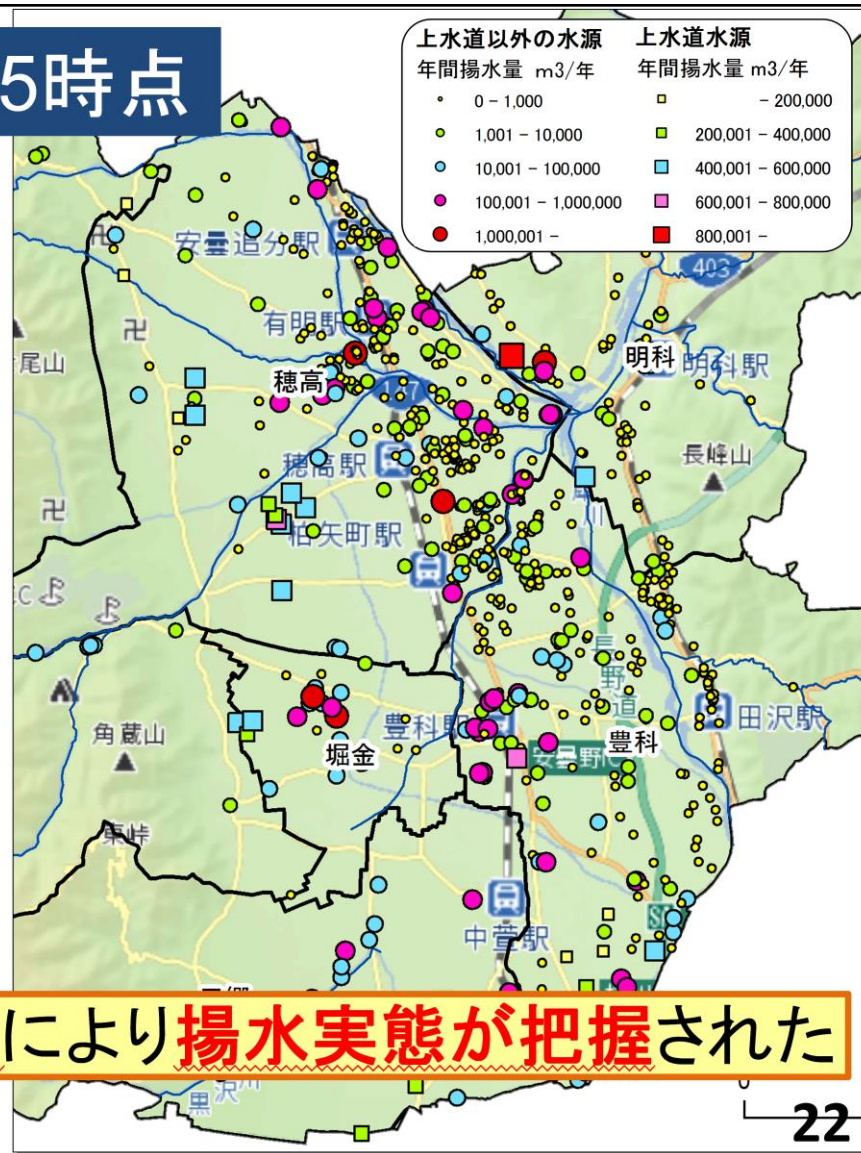
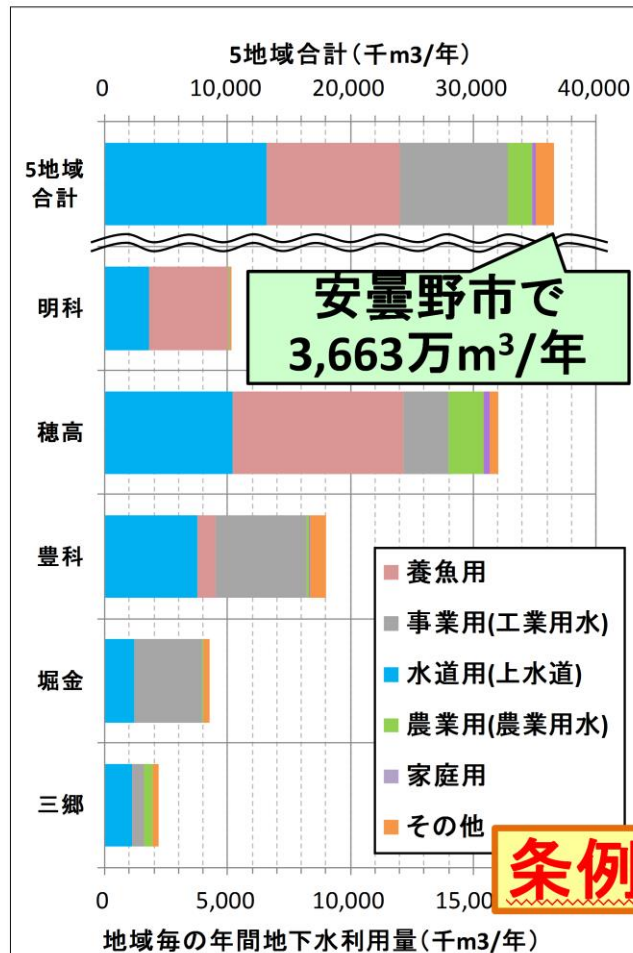
例として2地点(高瀬川の川底湧水、安曇野わさび田湧水群の湧水)の年齢などを示します。



右図に示す断面線で盆地の東西方向を模式化すると左図のようになります。地下水が東に流動するにつれ、古くなっていくのが分かります。

4.5地下水揚水実態

H25時点

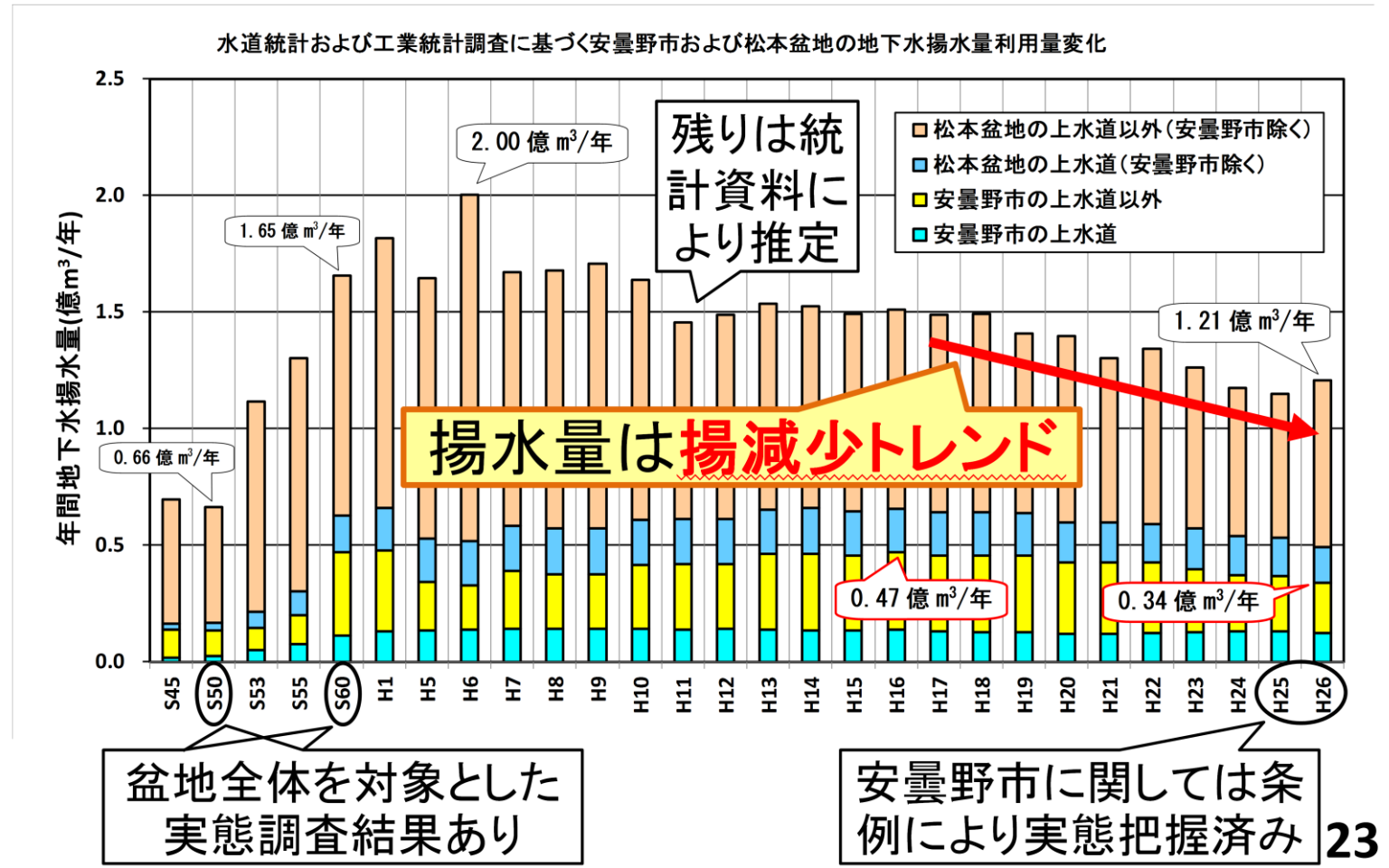


安曇野市では条例に基づき地域の水利用実態を毎年把握してます。平成25年時点で年間3663万トンの地下水が揚水されています。地区毎に見れば地下水位の浅い穂高での利用が多いのが特徴です。

4.5地下水揚水実態

過去～現在（松本盆地含む）

出典）水道統計情報及び工業統計調査（一部推定）



地域の揚水実態はこれまで明らかにされていませんでしたが、統計資料等を利用し過去を遡り推計したのがこの図です。安曇野市と松本盆地の揚水量は過去増加しましたが、最近では減少傾向にあると推計されます。

4.6三川合流部地下水湧出実態(河川流量調査)

A 物理測定

①前日

- ・流量増加、水温低下(上昇)から、湧出域を把握
- ・湧出域外から内に流入する水路のうち流量の多い流入口を把握

②当日

- ・赤線の5箇所で見観
- ・確認流入口で見観

備考:

万水川以外は流量が多いため、渡河困難

B 化学測定

③湧水・河川水・井戸水

- の起源・年齢推定
- ・酸素・水素の安定同位体 ($\delta^{18}O$, δD)
- ・ SF_6 , CFCs年代トレーサー

三川合流部総湧出量調査⇒
湧出域の上流と下流の**流量差**から推定

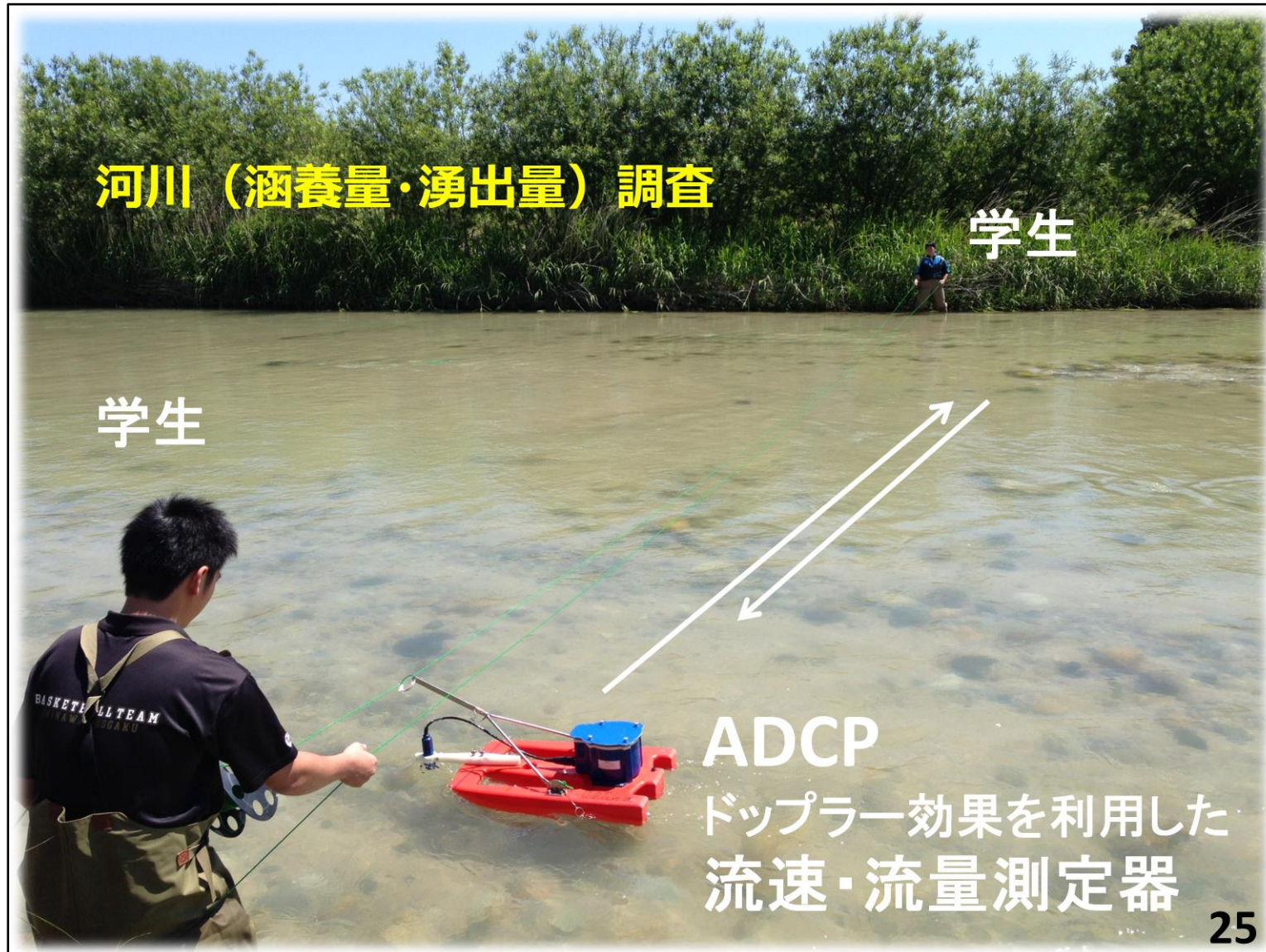


河川名	河川幅(m)	距離(m)
カスガワ	>=50	6,486
クロサワガワ	<50	4,876
効セガワ	>=50	4,114
チガワ	>=50	5,155
テンマンサワガワ	<50	5,169
ナカブサガワ	<50	579
	>=50	2,654
ホ効ガワ	>=50	1,727
ヨロスリガワ	<50	4,933
総計	>=50	20,137
	<50	15,557
		35,695

- 松本盆地
- 河川の伏没範囲
- 河川
- 伏没範囲内の河川
 - 伏没河川, <50m
 - 伏没河川, >=50m
- 湧出河川






24

安曇野市の水収支を把握する上で、三川合流部でどのくらいの地下水が湧き出しているのかを把握するのが重要でした。そのため、三川合流部の上下流で河川流量を観測し、その流量差を湧き出し量として調査しました。



調査状況です。信州大学の学生さんが調査されました。

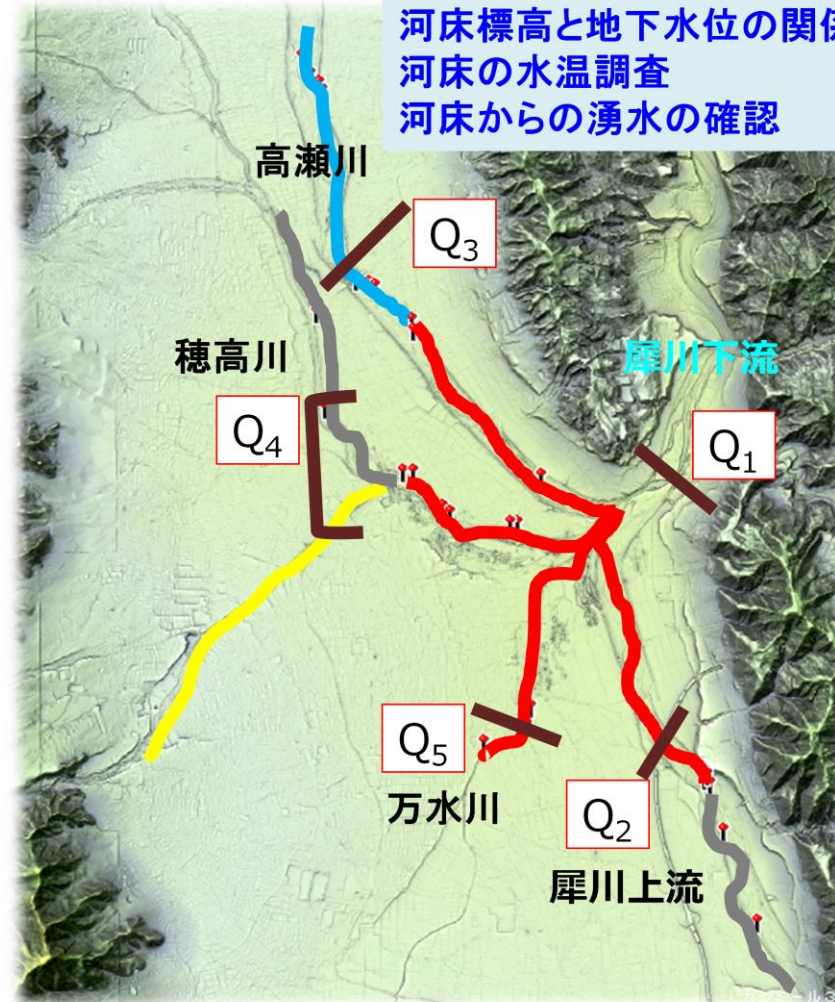
まとめ

-  : 湧出域
-  : 涵養域
-  : 湧出はしていない
-  : 不明瞭
-  : 流量測定地点

- 犀川
→ 湧水を確認, その下流から
- 穂高川
→ 湧水が豊富な地域の上流側
- 高瀬川
→ 湧出域を決定, その上流から
- 万水川
→ 湧出域の水路合流後

<調査法>

- 河床標高と地下水位の関係
- 河床の水温調査
- 河床からの湧水の確認

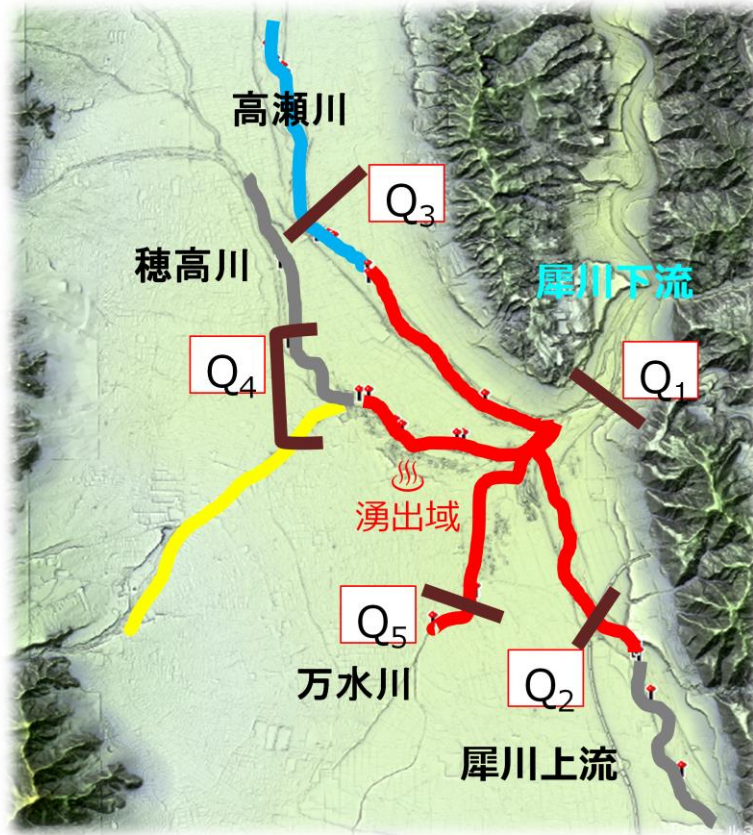


$$\text{湧水量} = Q_1 - (Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5)$$

26

湧き出し量(湧水量)は三川合流後の流量(Q1)から三川合流前の各河川の流量(Q2~Q5)の総和を引くことで求めました。

三川合流部総湧出量調査結果

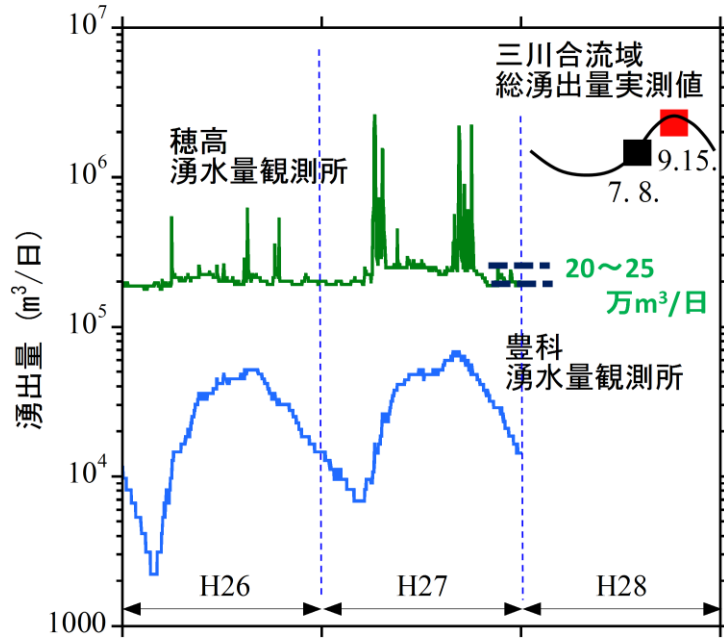


河川	7月8日	9月15日	
犀川下流 (m ³ /s)	88.7	79.8	Q ₁
犀川上流 (m ³ /s)	27.9	27.0	Q ₂
高瀬川 (m ³ /s)	23.4	6.1	Q ₃
穂高川 (m ³ /s)	12.9	15.8	Q ₄
万水川 (m ³ /s)	6.2	4.7	Q ₅
湧出量 (m ³ /s)	18.4	26.2	
日量 (万m ³ /日)	159	227	Q _{sp} ^T

27

結果は平成28年7月8日が日量159万トン、平成28年9月15日が日量227万トンと算出されました。

三川合流部総湧出量推定結果



河川	7月8日	9月15日
犀川下流 (m³/s)	88.7	79.8
犀川上流 (m³/s)	27.9	27.0
高瀬川 (m³/s)	23.4	6.1
穂高川 (m³/s)	12.9	15.8
万水川 (m³/s)	6.2	4.7
湧出量 (m³/s)	18.4	26.2
日量 (万m³/日)	159	227

総湧出量の最小値 Q_{sp}^{\min} の推定

$Q_{sp}^{\min} < 159 \text{ 万m}^3/\text{日}$

$Q_{sp}^{\min} > 20 \sim 25 \text{ 万m}^3/\text{日}$ (穂高川域)

湧水群の看板: 70 万m³/日

湧水域: 犀川・高瀬川・穂高川・万水川

最小100万m³/日と推定

総湧出量 Q_{sp}^T の推定

最小100万m³/日

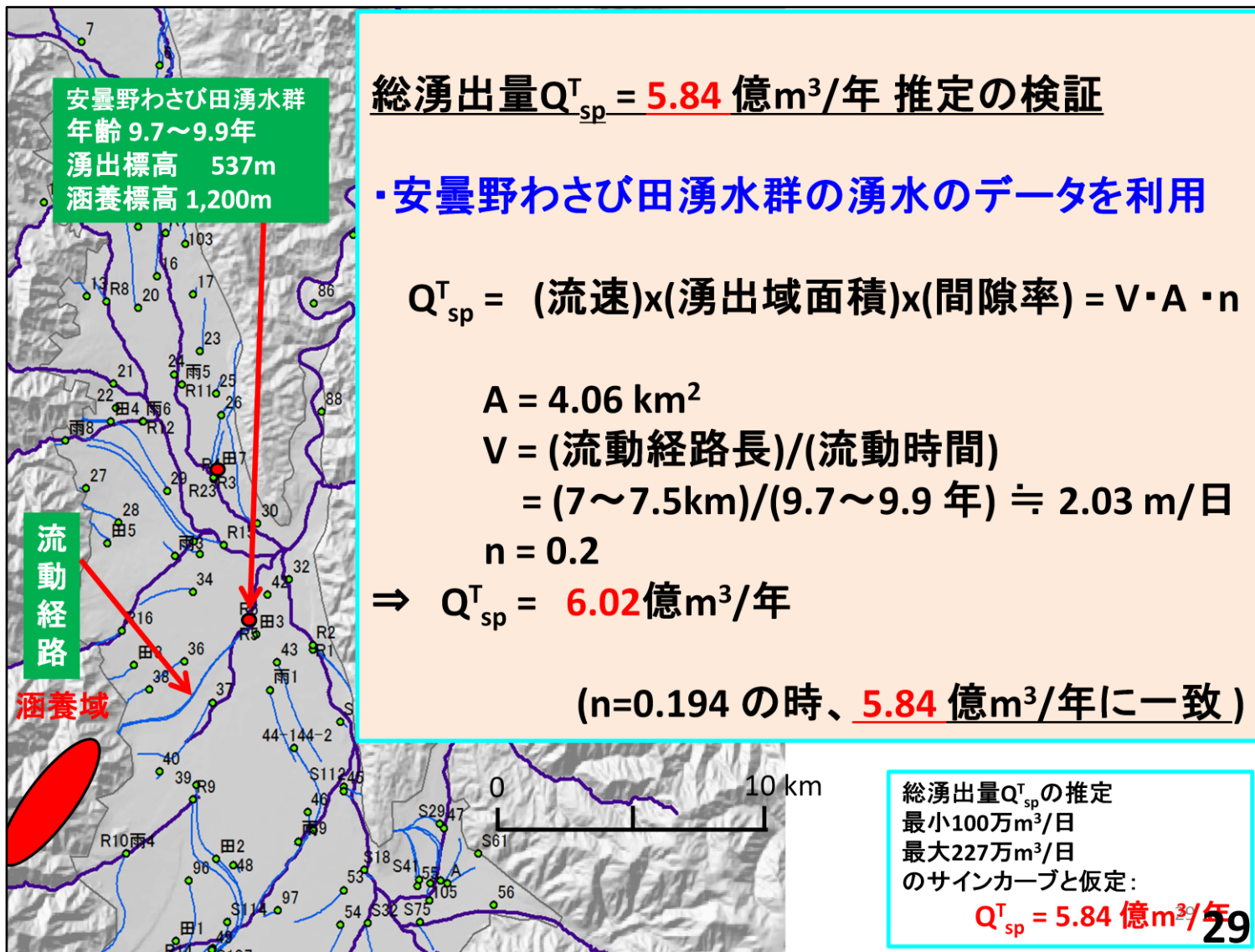
最大227万m³/日

のサインカーブと仮定:

$$Q_{sp}^T = 5.84 \text{ 億m}^3/\text{年}$$

28

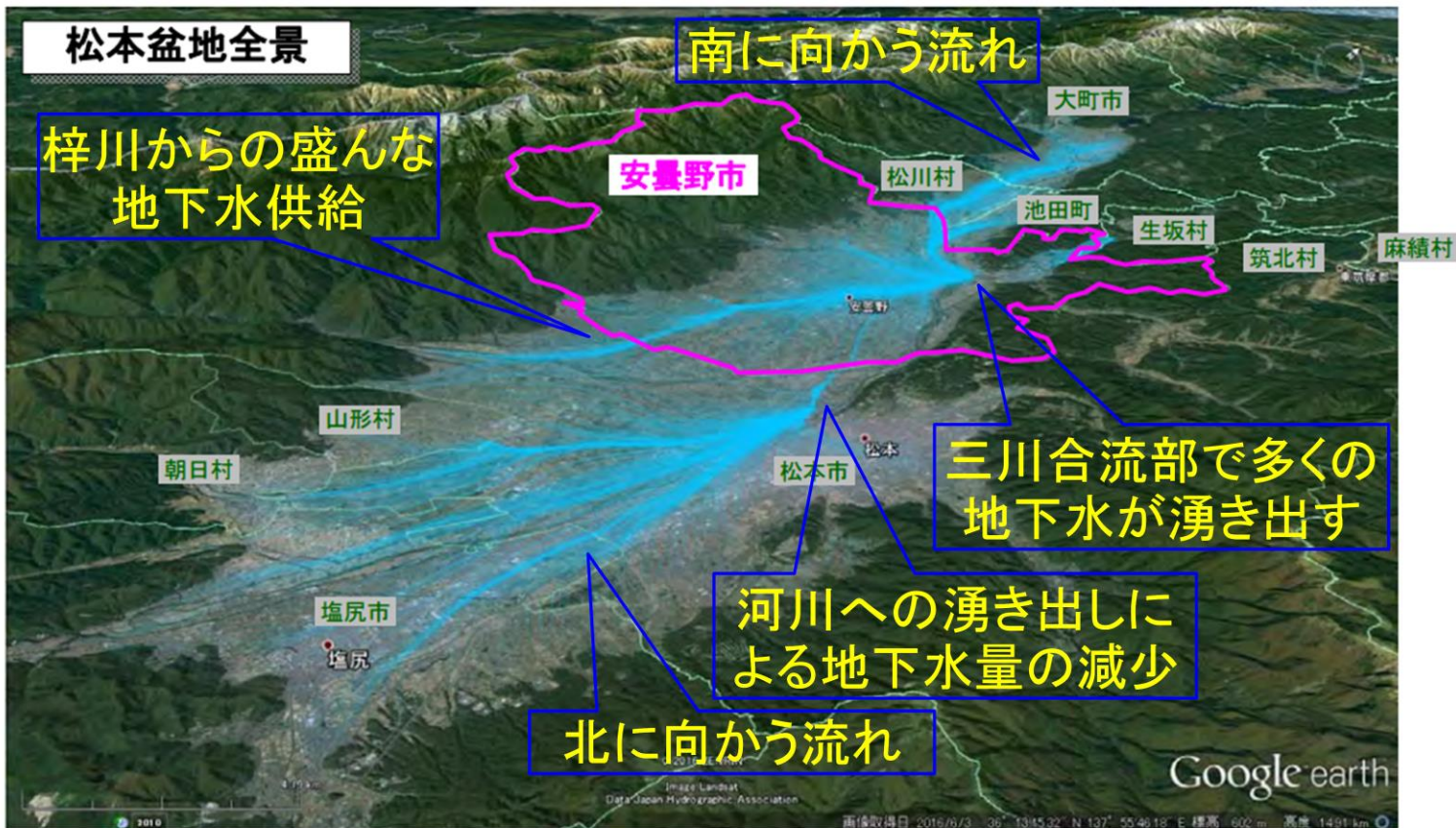
調査はいずれも流域の降水量が多く湧出量も多い時期で年間最大量と位置づけられます。年間の湧出量を推計するのに、年間最小量も推計する必要があります。これをサインカーブで仮定推計し、年間湧出量として5.84億トンと推計しました。



この5.84億トンの妥当性を、安曇野わさび田湧水群で把握された流動経路長と流出時間とで検証しました。結果、概ね整合し、水収支を検討する上で重要な値が取得できたこととなります。

検討・解析結果

5.1地下水の流れ

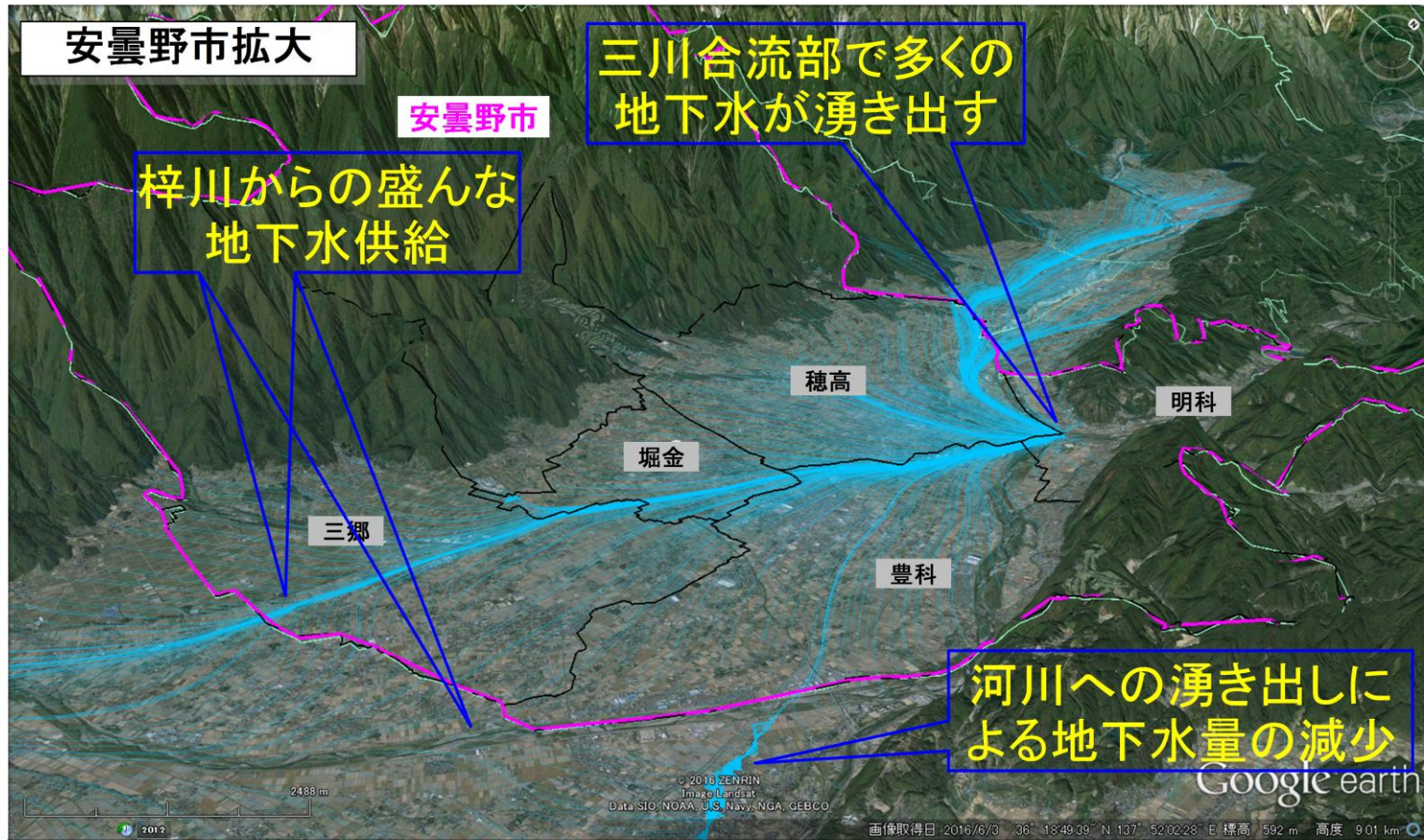


地下水が三川合流部に集まる状況を可視化

31

地下水解析で作られた仮想の松本盆地において、地下水の流れを流線(青い線)で可視化したものです。地下水が三川合流部に位置する安曇野市に集まってくる様子が分かります。

5.1地下水の流れ

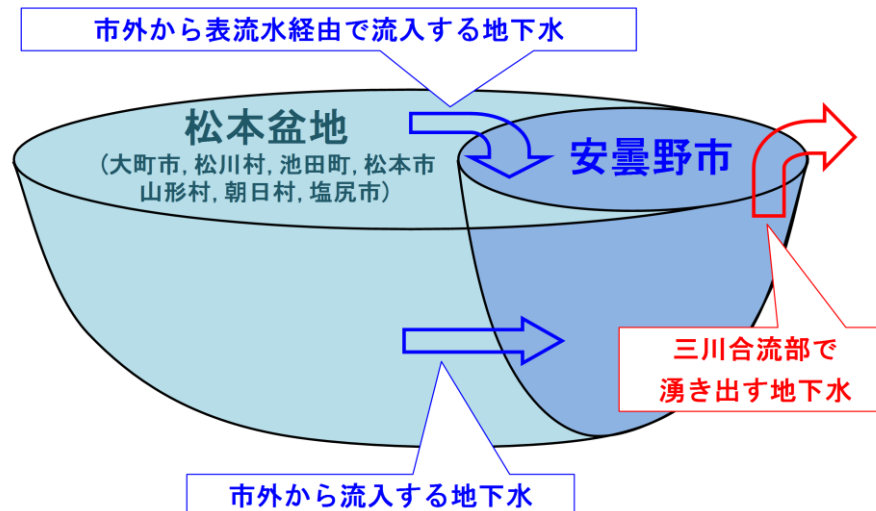


32

安曇野市を拡大しました。周りの山地からだけでなく、梓川からの地下水の流れが盛んなことが読み取れます。

5.2安曇野市の水収支

(松本盆地流域の最下流に位置する) 安曇野市の水収支の考え方



**市外から流入する水を加える工夫
により安曇野市の水収支を算出**

33

水収支とは、「ある領域」の「ある期間」の水の出入りの差し引きを表したものです。

安曇野市は、松本盆地という流域の一部であり、上流からの流入を考慮する必要があります。よって、松本盆地の最下流部に位置する安曇野市の水収支を考えるに当たり、以下の考え方を導入しました。

【ある領域】

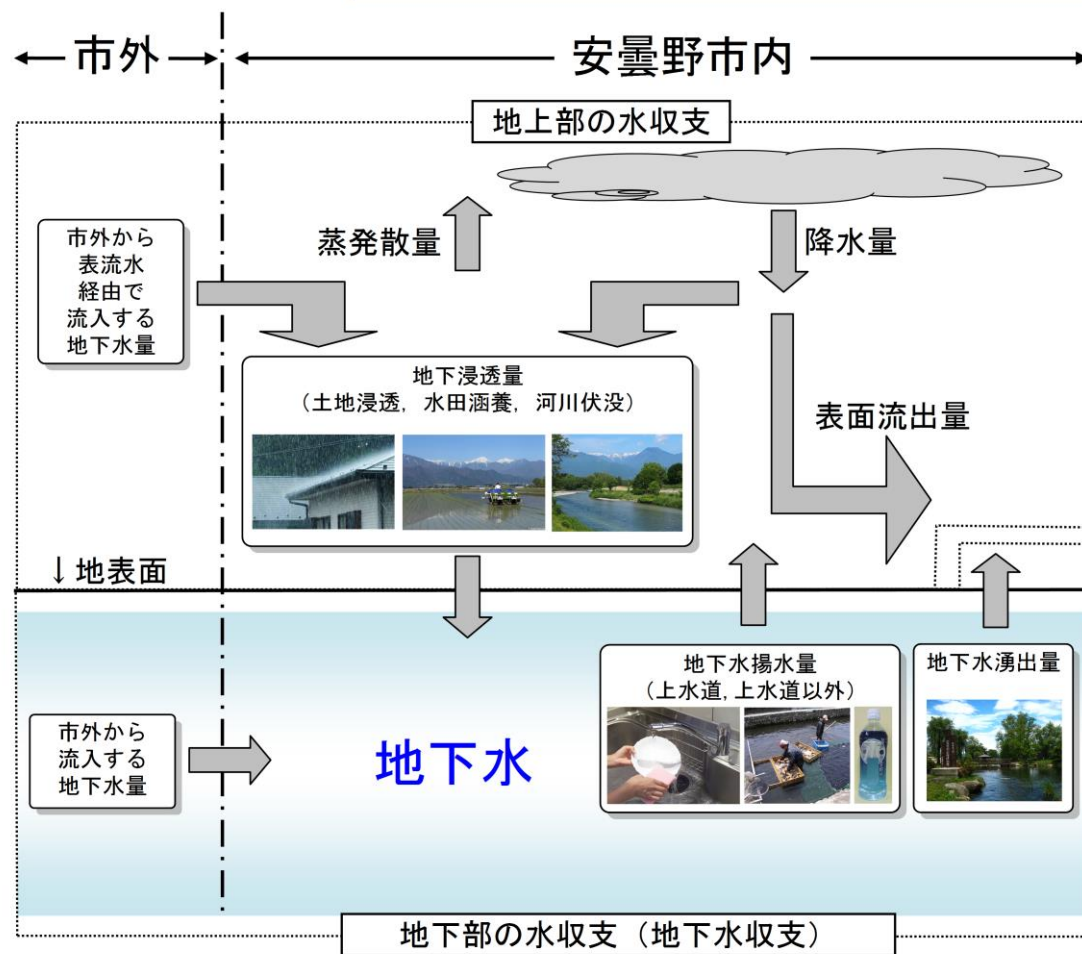
- ・「ある領域」は「安曇野市」とする。
- ・安曇野市は松本盆地の最下流部に位置するため、「市外から流入する地下水」と「市外から表流水経由で流入する地下水」を組み込み、上流からの地下水供給を見える化する。

【ある期間】

- ・「ある期間」は、地下水(地下水位、湧出量、地下水賦存量)が降水量の季節変化に調和して変化し、基本的に1年間で元に戻るとの考えが一般的であることから、「1年間」とする。
- ・松本盆地は広大であるため、涵養とこれに伴う地下水湧出の均衡に1年以上の期間を要する可能性はあるが、「近年の地下水位、湧出量、地下水賦存量が概ね横ばいである」と判断し、「平成26年」の水収支を「±0」とする。

5.2安曇野市の水収支

安曇野市の水収支体系

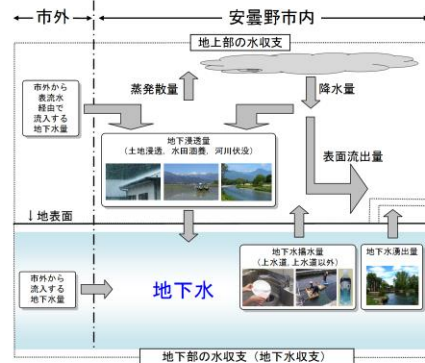


34

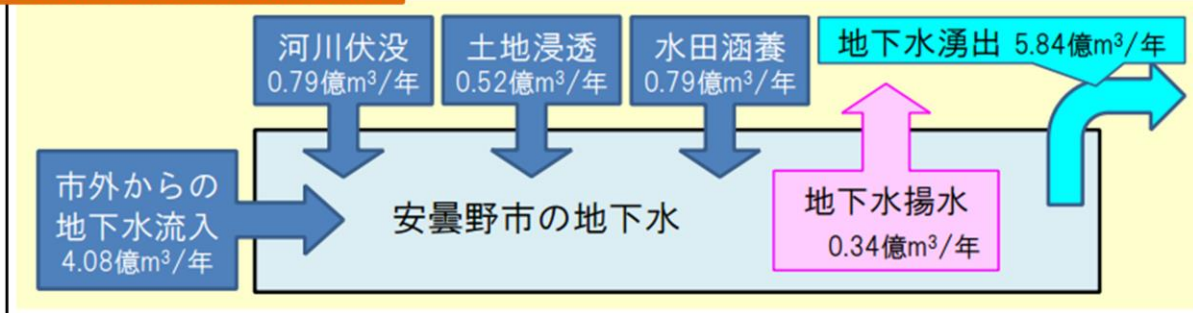
地上部における降水は、一部が地表を流れ(表面流出)、地表に貯まった水は蒸発し(蒸発散)、残りがその土地から地下へ浸透します。安曇野市では、このような浸透(土地浸透)以外に、河川からの伏没や水田からの涵養により地下水が育まれています。

5.2安曇野市の水収支

平成26年時点



水収支は均衡



35

表 2.6 安曇野市*1の水収支 (平成 26 年時点)

区分	項目	億m ³ /年	合計	水収支		
地上部の水収支	流入	降水量	6.12	7.32	0.00	
		市外から表流水経由で流入する地下水量	0.86			
	流出	地下水揚水量	0.34	7.32		
		蒸発散量	2.04			
地下部の水収支	流入	表面流出量	3.18	6.18	0.00	
		地下水浸透量	土地浸透			0.52
			水田涵養			0.79
	流出	河川伏没	0.79	6.18		
		市外から流入する地下水量	4.08			
		地下水湧水量	0.34			
	地下水湧出量	5.84				

※1 安曇野市(約 332km²)を対象とした水収支です。

平成26年時点の水収支の算出結果を示します。その結果、水収支は均衡しました。この結果は、近年、安曇野市の地下水量があまり変化していないことから妥当です。

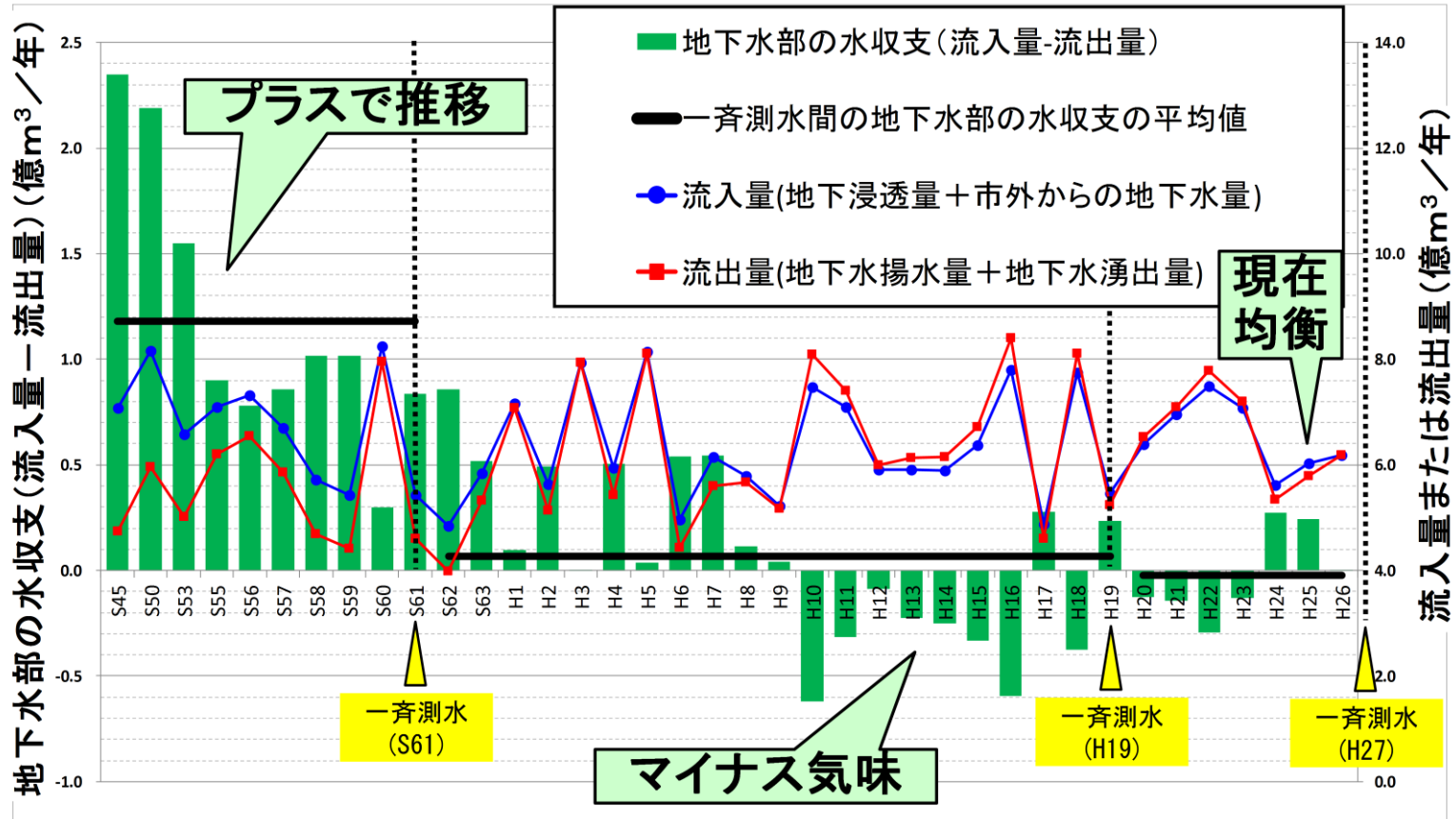
安曇野市では、土地浸透と河川伏没だけでなく、水田からの涵養水が、地下水の重要な涵養源となっています。これらの水の一部は市外からの表流水により賄われています。また、市外から地下水として流入する量も豊富です。

水収支からは、これら市内外の恵みを受け、三川合流部での豊富な湧き水(5.84 億m³/年)が生じていることが分かります。

具体的には、安曇野市内は、3つの経路(河川伏没(0.79億m³/年)、土地浸透(0.52億m³/年)、水田涵養(0.79億m³/年))で浸透する地下水(2.1億m³/年)だけでなく、市外から流入する地下水(4.08 億m³/年)があるため、地下水としての流入量の総計は6.18 億m³/年に達します。このうち、安曇野市で0.34 億m³/年が揚水され、残り5.84 億m³/年が三川合流部で湧水として湧き出すこととなります。

5.2安曇野市の水収支

過去～現在の水収支

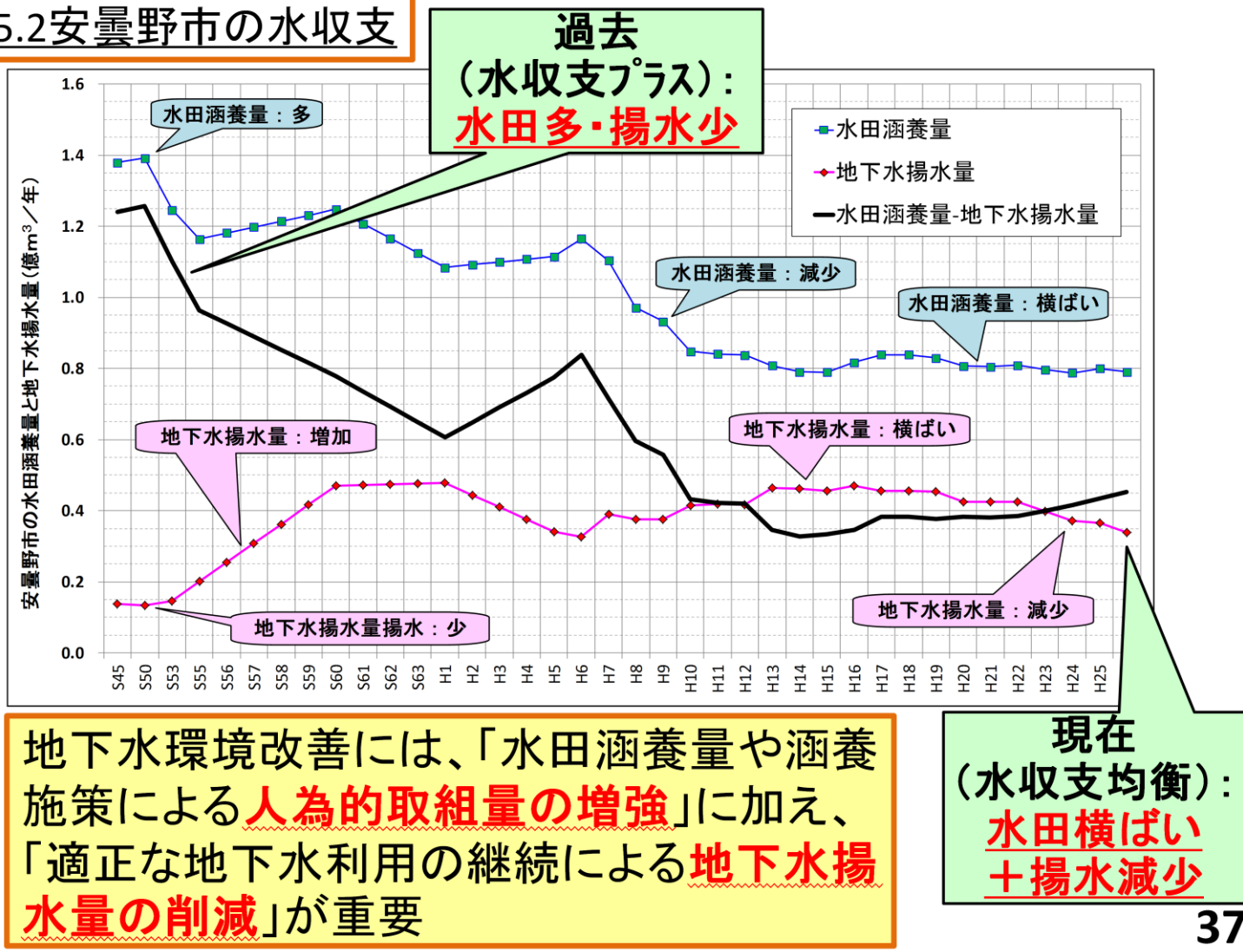


過去は水収支がプラスで推移。その要因は・・・

36

過去の水収支はどうなっていたのでしょうか。その結果を示したのがこの図です。図からは過去大きくプラスであったものが、マイナス気味となり、近年均衡傾向にあることが分かります。

5.2安曇野市の水収支



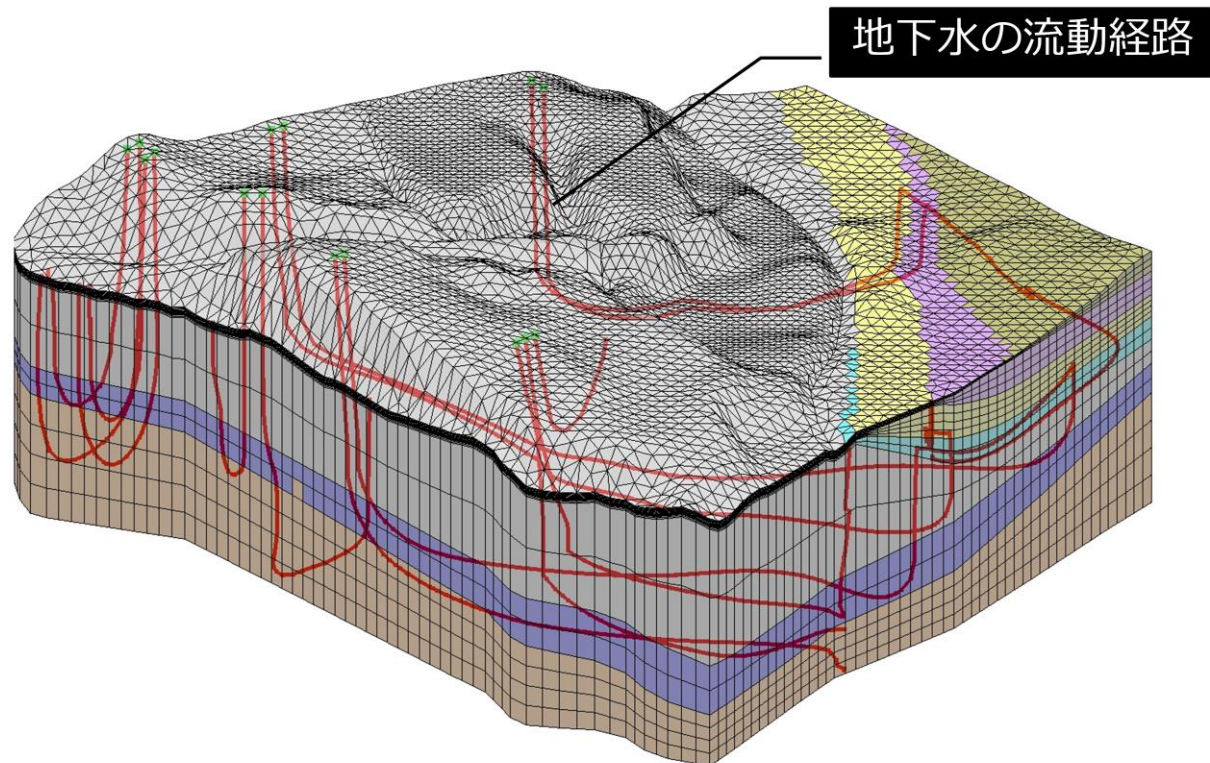
地下水環境改善には、「水田涵養量や涵養施策による人為的取組量の増強」に加え、「適正な地下水利用の継続による地下水揚水量の削減」が重要

現在 (水収支均衡): 水田横ばい + 揚水減少

この傾向は、「水田涵養量が【過去多→減少→現在横ばい】」と「地下水揚水量が【過去小→増加→横ばい→現在減少】」となっており、これらの差分が「過去多→減少→近年横ばい」となっていることと符合します。よって、安曇野市における水収支は、水田涵養量を増やし地下水揚水量を減らすことでプラスを維持できると言えます。

(1) 検討手法

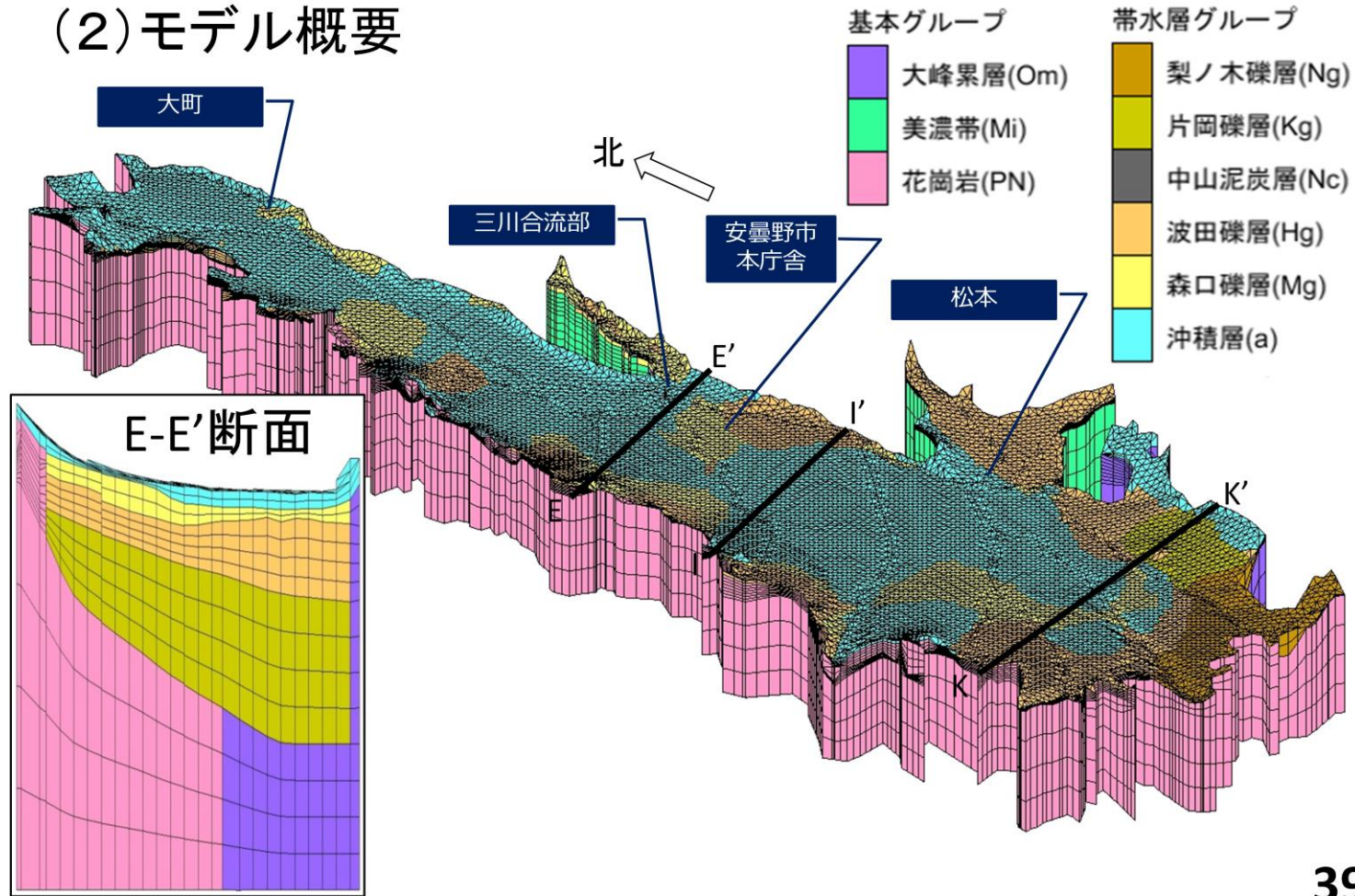
3次元数値解析により、地表から浸透した水が地下でどのように移動するのかを可視化した



5.3地下水解析

地下水解析の考え方

(2)モデル概要



39

地下水解析モデルの全景です。水の通りやすさや貯えやすさに着目し、地質を区分しています。

5.3地下水解析

(3) 解析結果

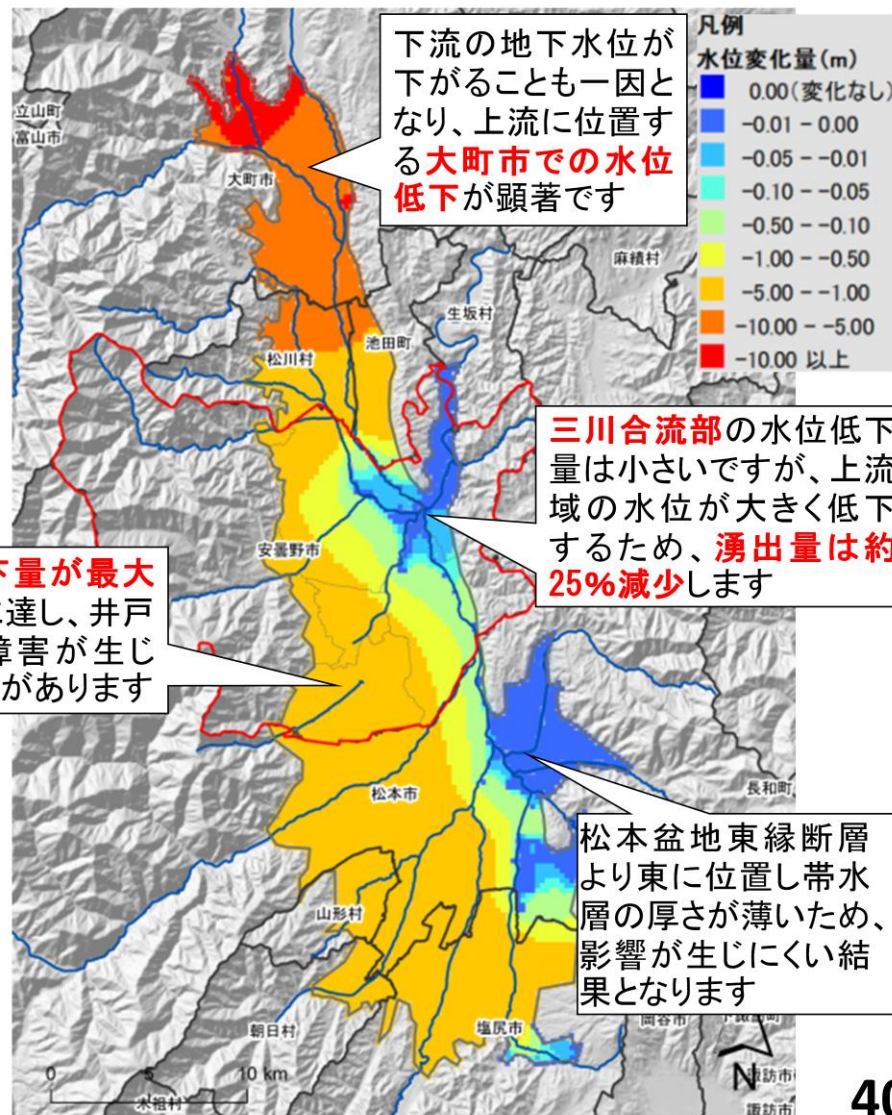
現在の延長線
上にある将来

水位低下量が最大
5m近くに達し、井戸
に揚水障害が生じる
可能性があります

下流の地下水位が
下がることも一因と
なり、上流に位置す
る大町市での水位
低下が顕著です

三川合流部の水位低下
量は小さいですが、上流
域の水位が大きく低下
するため、湧出量は約
25%減少します

松本盆地東縁断層
より東に位置し帯水
層の厚さが薄いため、
影響が生じにくい結
果となります

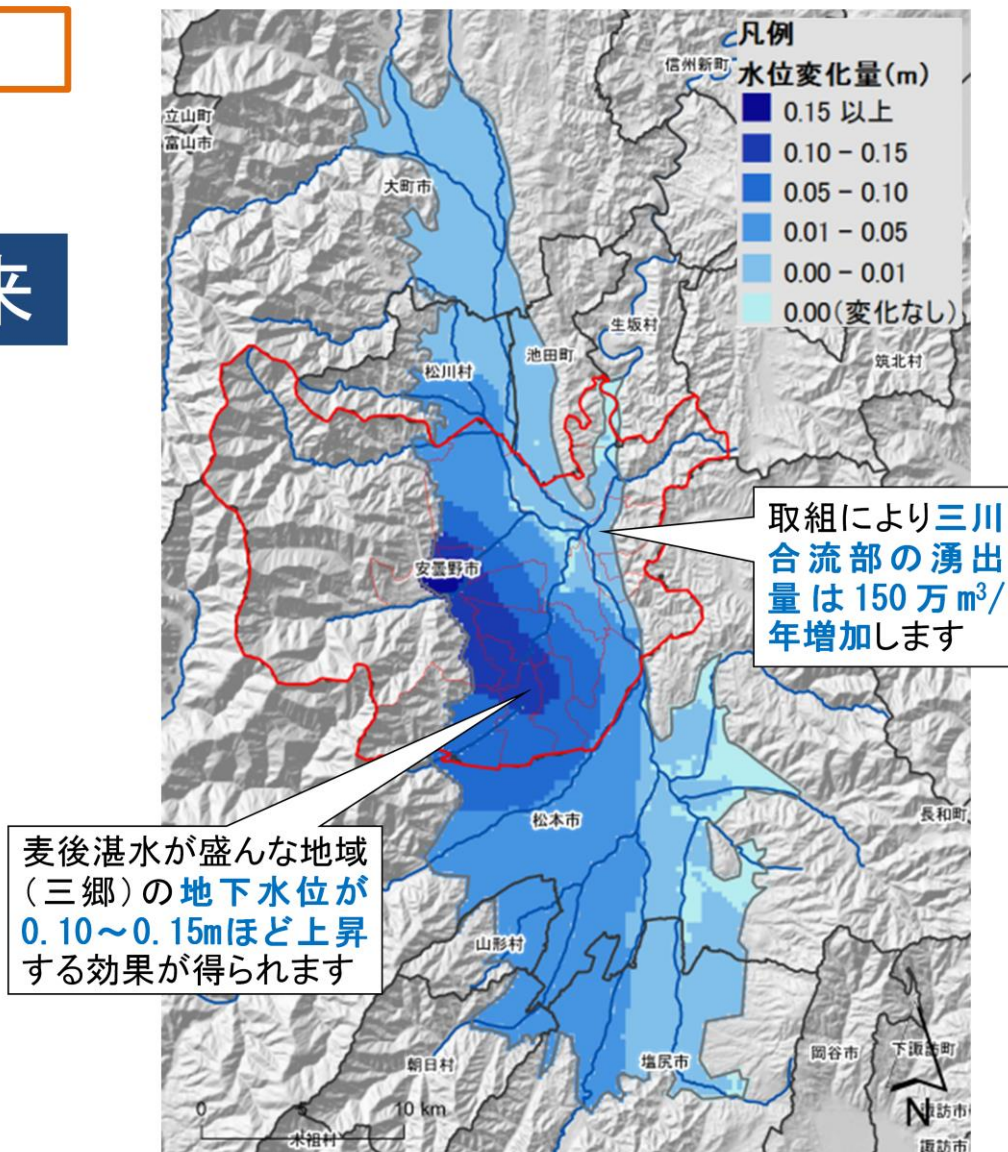


解析結果の一例として、現在の延長線上にある将来(昔のように水田が減少する場合)を示します。影響は松本盆地全体に広がり、水位の低下や湧出量の減少が予測されます。

5.3地下水解析

(3)解析結果

選択する未来



41

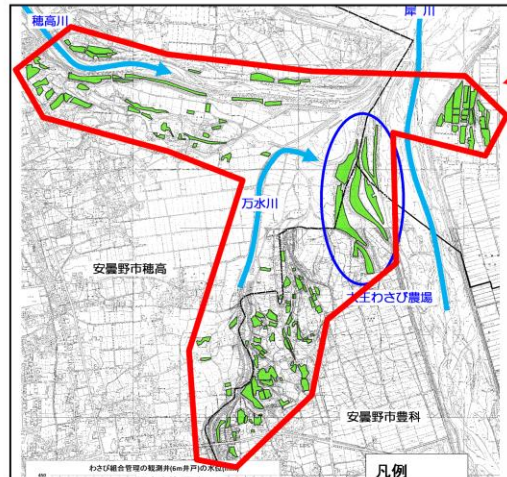
解析結果の一例として、選択する未来(安曇野市で取り組んでいる麦後湛水の拡大)を示します。麦後湛水実施地域での水位上昇だけでなく、湧出量の増加も予測されます。

5.4 計画上の 閾値の提案

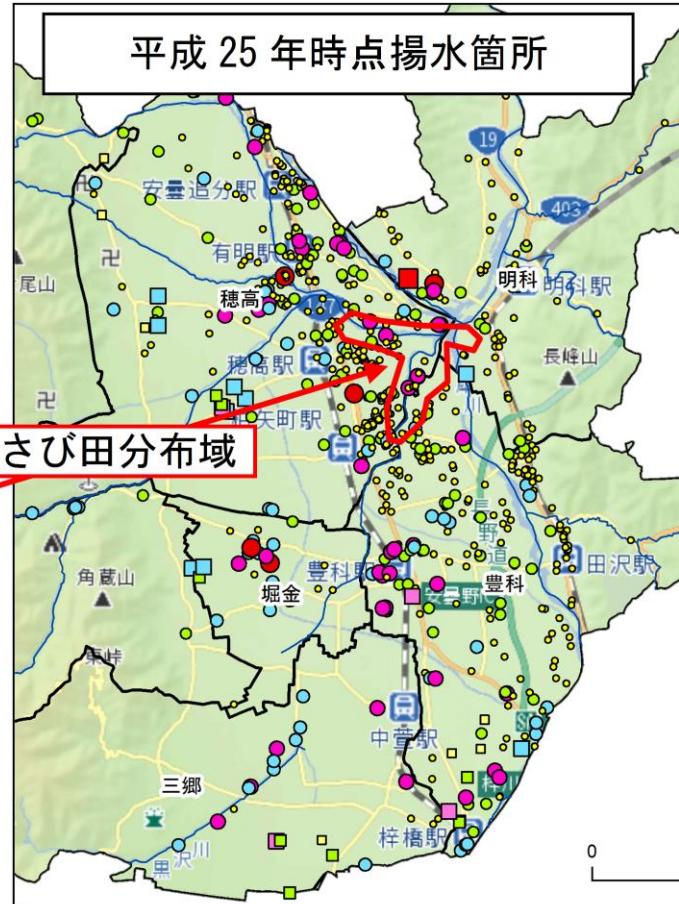
三川合流部のわさび栽培へ影響を 及ぼさない値(地下水位低下1cm未満)

H25 時点揚水量: 3,663 万 m³/年

上水道以外の水源 年間揚水量 m ³ /年	上水道水源 年間揚水量 m ³ /年
● 0 - 1,000	□ - 200,000
● 1,001 - 10,000	□ 200,001 - 400,000
● 10,001 - 100,000	□ 400,001 - 600,000
● 100,001 - 1,000,000	□ 600,001 - 800,000
● 1,000,001 -	□ 800,001 -



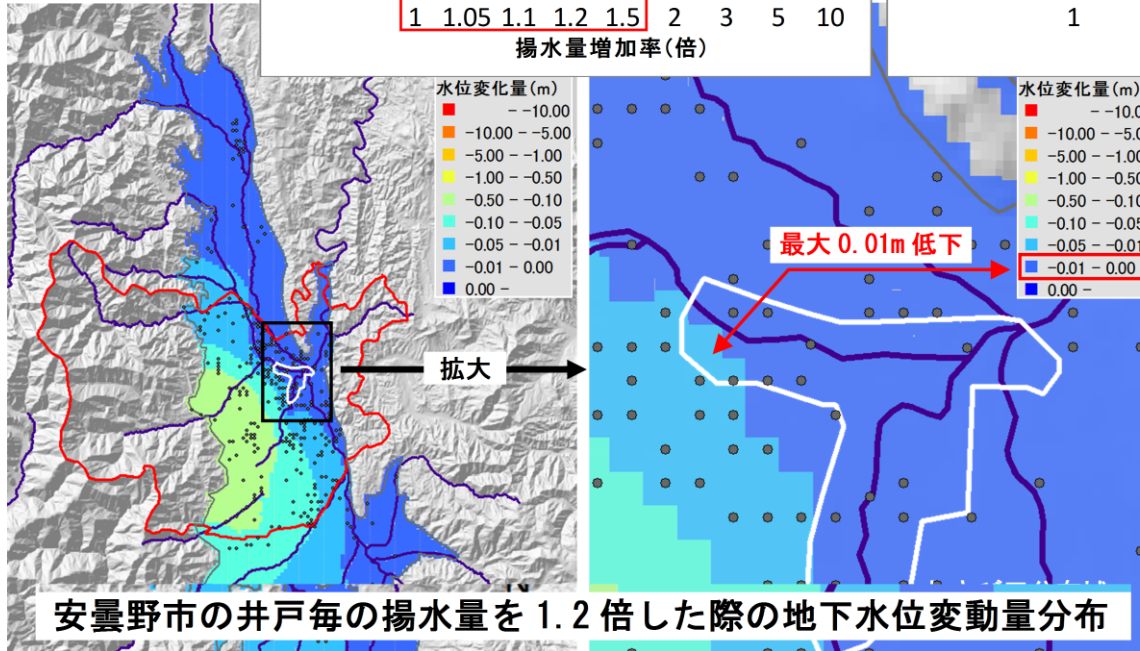
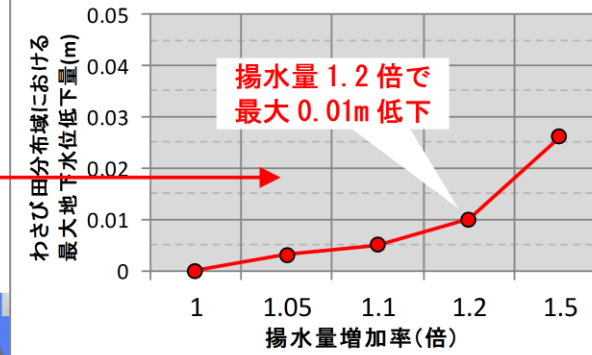
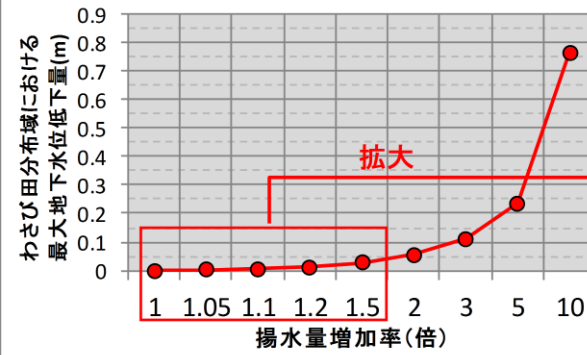
わさび田分布域



42

今回、計画上の閾値を検討しました。閾値は、「わさび栽培に影響を及ぼさない値」とし、わさび栽培者から提示された水位低下量1cmを「満足する地下水揚水量」としました。本ページには安曇野市の揚水位置とわさび栽培範囲を示しています。

5.4計画 上の閾 値の提 案



安曇野市の井戸毎の揚水量を 1.2 倍した際の地下水位変動量分布

閾値 (安曇野市における年間地下水揚水量) : **4,300万 m^3 /年未満**
 $\doteq 4,395.6万 m^3 /年 = H25時点揚水量3,663万 m^3 /年 \times 1.2倍$

43

地下水解析で解析したところ、現在の揚水量年間3663万トンの1.2倍(4396万トン)まではわさび田分布域での地下水位低下量が1cmに達せず「満足する地下水揚水量」と解析されました。この結果から安曇野市における計画上の閾値として「年間4300万トン」を設定しました。

5.5 計画上の目標量の提案

目標量: 300万m³/年

取組可能な最大規模

期待涵養量(高中低位)

費用

計画目標量決定に当たっての選定根拠

事業名称	想定する 最大効果	最大効果に 対する達成率			各涵養量 (万m ³ /年)			各取組面積 (ha)			費用 (万円/年)		
	涵養量 (万m ³ /年)	高位 達成	中位 達成	低位 達成	高位 達成	中位 達成	低位 達成	高位 達成	中位 達成	低位 達成	高位 達成	中位 達成	低位 達成
麦後湛水事業	635	50%	25%	15%	318	159	95	193	96	58	3,176	1,588	953
転作田湛水事業	74	20%	10%	5%	15	7	4	9	5	2	149	74	37
かんがい 期間拡大事業 (秋水たんぼ)	1,266	20%	10%	5%	253	127	63	614	307	153	3,068	1,534	767
公園施設 経由涵養事業	8	20%	10%	5%	2	1	0	0	0	0	17	9	4
合計	1,983	-	-	-	587	294	163	815	408	213	6,410	3,205	1,761

44

最後に水環境保全を進めていく上での計画上の目標値を提案しました。取組可能な最大規模に対し実現性や費用も念頭に高位～低位の場合分けをし検討した結果、年間300万トンを目標準としたものです。