

図-3.2.15 宙水の降雨に対する電気伝導度・水温変動

3-3. 重点調査地域における地下水の水収支

本地域における地下水の動態を明らかにするにあたり、河川水と地下水とのやり取り、降雨による地表面浸透量等が不明だったため、重点調査地域を対象に地下水の水収支を把握した。

(1) 重点調査地域の伊那層に胚胎する地下水量

重点調査地域の伊那層に胚胎する地下水量を把握するため、以下の式を用いて算出した。地下水量は、図-3.3.1で示す芦部川、虻川及び天竜川で囲まれた上部伊那層あるいは下部伊那層に胚胎する地下水量とし、平成18年2月における第一・第二地下水位コンターに基づき、それぞれの飽和体積を求め、これに有効間隙率¹を乗じることで求めた。伊那層の有効間隙率は既存文献²で示された松本盆地に分布する同年代の砂礫層の有効間隙率20%を用いた。なお、宙水に胚胎する地下水量は、対象領域に広がる帯水層である段丘堆積物に厚さ2mの飽和帯を形成していると仮定し同様に求めた³。これらを用い算出すると表-3.3.1に示す地下水量が得られる。

$$\text{地下水賦存量 (m}^3\text{)} = \text{帯水層の飽和領域の堆積 (m}^3\text{)} \times \text{有効間隙率 (\%)} \\ \text{(地下水位より下の部分)}$$

$$\text{第一地下水賦存量 (m}^3\text{)} = 6,000 \text{ (万m}^3\text{)} \times 20 \% = 1,200 \text{ (万m}^3\text{)}$$

$$\text{第二地下水賦存量 (m}^3\text{)} = 11,000 \text{ (万m}^3\text{)} \times 20 \% = 2,200 \text{ (万m}^3\text{)}$$

$$\text{宙水地下水賦存量 (m}^3\text{)} = 400 \text{ (万m}^3\text{)} \times 20 \% = 80 \text{ (万m}^3\text{)}$$

1 土粒子間を流力の作用により流動する水分が占めることの出来る間隙の割合。いわゆる自由水が流動できる割合を表し、土粒子と物理化学的に結合している水分(結合水)の占める間隙の割合は含まれない。

2 「農水省関東農政局(1979)、地下水保全涵養調査松本盆地南部地区報告書」では、井戸調査に基づき砂礫層の貯留係数を示している。その後の地下水賦存量を推定した資料(「松本市(1994)、地下水調査結果の解析委託」、「大町市(1995)、高瀬川左岸平坦部における地下水調査」)では、この貯留係数より、有効間隙率として20%を設定している。

3 図-3.3.1に示した対象領域に広がる段丘堆積物の面積200万m²と飽和領域の厚さ2mと有効間隙率20%を用いて、以下の式で算出した。

$$200\text{万m}^2 \times 2\text{m} \times 0.2 = 80\text{万m}^3$$



図-3.3.1 重点調査地域の伊那層分布域

表-3.3.1 重点調査地域の地下水賦存量

地下水区分	地下水賦存量(万m ³)
第一地下水	1,200
第二地下水	2,200
宙水	80
合計	3,480

(2) 地表面からの浸透量

地表面からの浸透は、降雨による浸透とスプリンクラー散水あるいは田からの涵養に区分される。

降雨浸透

降雨による浸透量は、気象庁飯田測候所の気象データを用いて、対象地の年間降水量、約1,600mm/年から年間の蒸発散量、約750mm/年を差し引き、これに流出係数¹(表-3.3.2参照)を考慮して以下に示す式で算出される。なお、対象領域は、芦部川、虻川及び天竜川で囲まれた地域にある下部伊那層分布域とした(前出図-3.3.1参照)。この面積は350万m²である。

$$\text{降雨による年間浸透量} = (\text{年間降水量} - \text{年蒸発散量}) \times (1 - \text{流出係数}) \times \text{区域面積}$$

$$150\text{万m}^3 \quad (1.6\text{m/年}^2 - 0.75\text{m/年}^2) \times (1 - 0.5) \times 350\text{万m}^2$$

2 1986 ~ 2005 年の平均値

表-3.3.2 地形別流出係数
土木学会(1999)、水理公式集より引用

地形の状態	f_p
急しゅんな山地	0.75~0.90
三紀層山地	0.70~0.80
起伏のある土地および樹林地	0.50~0.75
平らな耕地	0.45~0.60
灌漑中の水田	0.70~0.80
山地河川	0.75~0.85
平地小河川	0.45~0.75
流域の半ば以上が平地である大河川	0.50~0.75

← 対象地相当

1 降雨量に対する流出した雨水量の比率。

スプリンクラー散水・田からの涵養

対象域内では田村原でスプリンクラーによる散水が実施されている(図-3.3.2参照)。散水記録より、年間の散水総量は、図-3.3.3のとおりとなる。この年間平均値相当である5(万m³/年)が散水量として見込まれる。

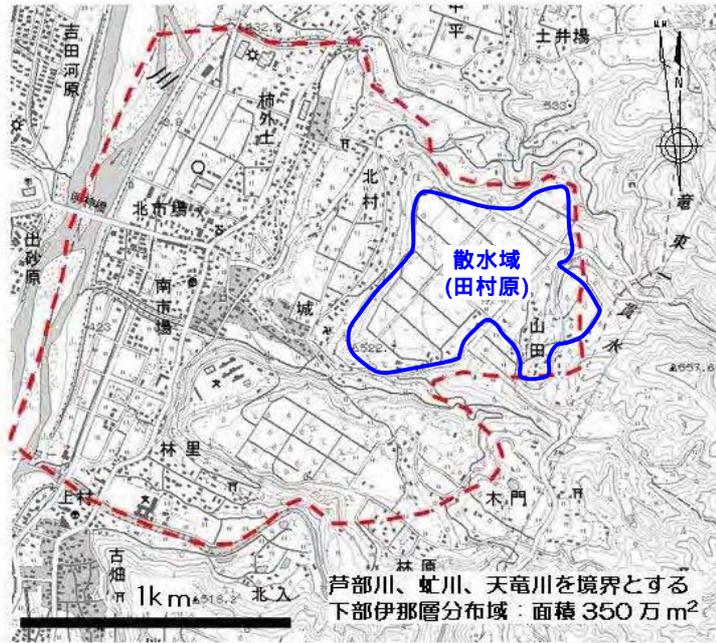


図-3.3.2 スプリンクラー散水域

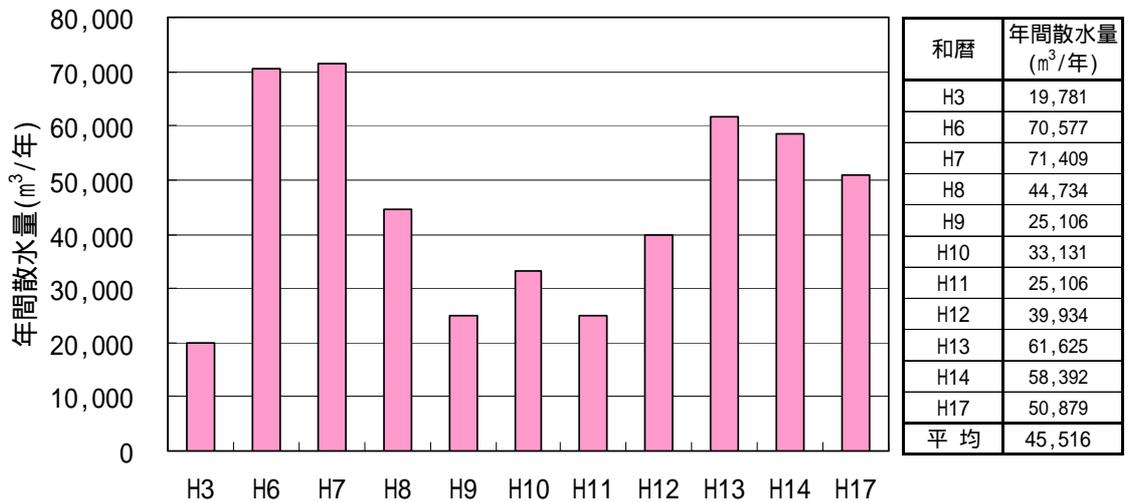


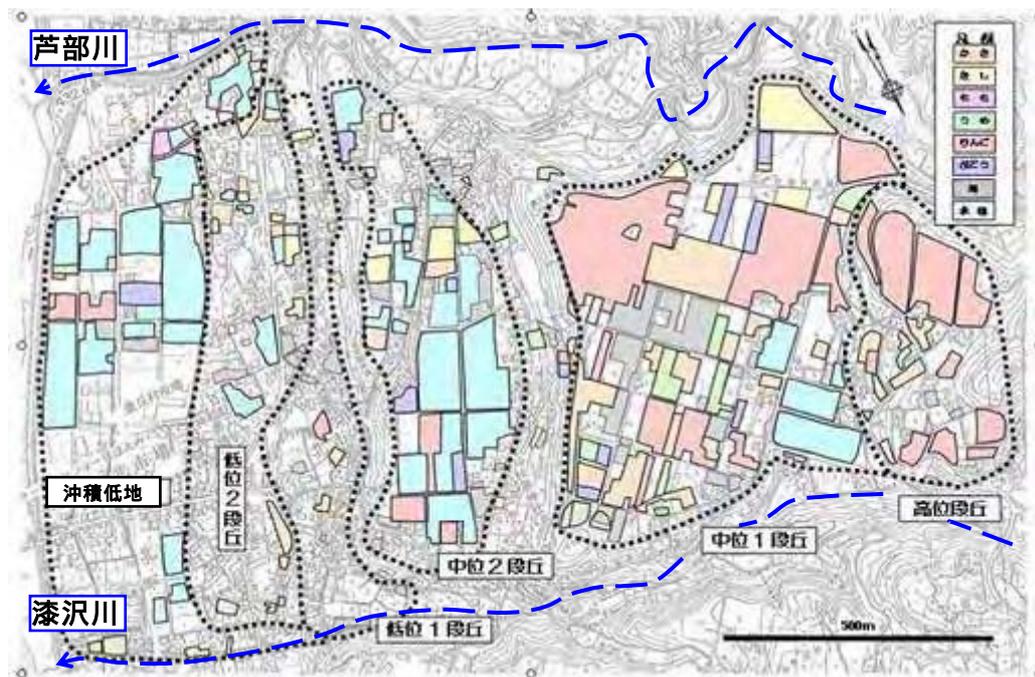
図-3.3.3 散水記録に基づく年間散水量の推移

現地で把握した水田作付面積(図-3.3.4参照)と、中位段丘面の減水深(20mm/日)¹と低位段丘面の減水深(30mm/日)¹と、かんがい日数(しろかき期～かんがい期(5月26日～9月25日)の123日間とした)を考慮し、以下の算出式で田涵養量を算出した。なお、

1 長野県農業技術課からの提供値

川間の水田面積は各段丘面の面積に、芦部川から漆沢川間で把握した各段丘毎の水田面積比を乗じて算出した。以下の算出式より、田による涵養は7(万m³/年)と見込まれる。

$$\begin{aligned} \text{田涵養量(m}^3\text{/年)} &= \text{減水深(mm/日)} \div 1,000 \times \text{かんがい日数} \times \text{作付面積(m}^2\text{)} \\ &\left\{ \begin{array}{ll} 27,000 \text{ (m}^3\text{/年)} & 20\text{(mm/日)} \div 1,000 \times 123\text{日} \times 11,000\text{(m}^2\text{)} \quad \text{中位段丘} \\ 44,000 \text{ (m}^3\text{/年)} & 30\text{(mm/日)} \div 1,000 \times 123\text{日} \times 12,000\text{(m}^2\text{)} \quad \text{沖積低地・低位段丘} \end{array} \right. \\ \text{合計} & 2.7\text{(万m}^3\text{/年)} + 4.4\text{(万m}^3\text{/年)} = 7\text{(万m}^3\text{/年)} \end{aligned}$$



区分		沖積低地					
		現河床	低位2	低位1	中位2	中位1	高位
芦部川 ～ 漆沢間	段丘面積(m ²)	34,000	19,500	11,500	20,600	40,100	10,800
	水田面積(m ²)	7,220	900	0	6,030	2,290	0
	比率(%)	21.2	4.6	0.0	29.3	5.7	0.0
漆沢川～ 虻川間	段丘面積(m ²)	17,000	14,000	7,500	4,000	28,000	17,000
	水田面積(m ²)	3,610	646	0	1,171	1,599	0
段丘毎の水田面積合計(m ²)		10,830	1,546	0	7,201	3,889	0
減水深区分による 水田面積合計(m ²)		12,000			11,000		

図-3.3.4 田涵養量算出データ

よって、スプリンクラー散水及び田涵養による年間の涵養量は、5(万m³/年) + 7(万m³/年) = 12(万m³/年)となる。なお、田涵養の用水は現地井水(水路)から得ている。水路は三面張りのコンクリートからなり、ここからの地下への浸透はほぼないと仮定した

(3) 河川からの伏没等

河川から地下への伏没あるいは地下から河川への湧出状況を把握するため、調査地域を東から西方へ流下する芦部川、漆沢川及び虻川を対象として河川流量の同時観測を行った(図-3.3.5参照)。調査は平成17年9月31日～10月1日(夏季)、12月1日～2日(秋季)の2回とし、漆沢川のみ平成18年2月6日～7日(冬季)にも調査した。調査日は降水の影響のない日を選んだが、2月6日～7日のみ降雪があった。

なお、いずれも非かんがい期(9月26日～5月25日)にあたり、竜東一貫水路からの注水(各河川への水路用水の放水)はないが、本川から井水(かんがい用水路)を介した河川水の取水・放水は行われている。本川の自然流量は、各観測点の観測流量から、これら人工的な井水の取水放水流量を差し引いて求めた。結果を以下に整理する。

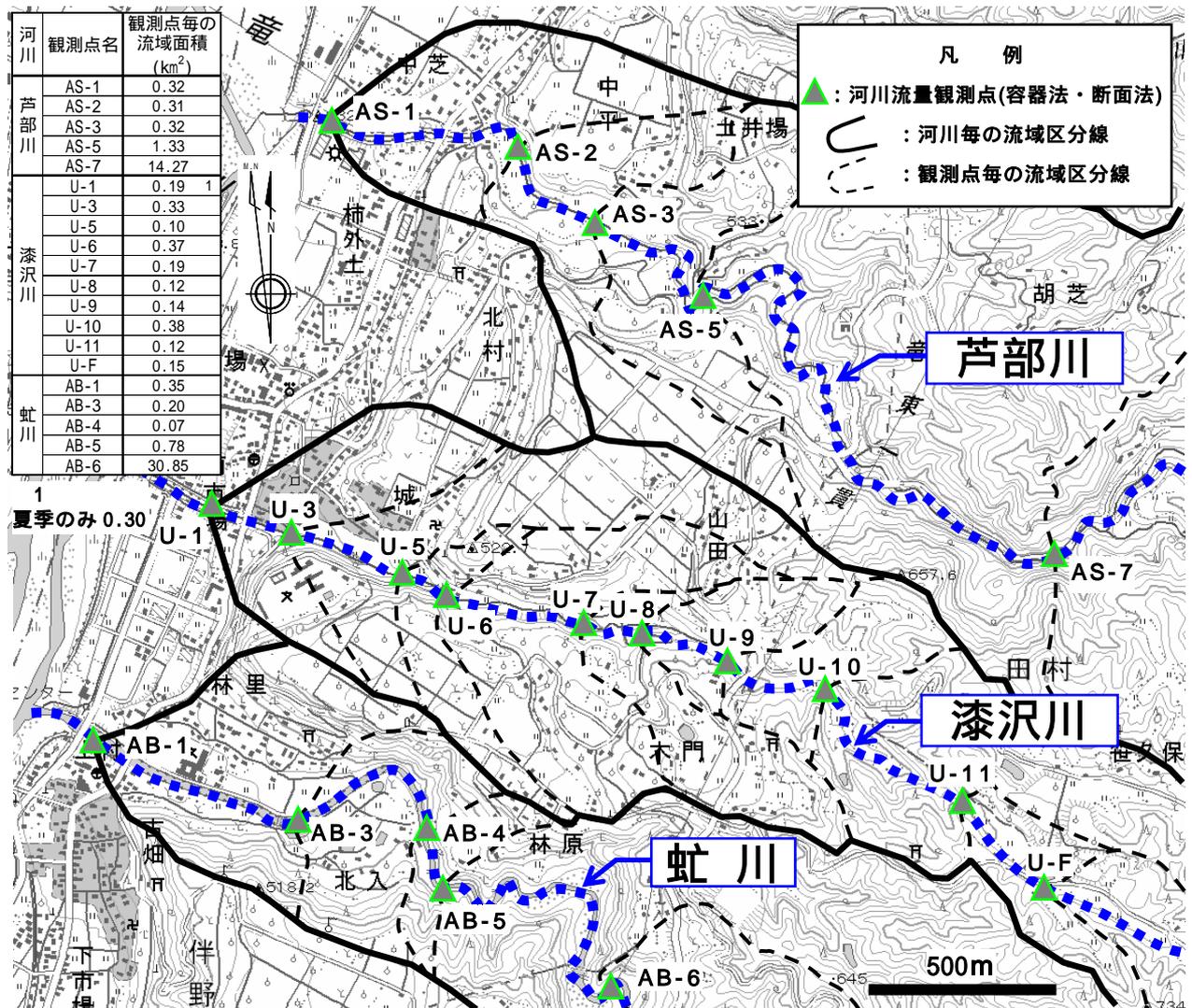
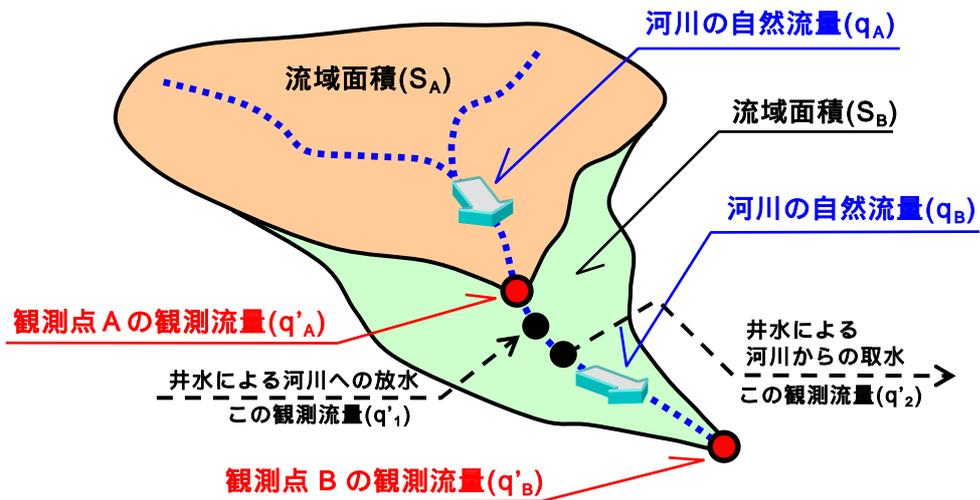


図-3.3.5 河川流量調査位置

1) 比流量分布

比流量とは、観測点の自然流量($m^3/日$)を観測点より上流の流域面積(km^2)で除した値で、河川の流況を比較するのに用いられる。自然流量は、各観測点の観測流量から井水の取水ならびに放水流量を差し戻して求めた(図-3.3.6参照)。以下に各河川の特性を整理する。



観測点の自然流量算出

観測点 A の自然流量： q_A ($m^3/日$)

$$q_A = q'_A$$

観測点 B の自然流量： q_B ($m^3/日$)

$$q_B = q'_B - q'_1 + q'_2$$



観測点の比流量算出

観測点 A の比流量： Q_A ($m^3/日/km^2$)

$$Q_A = q_A \div S_A$$

観測点 B の比流量： Q_B ($m^3/日/km^2$)

$$Q_B = q_B \div (S_A + S_B)$$

図-3.3.6 比流量の算出方法

〔芦部川〕

比流量は、花崗岩分布域に比べ、観測点AS-1～AS-3に対応する下部伊那層あるいは上部伊那層分布域が小さい(図-3.3.7参照)。これは、下部伊那層あるいは上部伊那層分布域からの流域流出量が少なくなったか、河川水の地下への伏没が多くなったことを示唆している。

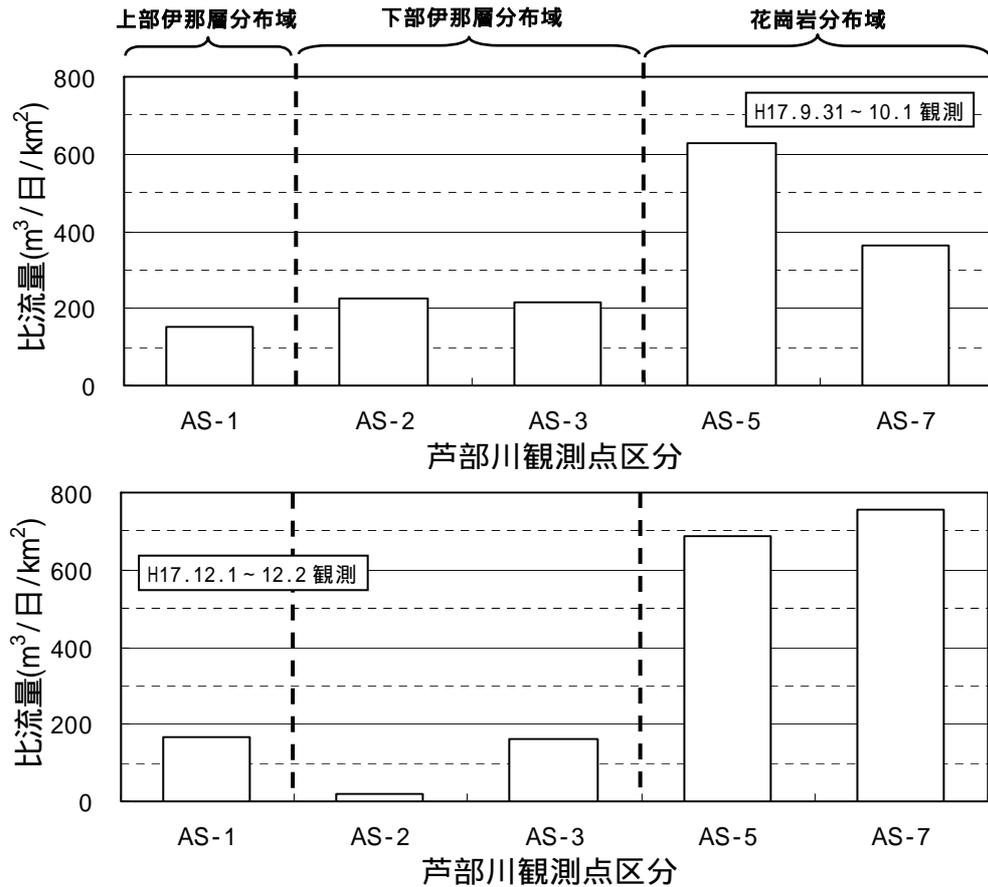


図-3.3.7 芦部川の比流量分布

〔 蛇 川 〕

芦部川と同様の結果を示す(図-3.3.8参照)。

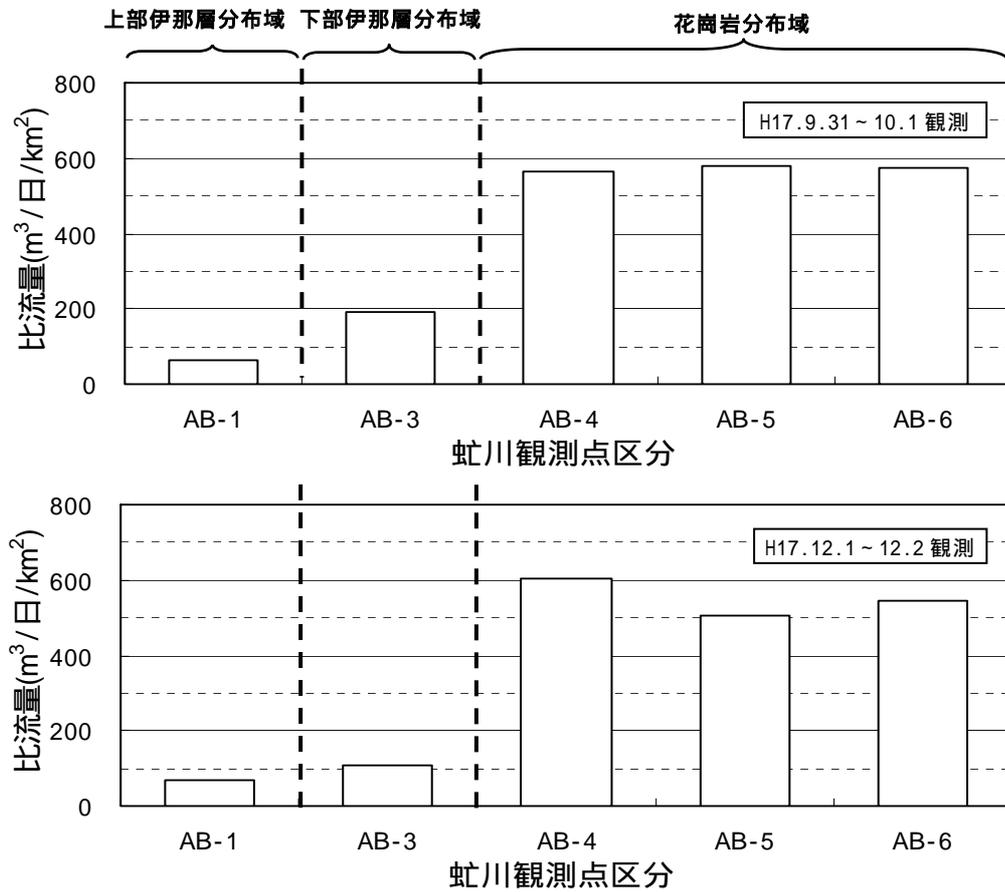


図-3.3.8 蛇川の比流量分布

〔漆沢川〕

比流量は、花崗岩分布域に比べ、観測点U-1～U-8に対応する下部伊那層あるいは上部伊那層分布域で大きく、他の河川と異なる(図-3.3.9参照)。

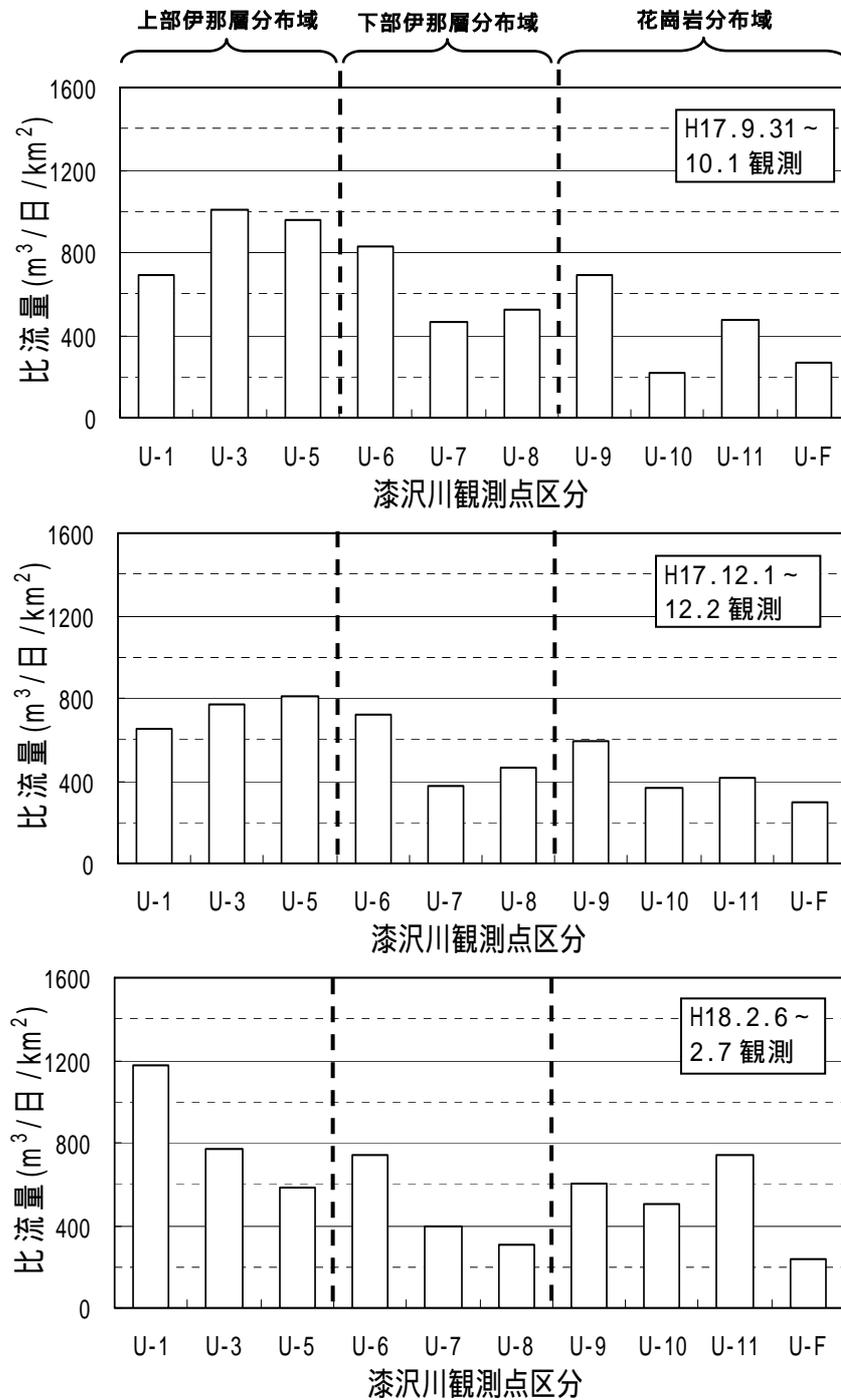


図-3.3.9 漆沢川の比流量分布

芦部川と虻川の比流量分布が同様なのは、流域規模や沢の削剥程度が似ていることに加え、川沿いの水文地質構造も図-3.3.10に示すよう似ていることが原因である。一方、漆沢川の比流量分布は他の河川と異なる。これは漆沢川の削剥レベルが他の河川のそれに比べ浅く、上部伊那層あるいは下部伊那層に涵養した地下水が、漆沢川の北東側(右岸上流)から南西側(左岸下流)へ緩く傾いた難透水性であるミソベタ層に規制され、漆沢川へ達する流域流出量が多くなっているのが原因と考えられる(図-3.3.11参照)。

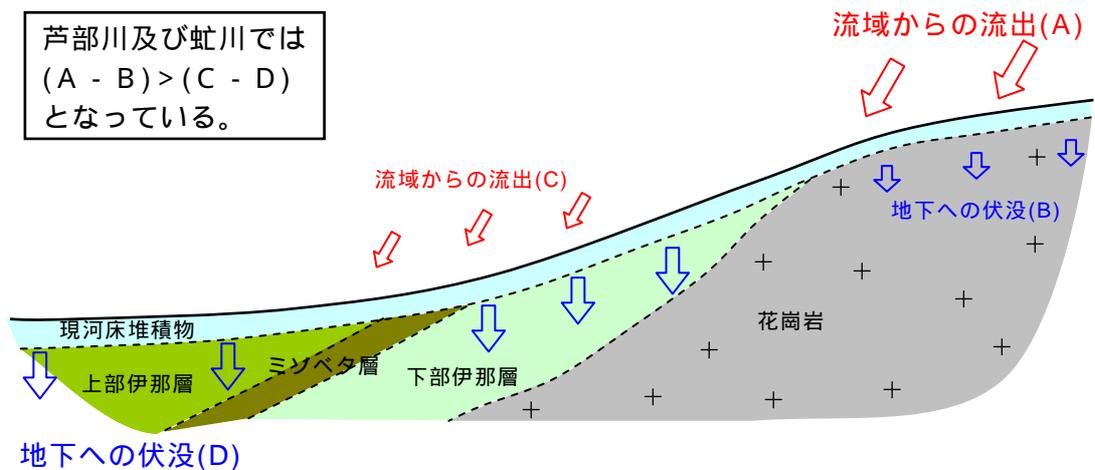


図-3.3.10 芦部川及び虻川沿いの模式断面

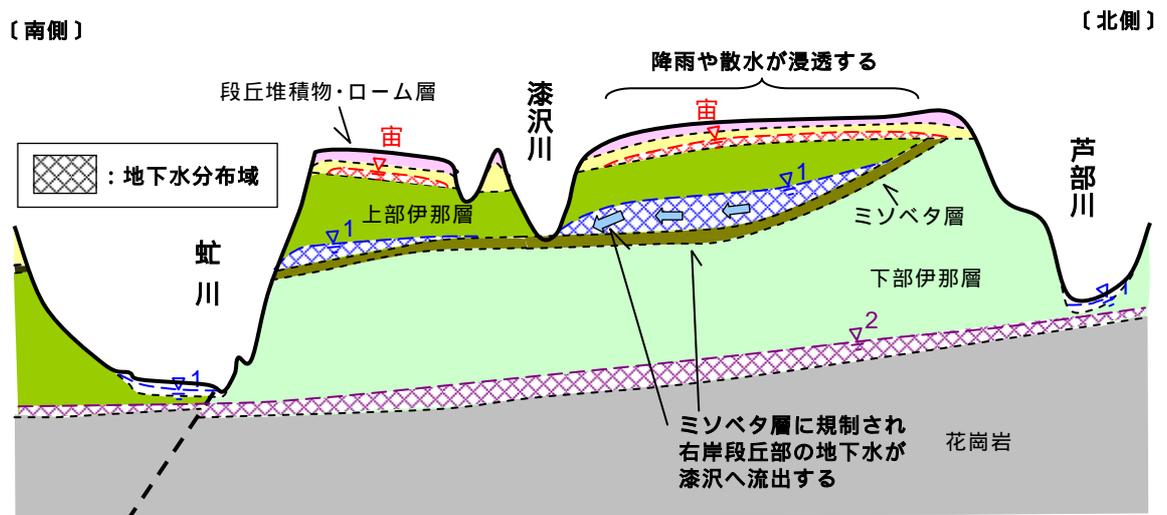


図-3.3.11 3河川横断模式断面

2) 伊那層分布域での河川水伏没量及び湧出量

河川水による年間伏没量及び湧出量を把握することを目的に、伊那層分布域から地下へ伏没あるいは湧出する河川水量を算出した。算出にあたっては、伊那層分布域に流入あるいは流出する河川流量(観測流量)を差し引くことで、実際に伊那層分布域で生じる河川水伏没量を算出した。なお、井水による取放水量は差し戻した。結果を以下に整理する。

〔芦部川〕

9月30日～10月1日の観測では、河川から地下への伏没量は4,400m³/日となる。12月1日～2日の観測では、河川から地下への伏没量は2,240m³/日となる(表-3.3.3及び図-3.3.12参照)。

表-3.3.3 芦部川から伊那層分布域への河川水伏没量

		観測期間：9月30日～10月1日				観測期間：12月1日～2日				
		流入		流出		流入		流出		
区分		観測点名	観測点流量	観測点名	観測点流量	観測点名	観測点流量	観測点名	観測点流量	
芦部川 観測結果	対象区間への河川流入量	AS-5	4,000			AS-5	2,400			
	対象区間への井水流入量	AS-E	-220				AS-E	-10		
		AS-D	-30				AS-D	-10		
		AS-C	0				AS-C	-360		
		AS-B	-120				AS-B	-60		
		AS-A	-30				AS-A	-220		
	対象区間からの井水流出量			AS-3' 1	-1,300			AS-3'	-1,300	
					AS-2'	-1,100			AS-2'	-1,300
	対象区間からの河川流出量			AS-1	1,600			AS-1	2,100	
	合計		3,600		-800		1,740		-500	
伏没量(流入-流出)		4,400			2,240					

1 調査時未確認のため12月測定データを代入した

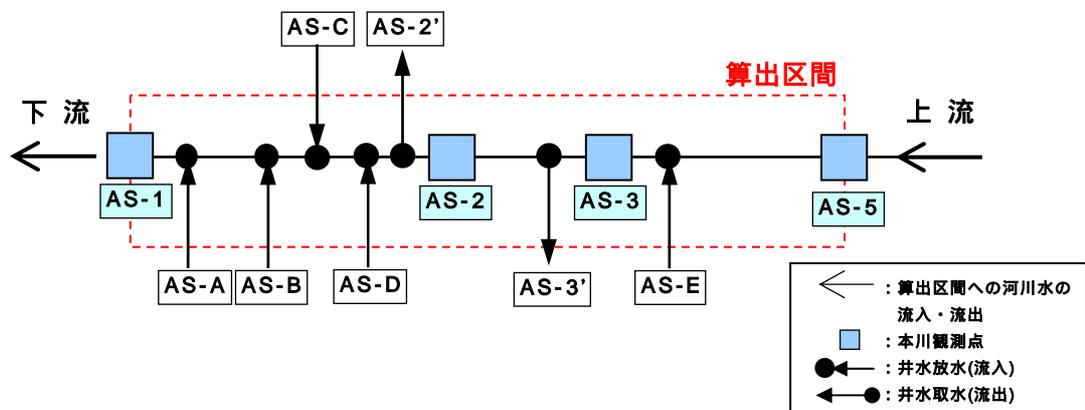


図-3.3.12 芦部川の伊那層分布域流域区分

〔 蛇 川 〕

9月30日～10月1日の観測では、河川から地下への伏没量は5,100m³/日となる。12月1日～2日の観測では、河川から地下への伏没量は5,490m³/日となる(表-3.3.4及び図-3.3.13参照)。

表-3.3.4 蛇川から伊那層分布域への河川水伏没量

		観測期間：9月30日～10月1日				観測期間：12月1日～2日					
区 分	流入		流出		区 分	流入		流出			
	観測点名	観測点流量	観測点名	観測点流量		観測点名	観測点流量	観測点名	観測点流量		
蛇川観測結果	対象区間への河川流入量	AB-4	5,800			対象区間への河川流入量	AB-4	4,600			
	対象区間への井水流入量	AB-2	-1,000			対象区間への井水流入量	AB-2	-110			
	対象区間からの井水流出量			AB-2'	1	-3,400	対象区間からの井水流出量			AB-2'	-3,400
	対象区間からの河川流出量			AB-1	3,100	対象区間からの河川流出量			AB-1	2,400	
	合 計	4,800		-300		合 計	4,490		-1,000		
	伏 没 量 (流入-流出)	5,100				伏 没 量 (流入-流出)	5,490				

1 調査時未確認のため、12月測定データを代入した

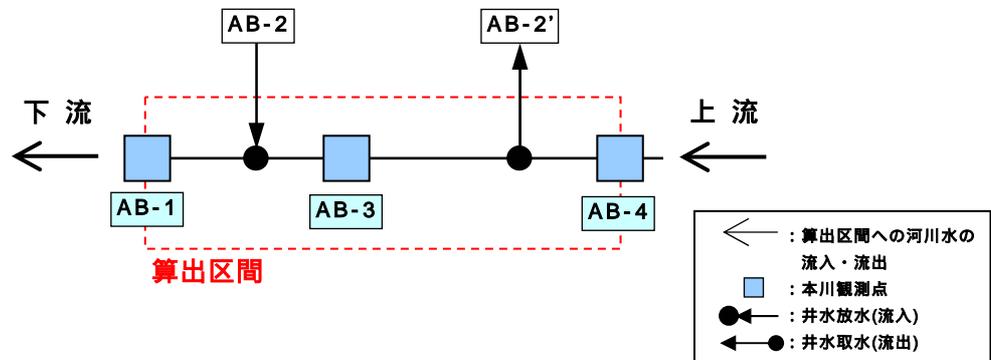


図-3.3.13 蛇川の伊那層分布域流域区分

〔 漆 沢 川 〕

9月30日～10月1日の観測では、地下から河川へ4,610m³/日湧出することとなる。12月1日～2日の観測では、地下から河川へ2,080m³/日湧出することとなる。また、2月6日～7日の観測では、地下から河川へ3,990m³/日湧出することとなる(表-3.3.5及び図-3.3.14参照)。

表-3.3.5 伊那層分布域から漆沢川への地下水湧出量

単位：m ³ /日					単位：m ³ /日					単位：m ³ /日				
観測期間：9月30日～10月1日					観測期間：12月1日～2日					観測期間：2月6日～7日				
区分	流入		流出		区分	流入		流出		区分	流入		流出	
	観測点名	観測点流量	観測点名	観測点流量		観測点名	観測点流量	観測点名	観測点流量		観測点名	観測点流量	観測点名	観測点流量
対象区間への河川流入量	U-9	220			対象区間への河川流入量	U-9	100			対象区間への河川流入量	U-9	170		
対象区間への井水流入量	U-D	-400			対象区間への井水流入量	U-D	-340			対象区間への井水流入量	U-D	-40		
	U-C	-130				U-C	-170				U-C	-240		
	U-B	-1,100				U-B	0				U-B	-50		
	U-A	-300				U-A	-170				U-A	-630		
対象区間からの井水流出量					対象区間からの井水流出量					対象区間からの井水流出量				
対象区間からの河川流出量			U-1	2,900	対象区間からの河川流出量			U-1	1,500	対象区間からの河川流出量		U-1	3,200	
合計		-1,710		2,900	合計		-580		1,500	合計		-790		3,200
伏没量(流入-流出)		-4,610			伏没量(流入-流出)		-2,080			伏没量(流入-流出)		-3,990		

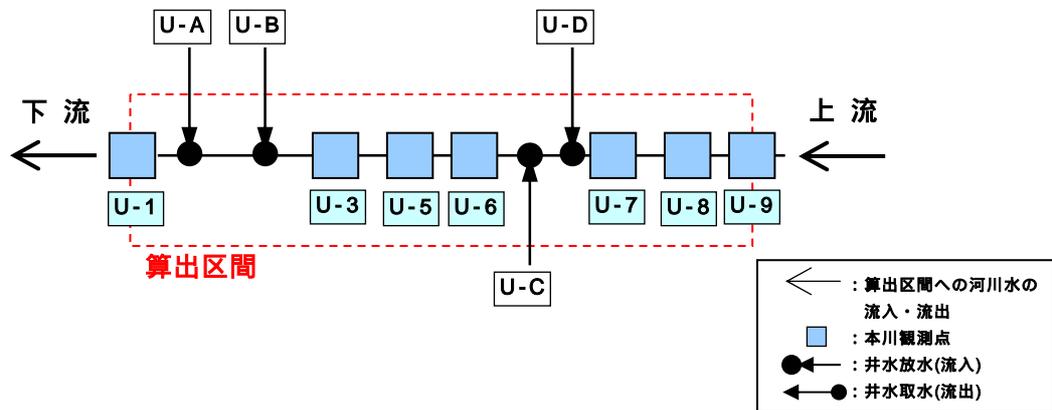


図-3.3.14 漆沢川の伊那層分布域流域区分

各河川から伊那層分布域への日単位の伏没あるいは湧出量は、複数回の観測毎に得られる。これらの結果を各河川毎に単純平均し、各河川毎の日平均値に365日を乗じることで、伊那層分布域で生じる年間の伏没あるいは湧出量を同様に求めると、表-3.3.6に示すとおりとなる。

表-3.3.6 各河川から伊那層分布域への河川水伏没量(湧出量)

単位：万m³

河川名	芦部川	漆沢川	虻川	合計
年間伏没量	伏没120	湧出190	伏没130	伏没60

(4) 地下水利用量

重点調査地域の地下水利用は、村の水道水源利用と各家庭の飲用や雑用利用に大別される。重点調査地域にある村の水道水源井は2井(田村水源井、林水源井)で、それぞれの年間利用量は、17万m³/年、7m³/年の計24万m³/年(豊丘村調べ、平成13年～平成15年の平均値)である(図-3.3.15参照)。



図-3.3.15 重点調査地域の水道水源井

各家庭の飲用や雑用利用は、各家庭の一般飲用井戸で賄われている。一般飲用井戸の所在は、県事業で明らかとされており、重点調査地域には200戸で所有されている。1日1人の水の利用量を300L(全国平均)、一世帯あたりの人数を3.7人(豊丘村H12国勢調査値)、この50%を一般飲用井戸で利用すると仮定すれば、以下の算出式で4万m³/年となる。

一般飲用井戸用水量(m³/年)

$$= 1 \text{ 人/日平均利用量(L/日・人)} \div 1,000 \times \text{一世帯人数} \times 0.5 \times \text{一年間(365日)} \times \text{対象域戸数} \\ 40,000(\text{m}^3/\text{年}) \quad 300(\text{L/日・人}) \div 1,000 \times 3.7 \times 0.5 \times 365 \times 200$$

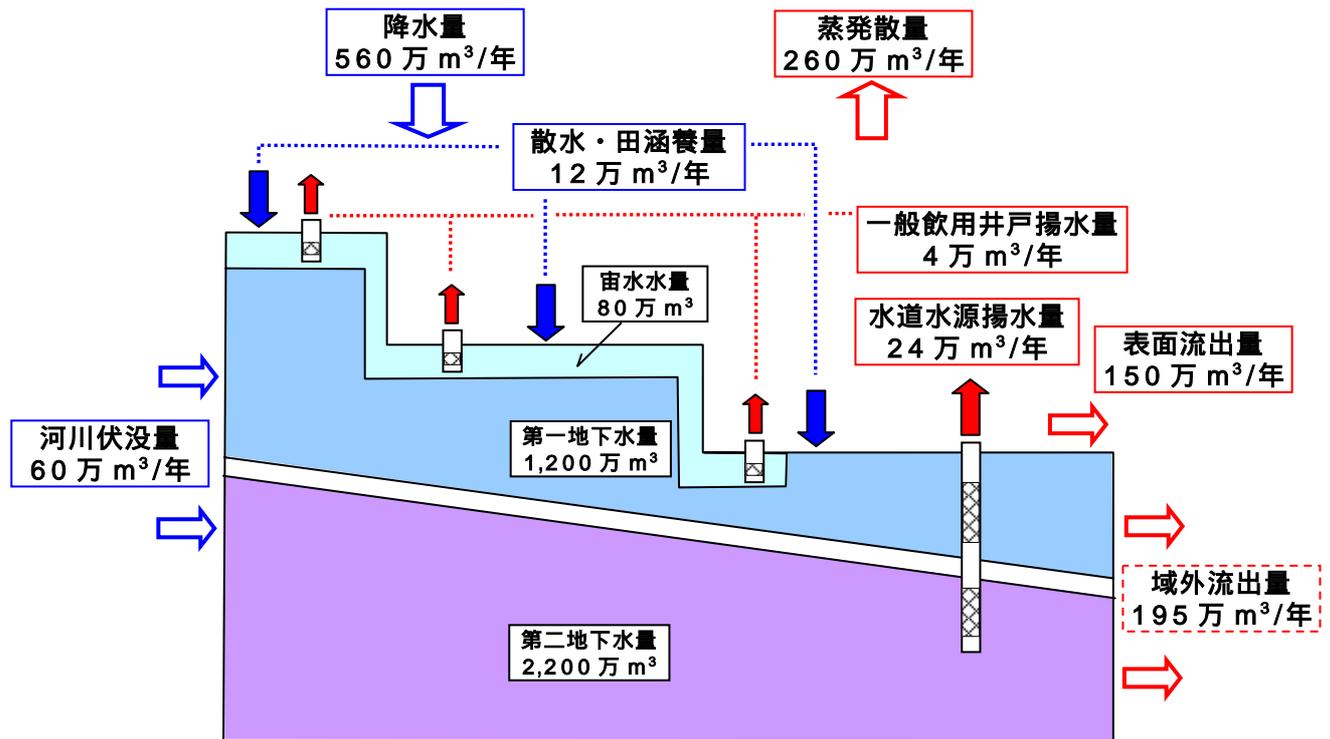
よって、年間の地下水利用量は、28万m³/年となる。

(5) 重点調査地域の水収支

1) 重点調査地域の水収支

重点調査地域の地下水の水収支を図-3.3.16に示す。重点調査地域の地下水は、降雨浸透、河川水の伏没及びスプリンクラー散水や田からの涵養によって賄われている。一方、水道水源あるいは一般飲用井戸により地下水が利用され、残りの地下水は域外である天竜川へと流動している。

既存資料及び調査結果に基づき、重点調査地域の水収支を把握する上で必要となる地下水涵養量あるいは利用量を把握した。この結果、対象地の地下水は、主として年間150万³に達する年降雨浸透と、年間60万³に達する河川水の伏没により涵養されていることが明らかとなった。なお、河川からの伏没量は、非かんがい期のもので、しろかき期～かんがい期には、竜東一貫水路を介し他流域からの導水が行われる。この時期には河川流量が非かんがい期に比べ多くなると予想され、河川から地下水への伏没量が増大する可能性がある。



in : 633 万 m ³ /年 = 降水量(560 万 m ³ /年) + 河川伏没量(60 万 m ³ /年) + 散水・田涵養量(12 万 m ³ /年)
out : 633 万 m ³ /年 = 蒸発散量(260 万 m ³ /年) + 表面流出量(150 万 m ³ /年) + 域外流出量(195 万 m ³ /年) + 水道水源揚水量(24 万 m ³ /年) + 一般飲用井戸揚水量(4 万 m ³ /年)

域外流出量は、収支のバランスがとれる値を採用した。

図-3.3.16 重点調査地域の地下水の水収支

2) 涵養による地下水置換年数の推定

伊那層の地下水は、現状では、地表からの浸透及び河川から伏没する河川水により涵養され、天竜川低地部へと流動し置換されていると考えられる。約3,480万 m^3 の伊那層と段丘堆積物に胚胎している地下水を、仮に年間162万 m^3 の地表面浸透と年間60万 m^3 の伏没河川水で置換するとすれば、約16年要することとなる（図-3.3.17参照）。地下水流動速度が遅いあるいは停滞している部分も存在すると考えられるので、地下水の入れ換えは場所によってはこれより短い期間で行われると考えられる。

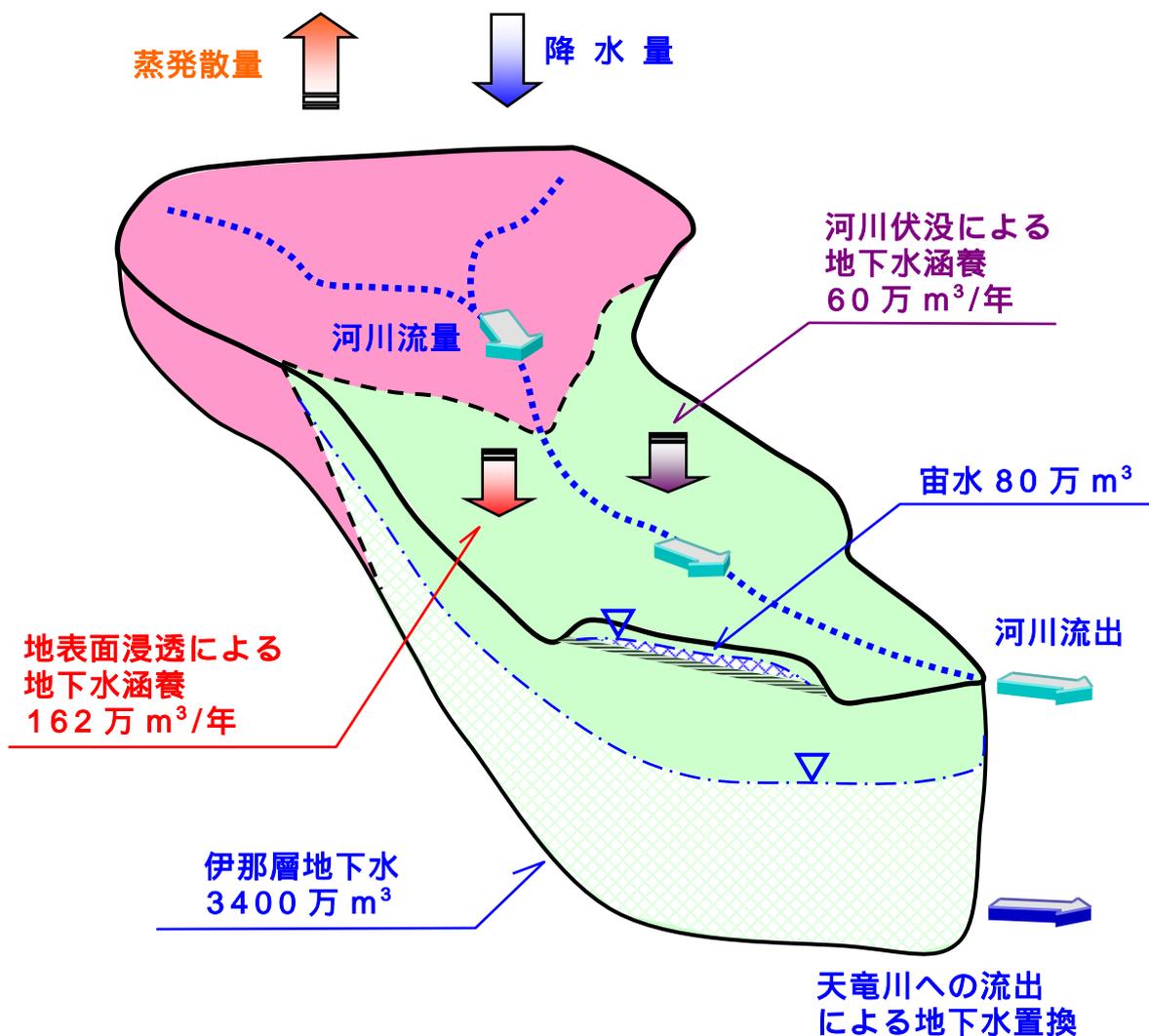


図-3.3.17 地下水置換の概念