

第2編 実流域への適用

7. 両筑平野での地下水解析

7.1. 資料収集

資料収集範囲は、水収支モデル(地表流モデル)および地下水モデルの解析範囲内とする。両筑平野での収集範囲は次のとおりである。

地下水の流動を考慮しなければならないのは、北および東側は山地と平地の境界からであり、南側は筑後川、西側は宝満川までと考えられる。したがって、資料収集範囲は、**図 7-1** に示した黒点線と2河川(筑後川, 宝満川)に囲まれた地域とする。

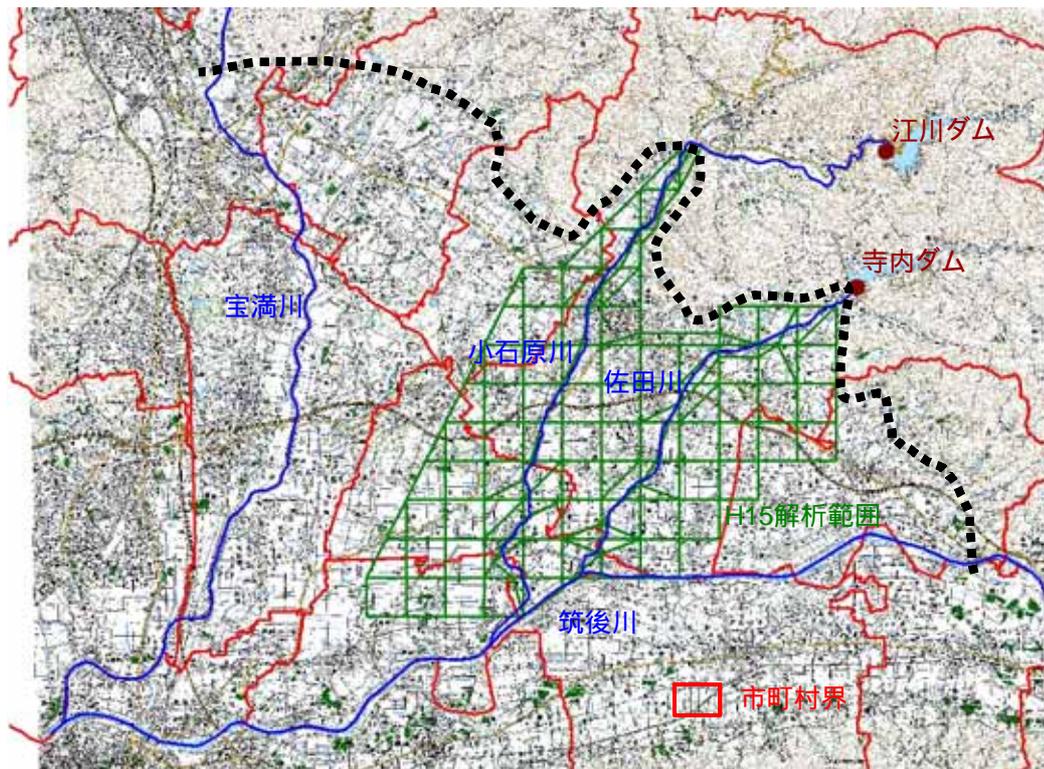


図 7-1 両筑平野の資料収集範囲

1) 収集資料概要

表 7-1 に今回収集した資料を示した。

表 7-1 既存データベース内のデータおよび収集資料

データ内容			DB 内容
ダム	雨量, 貯水位, 流入量, 放流量	江川ダム ¹ , 寺内ダム	H3~H16.11
河川流量・水位	流量	金丸橋(佐田川), 栄田橋(小石原川), 荒瀬, 江蘇ノ宿, 片ノ瀬, 瀬ノ下(筑後川)	H3~H16
	水位	端間橋(宝満川)	S53, H7~8

河川取水	都市用水	福岡市，甘木市(女男石) 福岡地区広域，福岡県南，佐賀東部(筑後大堰)	H3～H15
	灌漑用水	各頭首工(女男石，下湊，甘木橋，本郷，上屋敷，小田)，寺内(佐田川沿岸，小石原川沿岸) ²	H3～H15
	導水量	寺内導水量 ³	H3～H16.11
	水利権	上記の都市用水，灌漑用水取水堰および旧堰	
河道諸元	縦断，横断	佐田川(0.0～10.6)，小石原川(-1.0～3.6)	
	堰構造物	佐田川(固定堰 16，可動堰 2)	
地下水	揚水量	井戸揚水量	S57～H13
	地下水位	消防用井戸水位	H2～H11
	井戸諸元	上記井戸	
地質柱状図	-	-	
土地利用	-	-	S51, S62, H3, H9
圃場面積	-	-	

1 江川ダムの流入・放流量は9時のデータ，その他は0時のデータ

2 三奈木導水路のうち，寺内幹線分を佐田川沿岸，福田幹線分を小石原川沿岸とする

3 日向石取水工の注水(-取水)量と寺内ダムの小石原川注水量は1日ずれて同じ値のため，寺内ダムの小石原川注水量の値を使用

2) 河川水位・流量

両筑平野における河川水位・流量の観測地点を図7-2に示す。流量観測地点は，小石原川・佐田川に各1箇所，筑後川に4箇所存在している。また，宝満川では，水位観測地点が1箇所存在する。

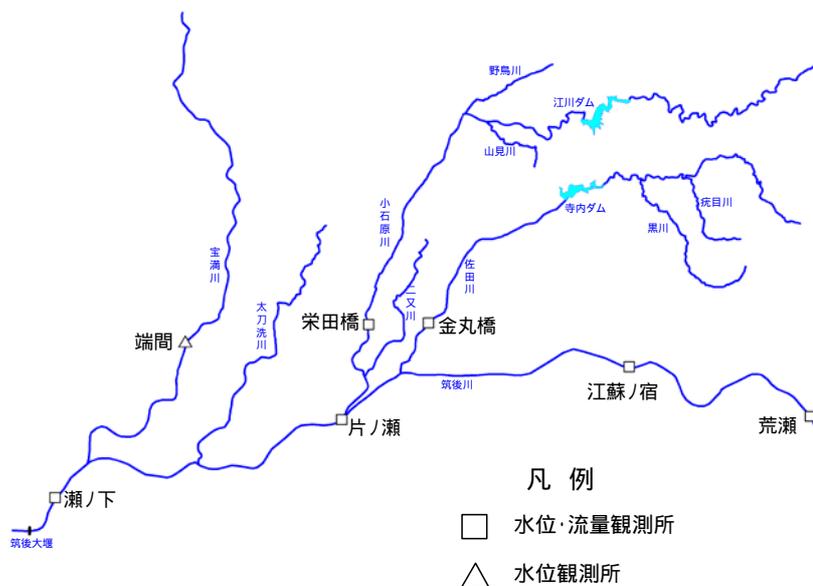


図 7-2 河川水位・流量観測地点

3) 河川取水

両筑平野における河川取水地点(頭首工位置)および幹線水路を図 7-3 に示す。

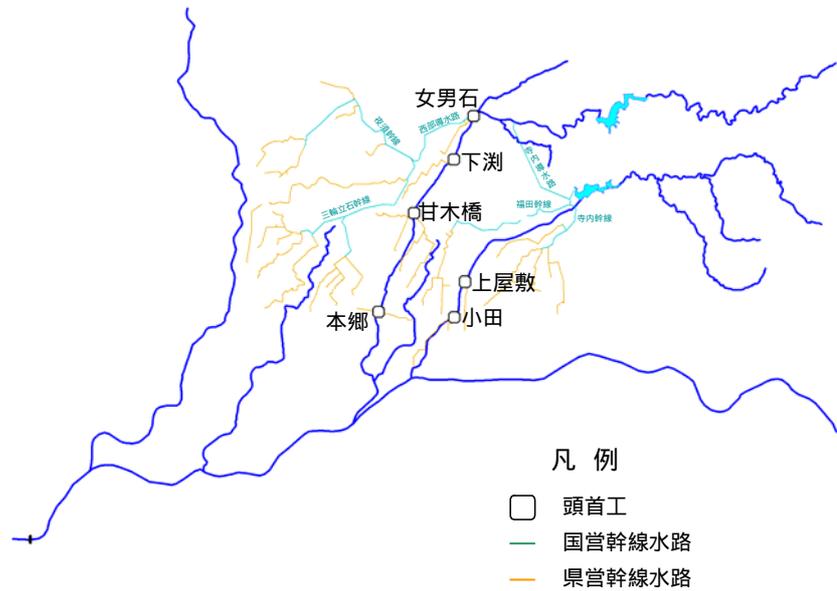


図 7-3 頭首工および幹線水路

4) 河川断面・堰

河川断面データの存在区間および堰位置を図 7-4 に示す。

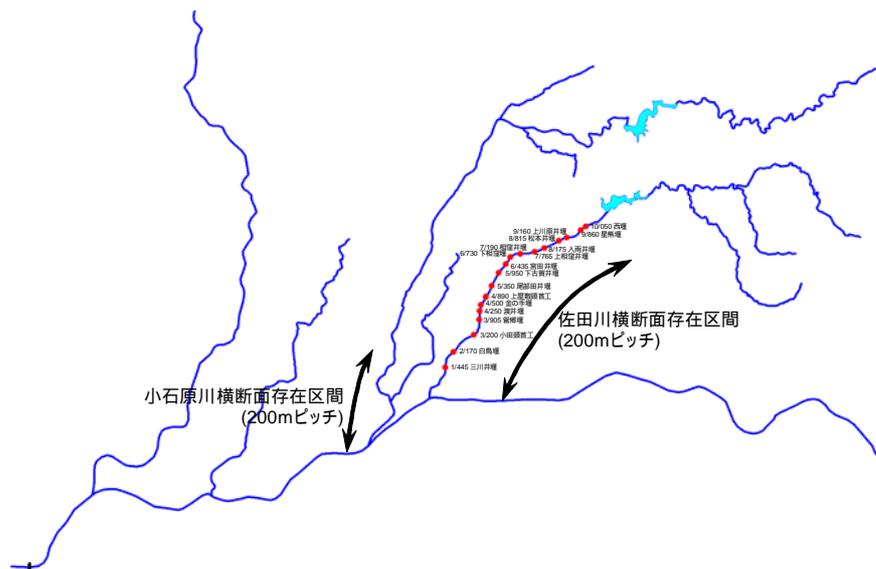


図 7-4 河川断面データの存在区間と堰位置

7.2. 定性的把握

1) 地形・地質

両筑平野は筑後川中流の右岸側に展開する洪積段丘と、これを刻んだ沖積地からなっている。低位段丘面は、標高 20~50m にわたって広く分布し、ほとんどの陸田がこの面上に位置する。この段丘面は筑後川の支川である佐田川、小石原川、草場川および宝満川の浸食によって分断されている。また、段丘面の南縁は旧筑後川の乱流によって浸食されている。これら河川の沖積面との比高は 4~5m 程度である。段丘堆積物は砂礫層からなるが、阿蘇 4 火砕流堆積物に対比される軽石火山灰層を挟んでおり、表層は火山灰で覆われている。さらに、草場川や曾根田川に沿って部分的に日佐面といわれる地形面が見られる。

各河川沿いには、扇状地性の砂礫層からなる沖積層が分布している。小石原川の上流部にある女男石から馬田にかけては、これらの沖積層が中位段丘低位面を覆っており、段丘地形は判然としない。

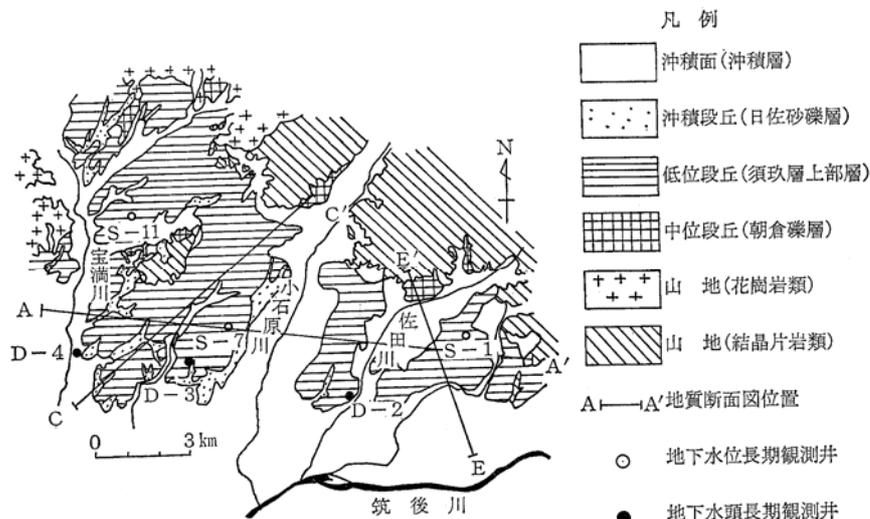


図 7-5 両筑平野地形・地質区分図 (出典：日本の地下水)

2) 地下水

低位段丘の堆積物は層厚 5~10m で、比抵抗値 200~700 Ω m 程度を示す砂礫層からなる(第 1 層)。浅井戸は口径 1~3m 程度のもので、その大半は本層内から取水している。水理定数は比湧出量 1,000~3,000 m³/d/m、透水量係数 1,000~3,000 m²/d、貯留係数 $n \times 10^{-1}$ のものが約半数を占め良好な帯水層であることを示している。段丘堆積物の下位にはあまり連続性の良くない粘土層を挟む砂礫層がある。層厚はほぼ 150m 程度であるが、筑後川沿いでは 300m 程度となっている。この堆積物は比抵抗値 100~400 Ω m を示す第 2 層と、70~120 Ω m を示す第 3 層に区分できる。第 2 層と第 3 層の地下水は被圧地下水であるが、湧出能力は第 1 層の不圧地下水に比してかなり劣っている。

不圧地下水位の季節変化の例を図 7-6 に示す。降水量の多い 6~7 月にかけて地下水位が高く、降水量の少ない 11~12 月にかけて低くなるといった普通のパターンを示す。また、小石原川は上流部において河床堆積物が洪積段丘面を覆っていて、そこを通して洪積段丘の地下水を涵養している。その他の河川はすべて排水河川となっている。

不圧地下水勾配は、上流側から下流側にかけて 1/300~1/350 と緩くなるが、段丘末端部で再び急勾配となり、数 m³/s に及ぶ湧水群が見られるところがある。

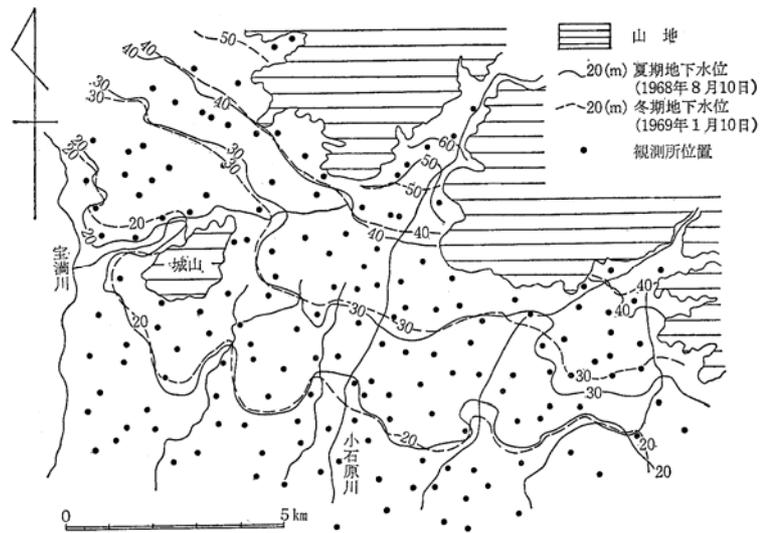


図 7-6 地下水面図 (出典：日本の地下水)

7.3. モデル作成

1) 解析メッシュ

山地部は、評価地点(ダム地点、取水地点)ごとに流域を分割した。また、平地部については、地下水コンター図を参考に、地下水流動の主要な方向が有限要素法メッシュの境界線と直交するように、また、河川と周辺地下水との局所的な関係が再現されるように配慮して設定することとした。その結果、南西方向に拡散する放射状の形状を基本構造とし、主要河道周辺では河川に向かったあるいは河川から拡散する形の地下水位差が再現できるように比較的詳細なメッシュが必要なこととなった。



図 7-7 両筑平野の解析メッシュ

2) 時系列データ

a. 雨量

流域内の雨量データとしては、江川ダムおよび寺内ダムの日流量がある。しかしながら、今回のモデルは、全体としては日単位の計算を行っているが、表層土壌部分のみ時間単位で計算を行っているため、時間単位の雨量データが必要となる。そこで、アメダス甘木の時間雨量データを用いた。



表 7-2 年間降水量の比較

	江川ダム	寺内ダム	アメダス甘木
H3	2344	2165	2087
H4	1788	1591	1531
H5	2753	2572	2491
H6	966	875	981
H7	1917	1979	2040
H8	1645	1472	1650
H9	2756	2359	2323
H10	1989	1903	1973
H11	2151	2047	1991
H12	1801	1855	1693
H13	1964	1954	1867
H14	1736	1637	1660
H15	2042	2193	1984
H16	2102	1959	2007

図 7-8 雨量観測所位置

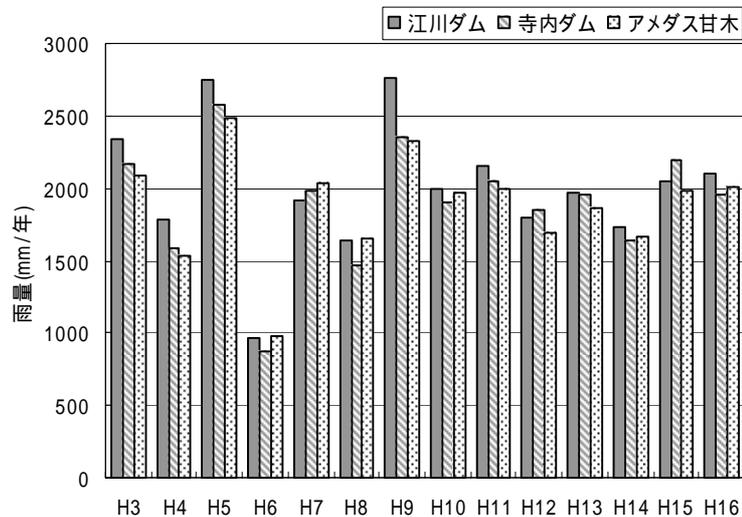


図 7-9 年間降水量の比較

b. 蒸発散

蒸発散の計算に必要となる可能蒸発散量については、アメダス甘木の日気温データからハーモン式を用いて算定した。

$$\text{ハーモン式} : E_p = 0.14D_0^2 P_t$$

ここに、 E_p : 日平均蒸発散能[mm/日]

D_0 : 日照時間[12hr/日]

P_t : 日平均気温に対する飽和絶対湿度[gm/m³]

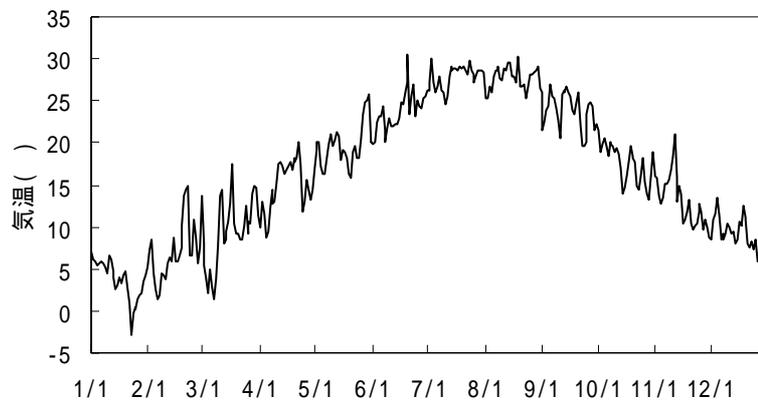


図 7-10 日気温(平成 16 年)

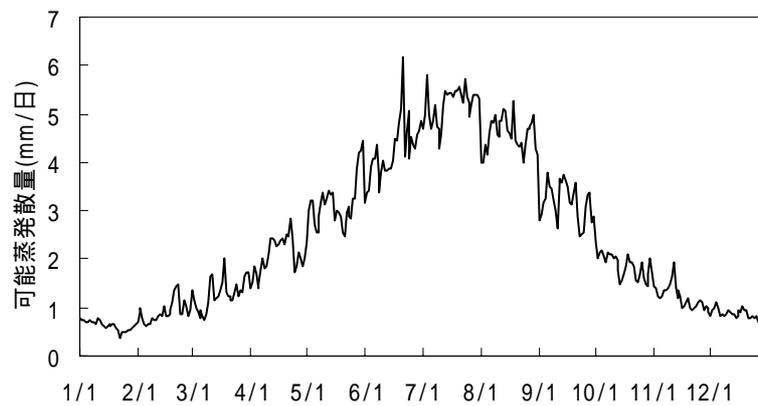


図 7-11 可能蒸発散量(平成 16 年)

c. 農業用水量

農業用水量は、河川取水量および井戸揚水量を各圃場に分配し、圃場内では均一に与えることとした。圃場については、水収支データベースの区域を参考に、河川、幹線水路などから、**図 7-12** のように設定した。河川取水量の分配については、頭首工と圃場の関係を**表 7-3**のように設定し、1つの頭首工が複数の圃場に対応する場合は、取水量を圃場の面積で案分することとした。なお、井堰については、計画合口をもとに各頭首工での合計の水利権量を取水量とみなし、同様に圃場に分配した。井戸揚水量については、地点データのない -122, -137, -9を除く井戸について、圃場ごとに年間の総揚水量を集計した。**表 7-5**には、こうして作成した圃場ごとの取水および揚水量の年間値を示した。この値を各圃場内の水田面積で除した値が、水田ごとに与える農業用水量であるが、昨年度の水収支計算においては、次のように還元率を45%に設定し還元水量を算出し、**表 7-6**に示したマトリクスの比率で各河川に放流されているとしている。

(還元率の考え方)

- ・ 農業用水として取水された水量のうち、稲の生育に必要な純水量は取水量の50%で残りの50%は水路維持用水である

- ・ 水路維持用水の10%は水路における損失水量となる

そこで、この考え方にならい、還元率を45%に設定し、残りの55%分が常に水田上にある農業用水量とする。ただし、井戸揚水分については還元先を設定していないため、すべて農業用水分とする。まとめると、農業用水量は次のようになる。

$$\text{農業用水量} = (\text{日ごとの頭首工取水量} + \text{井堰取水量}) \times 0.55 + \text{井戸揚水量}$$

こうして求めた各圃場ごとの農業用水量について、面積で除し、高にした値(減水深に相当)を**表 7-7**および**図 7-13**に示した。ここで、灌漑期間は5/16~9/28の136日間とした。



図 7-12 圃場の設定

表 7-3 圃場と頭首工の関係

No.	圃場名	面積(ha)	頭首工
1	寺内	465	寺内1
2	寺内南	232	寺内1
3	福田	211	寺内2
4	上屋敷	222	上屋敷
5	小田	222	小田
6	女男石	197	女男石
7	下淵	186	下淵
8	甘木(左岸)	244	甘木
9	甘木(右岸)	352	甘木
10	本郷	285	本郷
11	夜須(三輪)	237	女男石
12	夜須(夜須)	715	女男石
13	三輪	220	女男石
14	草葉川	344	女男石
15	立石(3号)	169	女男石
16	立石(1号)	216	女男石
17	立石(6号)	127	女男石
18	乙隅	150	乙隅

表 7-4 井堰の水利権量

河川	計画合口	井堰名	水利権 m ³ /s	計 m ³ /s	
小石原川	女男石	-	-	-	
		下淵	香田	0.013	0.033
			新	0	
			白鬚	0.001	
			石井	0.003	
			上大神田	0.007	
			大神田	0.009	
	甘木	花園	0.027	0.459	
		車	0.026		
		向川原	0.003		
		中川原	0.019		
		下川原	0.009		
		千反川原	0.056		
		松ノ木	0.015		
		東田第一	0.022		
落合		0.022			
東田第三		0.007			
上々浦		0.066			
中川原	0.067				
本郷	八ツ江	0.055	0.118		
	下り松	0.033			
	高良	0.021			
佐田川	寺内	東鍛田	0.011	0.505	
		寺内	0.505		
	上屋敷	大坪	0.06	0.305	
		草場	0.058		
		西	0.021		
		星熊	0		
		上川原	0.116		
		松本	0		
		入雨	0.004		
		相窪	0.091		
		下古賀	0.039		
		宮田	0		
	小田	尾辺田	0.013	0.147	
		金の手	0.021		
		白鳥	0.071		
		三川	0.076		

表 7-5 圃場ごとの取水および揚水量(その1)

No.	圃場名	面積 (ha)	面積 (ha)	井堰 (千m ³ /年)	H6		H7		H8		H9		H10	
					取水	揚水	取水	揚水	取水	揚水	取水	揚水	取水	揚水
1	寺内	465	487	1747.9	7286.6	2020.4	10287.4	559.7	11112.0	396.5	12338.8	1302.4	12168.7	1532.9
2	寺内南	232	238	872.1	3635.4	700.5	5132.6	267.8	5544.0	17.5	6156.2	215.1	6071.3	337.5
3	福田	211	129	3314.0	2610.0	76.3	3795.0	4.2	673.0	10.0	1129.0	26.1	2216.0	128.6
4	上屋敷	222	332	3583.9	1404.8	869.8	2818.8	212.6	3355.7	66.2	2819.9	229.9	3294.6	208.3
5	小田	222	161	1727.3	1772.2	1620.6	2844.1	1422.7	3117.2	26.6	2977.9	20.6	2392.0	0.0
6	女男石	197	161	0.0	1455.0	0.0	1840.8	0.0	2105.4	0.0	2402.9	0.0	2105.4	0.0
7	下淵	186	105	387.8	2376.9	6.7	2015.2	0.5	1616.6	0.5	2898.2	31.7	3265.7	40.2
8	甘木(左岸)	244	406	2208.0	974.9	709.7	1446.5	611.7	2009.3	364.0	2267.2	741.1	1681.0	553.4
9	甘木(右岸)	352	415	3185.4	1406.4	1048.1	2086.7	590.1	2898.6	213.5	3270.8	865.9	2425.1	963.8
10	本郷	285	486	1386.5	0.0	425.6	0.0	51.4	3237.4	25.8	3101.7	82.1	1866.6	94.8
11	夜須(三輪)	237	310	0.0	1750.4	0.0	2214.5	0.0	2532.9	0.0	2890.8	0.0	2532.8	0.0
12	夜須(夜須)	715	875	0.0	5280.7	854.8	6680.9	559.6	7641.5	638.2	8721.0	300.8	7641.3	235.8
13	三輪	220	252	0.0	1624.8	95.1	2055.7	121.2	2351.2	123.9	2683.4	160.8	2351.2	235.5
14	草葉川	344	325	0.0	2540.7	72.7	3214.3	60.8	3676.5	62.8	4195.9	47.3	3676.4	84.2
15	立石(3号)	169	149	0.0	1248.2	271.2	1579.1	207.3	1806.2	131.5	2061.3	274.9	1806.1	79.0
16	立石(1号)	216	341	0.0	1595.3	353.7	2018.3	312.8	2308.5	269.3	2634.6	296.4	2308.4	175.9
17	立石(6号)	127	135	0.0	938.0	1093.5	1186.7	58.2	1357.3	43.7	1549.1	138.8	1357.3	177.2
18	乙隅	150	174	0.0	0.0	52.4	0.0	12.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表 7-5 圃場ごとの取水および揚水量(その2)

No.	圃場名	面積 (ha)	面積 (ha)	井堰 (千m ³ /年)	H11		H12		H13		H14		H15	
					取水	揚水	取水	揚水	取水	揚水	取水	揚水	取水	揚水
1	寺内	465	487	1747.9	11358.8	917.0	11394.8	563.0	4193.6	396.4	3332.4	396.4	4357.7	396.363
2	寺内南	232	238	872.1	5667.2	416.3	5685.2	119.3	2092.3	174.7	1662.6	174.7	2174.2	174.661
3	福田	211	129	3314.0	3695.0	40.1	3794.0	40.3	2610.5	0.0	2220.5	0.0	2817.7	0
4	上屋敷	222	332	3583.9	2999.4	159.4	2689.0	0.0	3023.6	0.0	2469.5	0.0	2079.8	0
5	小田	222	161	1727.3	2834.0	0.0	2958.1	1.6	2829.0	4.0	2485.0	4.0	1788.3	3.974
6	女男石	197	161	0.0	1872.9	0.0	1899.9	0.0	1880.2	0.0	1721.2	0.0	2146.5	0
7	下淵	186	105	387.8	1647.7	21.5	1782.9	0.0	3684.3	0.0	3341.3	0.0	2367.7	0
8	甘木(左岸)	244	406	2208.0	1492.1	432.9	1816.0	0.0	1938.4	0.0	1772.7	0.0	1622.0	0
9	甘木(右岸)	352	415	3185.4	2152.5	879.9	2619.8	406.2	2796.4	405.8	2557.3	405.8	2340.0	405.794
10	本郷	285	486	1386.5	3075.5	135.1	2873.9	722.3	2441.8	130.8	2484.4	130.8	2117.4	130.773
11	夜須(三輪)	237	310	0.0	2253.1	0.0	2285.6	0.0	2261.9	0.0	2070.6	0.0	2582.4	0
12	夜須(夜須)	715	875	0.0	6797.4	110.9	6895.5	43.9	6823.9	121.0	6246.9	121.0	7790.7	120.999
13	三輪	220	252	0.0	2091.5	149.3	2121.7	125.4	2099.7	85.7	1922.1	85.7	2397.1	85.65
14	草葉川	344	325	0.0	3270.4	69.6	3317.5	91.8	3283.1	73.5	3005.5	73.5	3748.2	73.527
15	立石(3号)	169	149	0.0	1606.7	91.3	1629.8	151.1	1612.9	44.2	1476.5	44.2	1841.4	44.204
16	立石(1号)	216	341	0.0	2053.5	228.7	2083.1	186.3	2061.5	87.1	1887.2	87.1	2353.5	87.087
17	立石(6号)	127	135	0.0	1207.4	86.3	1224.8	33.1	1212.1	60.6	1109.6	60.6	1383.8	60.6
18	乙隅	150	174	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0

表 7-6 農業用水還元先マトリクス

水収支上の下流側河道名	灌漑水路1 小石原川4	灌漑水路2 小石原川3	灌漑水路3 小石原川2	灌漑水路4 小石原川1	灌漑水路5 佐田川1	灌漑水路6 本川4	灌漑水路7 二又川2	灌漑水路8 本川5	灌漑水路9 本川2
女男石									1
下淵		0.7	0.2				0.1		
甘木			0.8	0.1			0.1		
本郷				0.9				0.1	
寺内1(佐田川沿岸)					0.2	0.3	0.5		
寺内2(小石川沿岸)							1		
上屋敷						0.5	0.2	0.3	
小田						0.5	0.3	0.2	
井堰1(女男石)	0.7	0.3							
井堰2(下淵)		0.7	0.3						
井堰3(甘木)			0.7	0.3					
井堰4(本郷)				0.7			0.3		
井堰5(寺内)					0.7	0.3			
井堰6(上屋敷)						0.7	0.3		
井堰7(小田)							0.7	0.3	

表 7-7 圃場ごとの農業用水量の平均値(mm/日)

No.	圃場名	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15
1	寺内	10.5	10.8	11.3	13.7	13.9	12.3	11.8	5.5	4.8	5.7
2	寺内南	9.8	11.0	11.0	12.6	12.8	12.4	11.5	5.6	4.8	5.7
3	福田	19.0	22.3	12.6	14.1	18.1	22.2	22.5	18.6	17.4	19.2
4	上屋敷	8.0	8.3	8.6	8.3	8.8	8.4	7.6	8.1	7.4	6.9
5	小田	16.2	18.0	12.3	11.9	10.3	11.4	11.8	11.4	10.6	8.8
6	女男石	3.7	4.6	5.3	6.1	5.3	4.7	4.8	4.7	4.3	5.4
7	下漕	10.7	9.3	7.7	12.9	14.4	8.0	8.4	15.7	14.4	10.6
8	甘木(左岸)	4.5	4.7	4.9	5.8	4.9	4.5	4.0	4.1	4.0	3.8
9	甘木(右岸)	6.3	6.2	6.3	7.8	7.2	6.8	6.4	6.5	6.3	6.1
10	本郷	1.8	1.2	3.9	3.9	2.9	3.9	4.6	3.4	3.4	3.1
11	夜須(三輪)	2.3	2.9	3.3	3.8	3.3	2.9	3.0	3.0	2.7	3.4
12	夜須(夜須)	3.2	3.6	4.1	4.3	3.7	3.2	3.2	3.3	3.0	3.7
13	三輪	2.9	3.6	4.1	4.8	4.5	3.8	3.8	3.6	3.3	4.1
14	草葉川	3.3	4.1	4.7	5.3	4.8	4.2	4.3	4.3	3.9	4.8
15	立石(3号)	4.7	5.3	5.5	6.9	5.3	4.8	5.2	4.6	4.2	5.2
16	立石(1号)	2.7	3.1	3.3	3.8	3.1	2.9	2.9	2.6	2.4	3.0
17	立石(6号)	8.7	3.9	4.3	5.4	5.0	4.1	3.8	4.0	3.6	4.5
18	乙隅	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

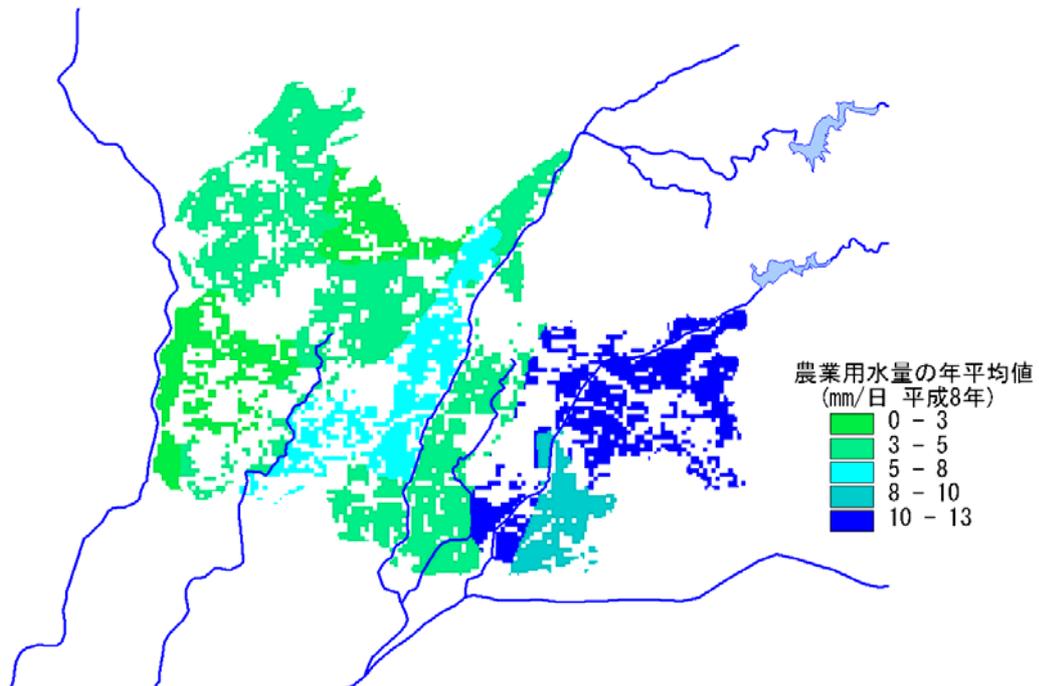


図 7-13 農業用水量(平成8年)

3) 流域情報の整理

収集した流域情報をもとに流域モデルを作成した。解析に必要となるデータは、GIS 上でモデル要素毎に集計した。図 7-14～図 7-18 には、GIS で整理した流域情報を示した。

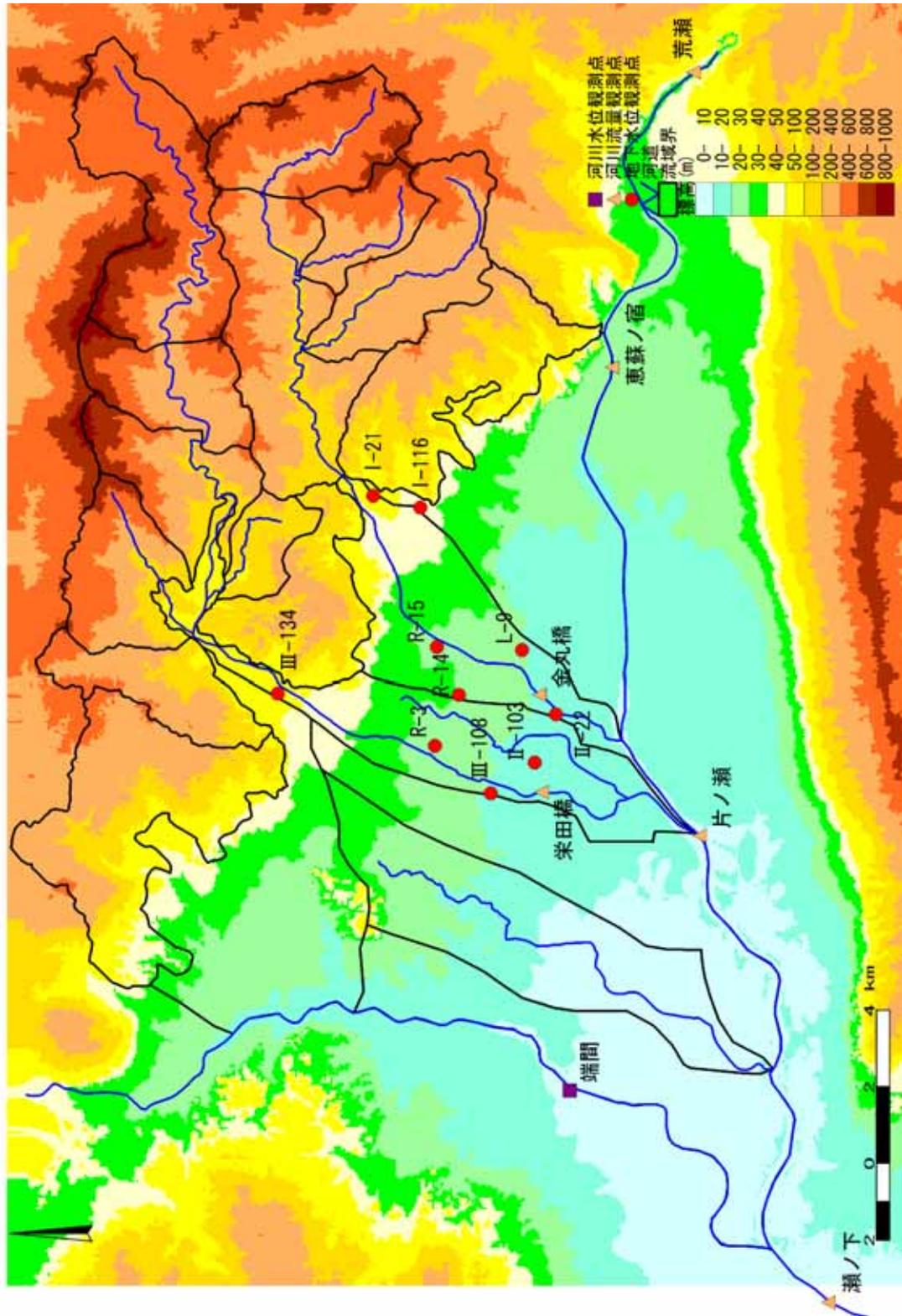


図 7-14 両筑平野 標高

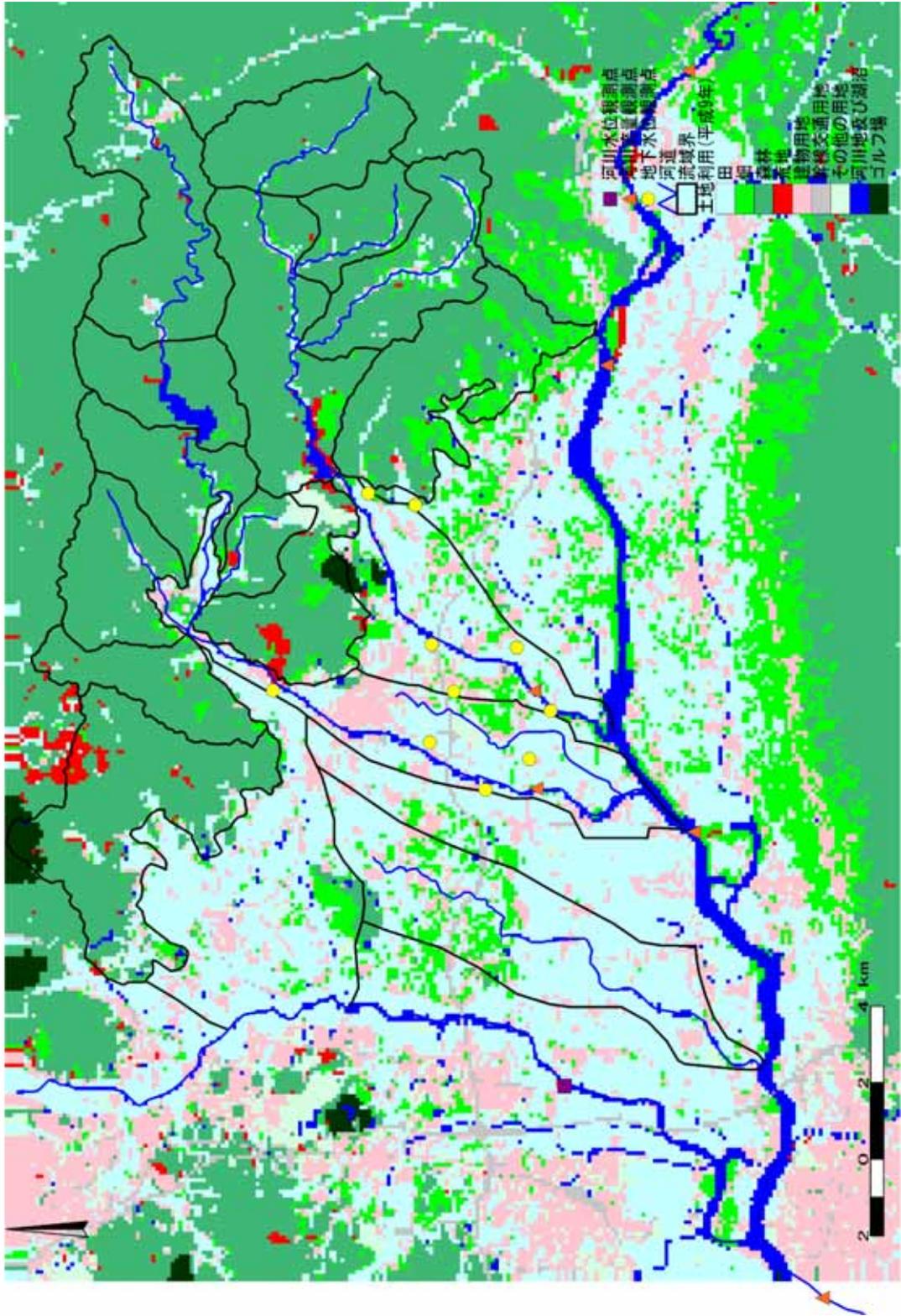


图 7-15 両筑平野 土地利用

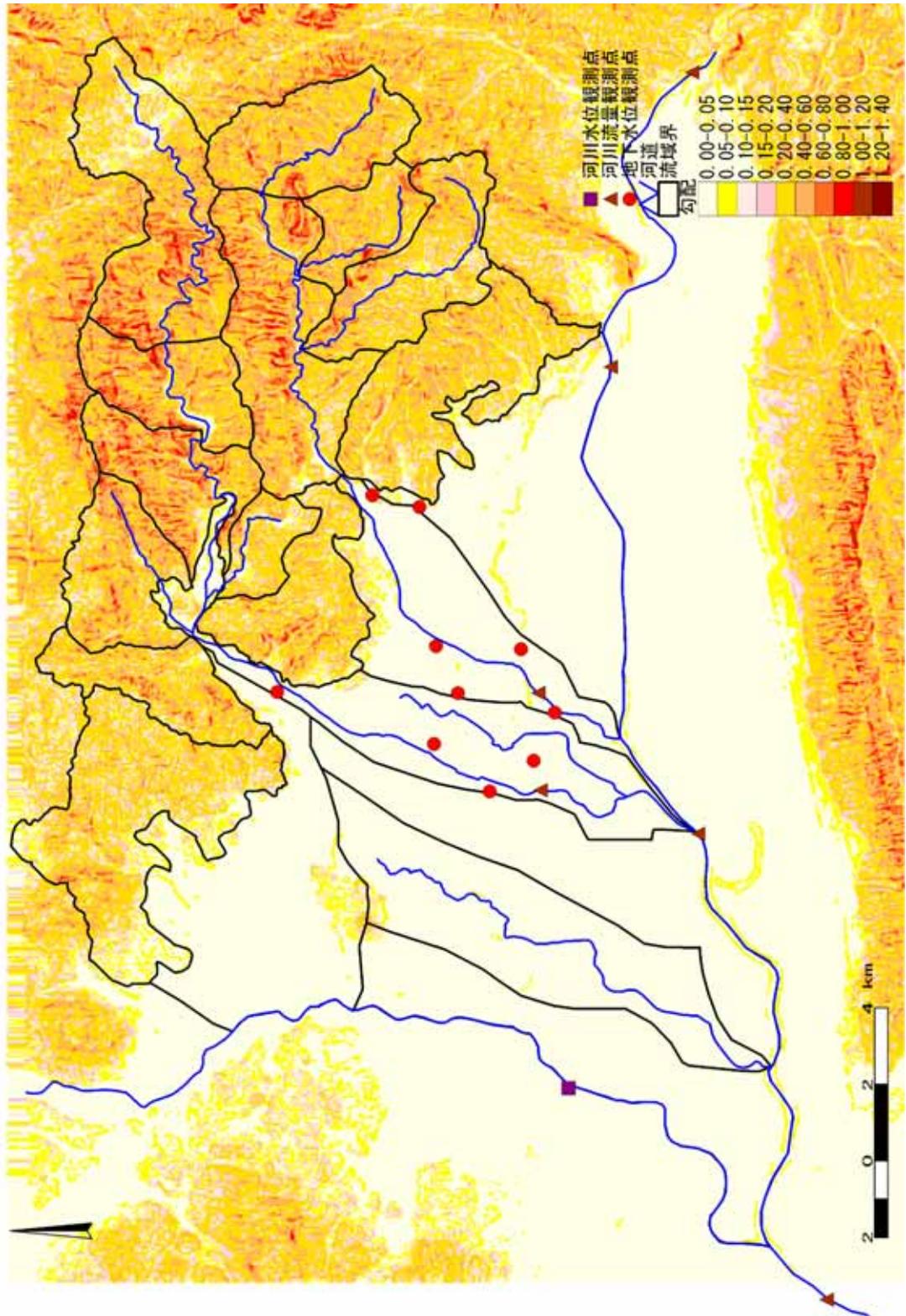


图 7-16 两筑平野 勾配

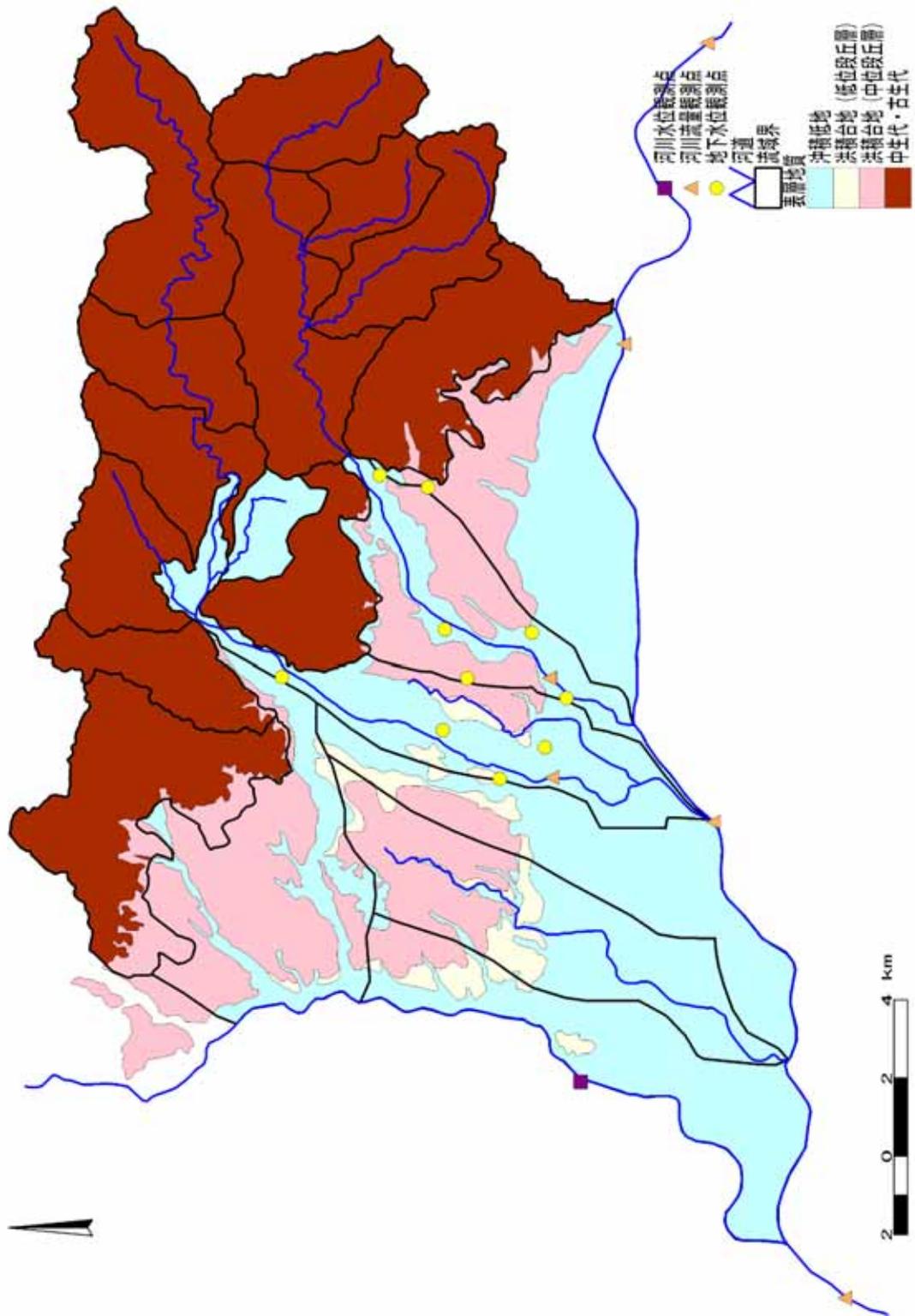


图 7-17 两筑平野 表层地质

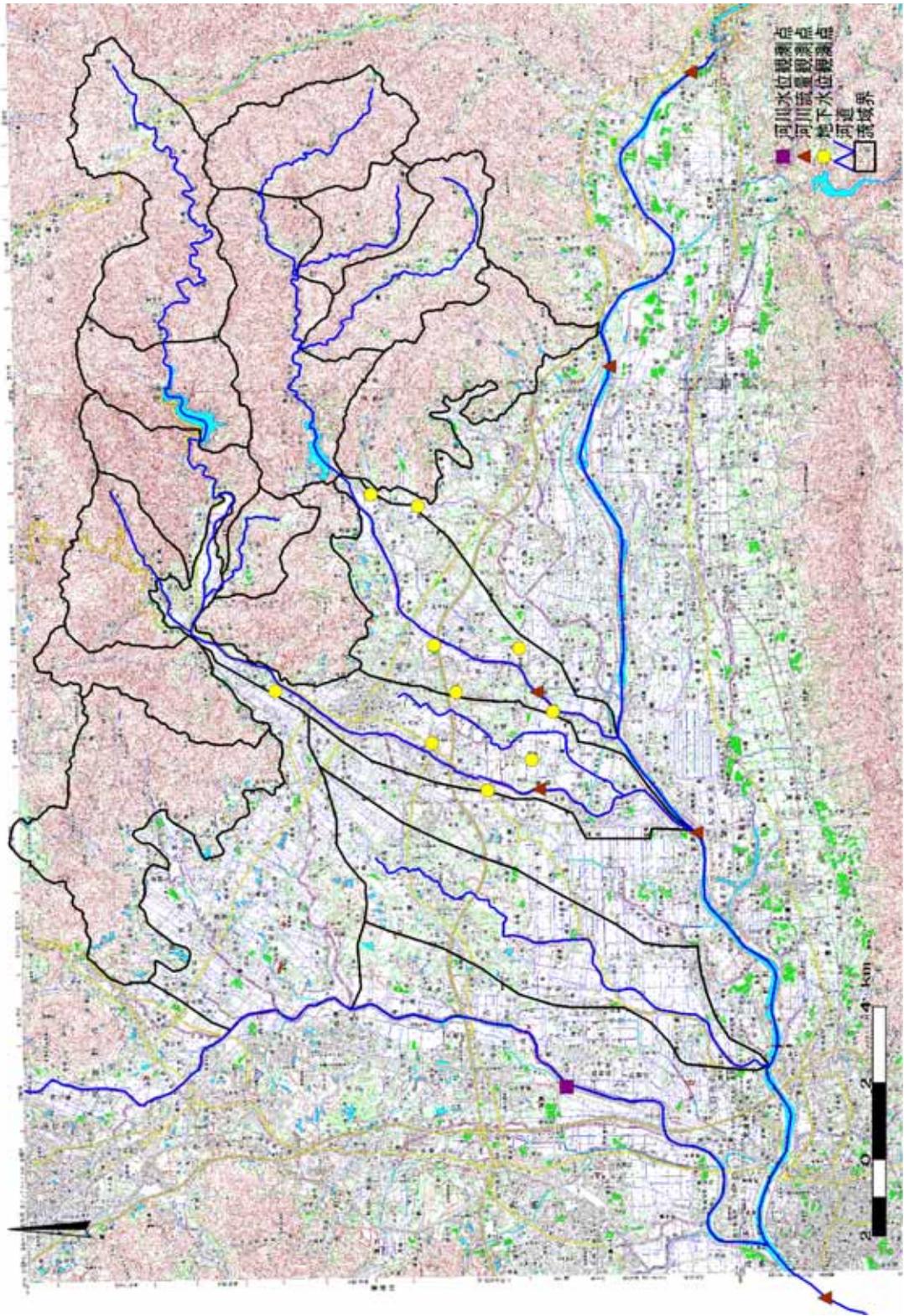


图 7-18 两筑平野 地图画像

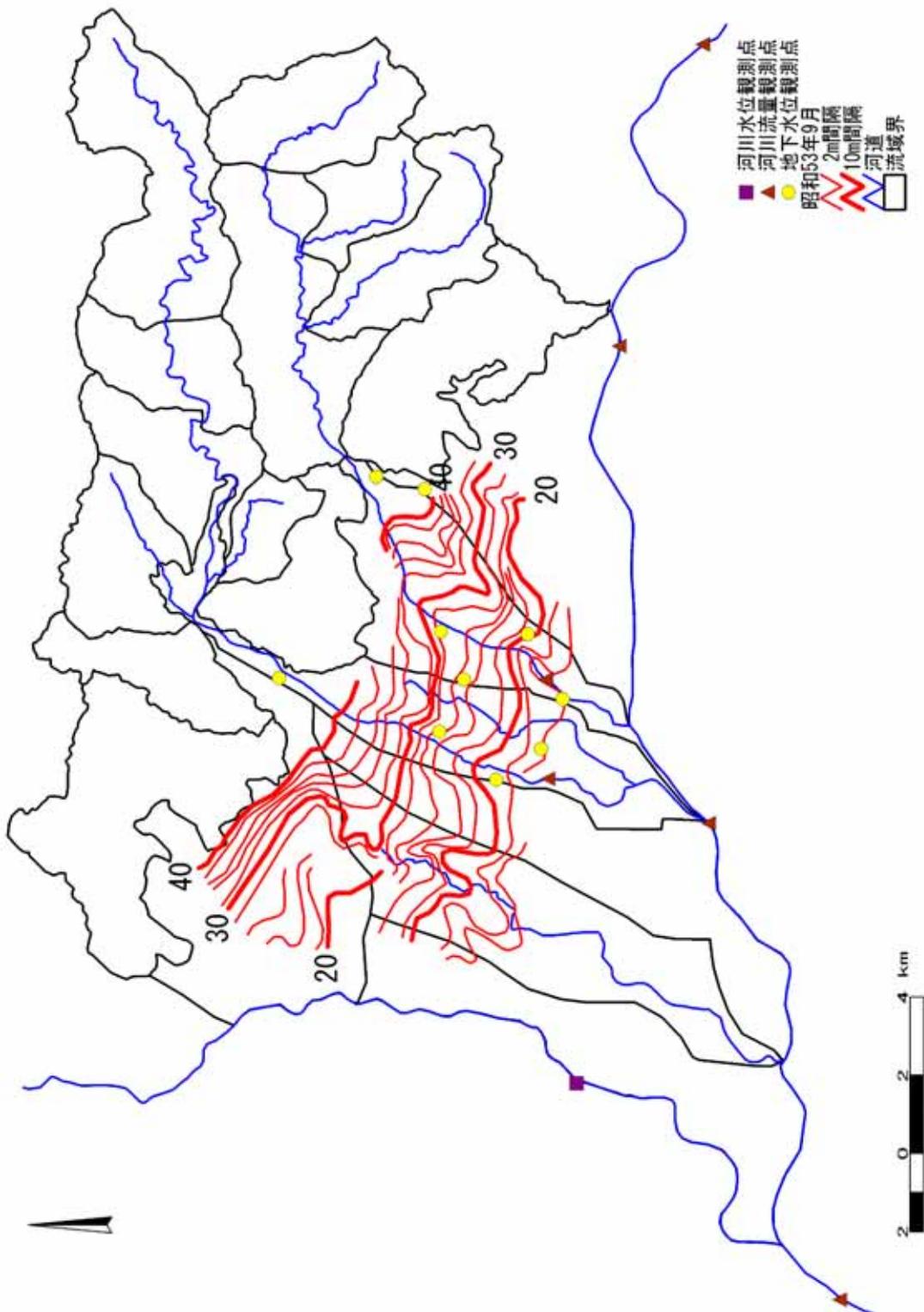


図 7-19 両筑平野 地下水位コンター

7.4. モデル精度検証

両筑平野を対象とした検証計算では下記のような結果となった。

- 河川流量と地下水位の再現計算のグラフをみると、豊水期と渇水期の間の比較的長期の地下水位変動は良好に再現できており、当該流域の長期的な水循環変動機構はこのモデルで再現できている。

- 一方、大きな降雨イベントに対する再現性の点では、地下水位の変動幅が十分に再現されない傾向にあり、帯水層の貯留係数に関する調整が必要である。

- 灌漑期間中の地下水位変動については、明らかに揚水ポンプの稼働タイミングに左右されている部分があり、これらについてはモデル内で同様な揚水パターンを設定しない限り再現は困難であるが、日々の揚水量データが得られないので、課題として残る。

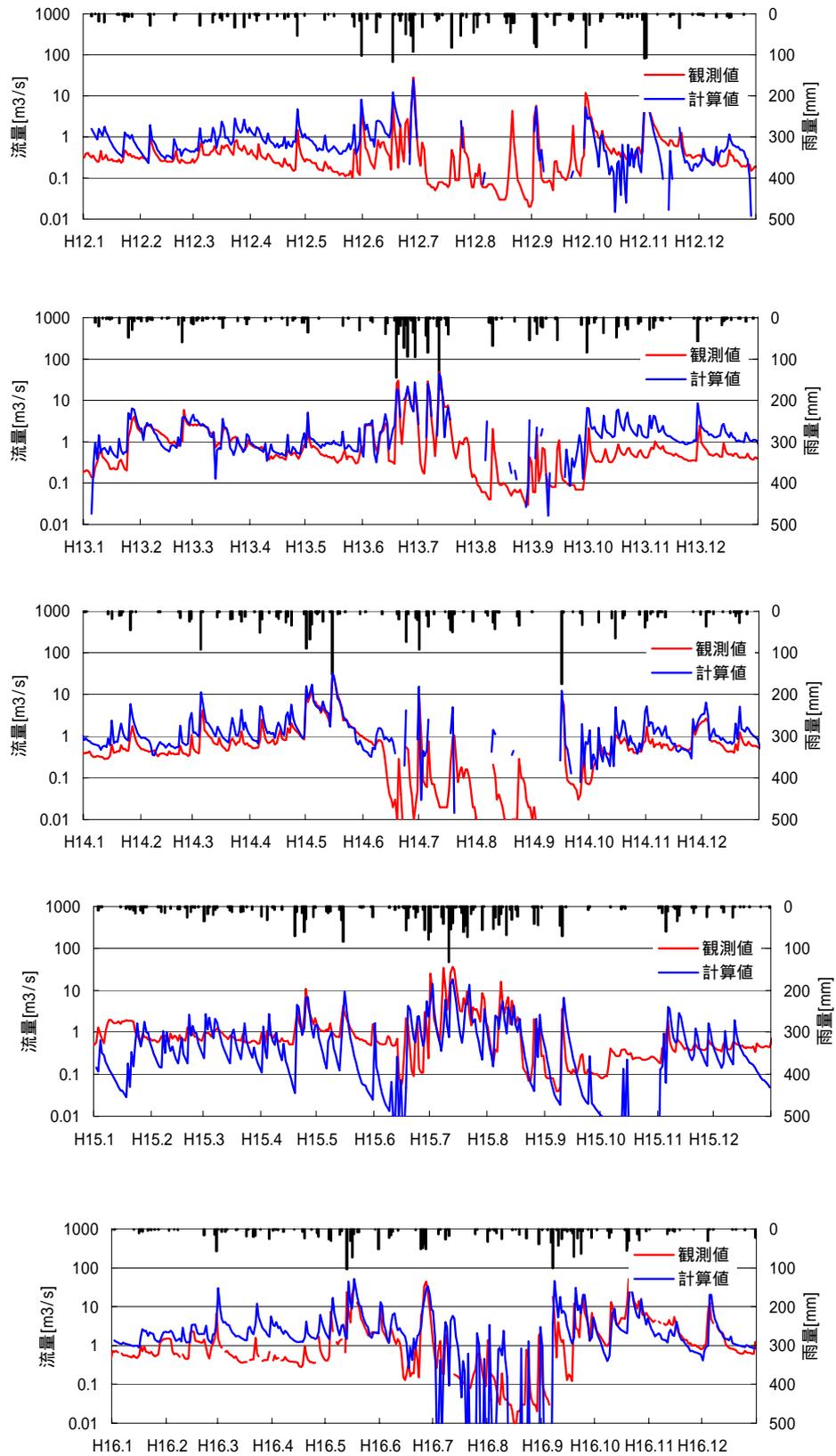


図 7-20 ハイドロ比較(栄田橋, 小石原川)

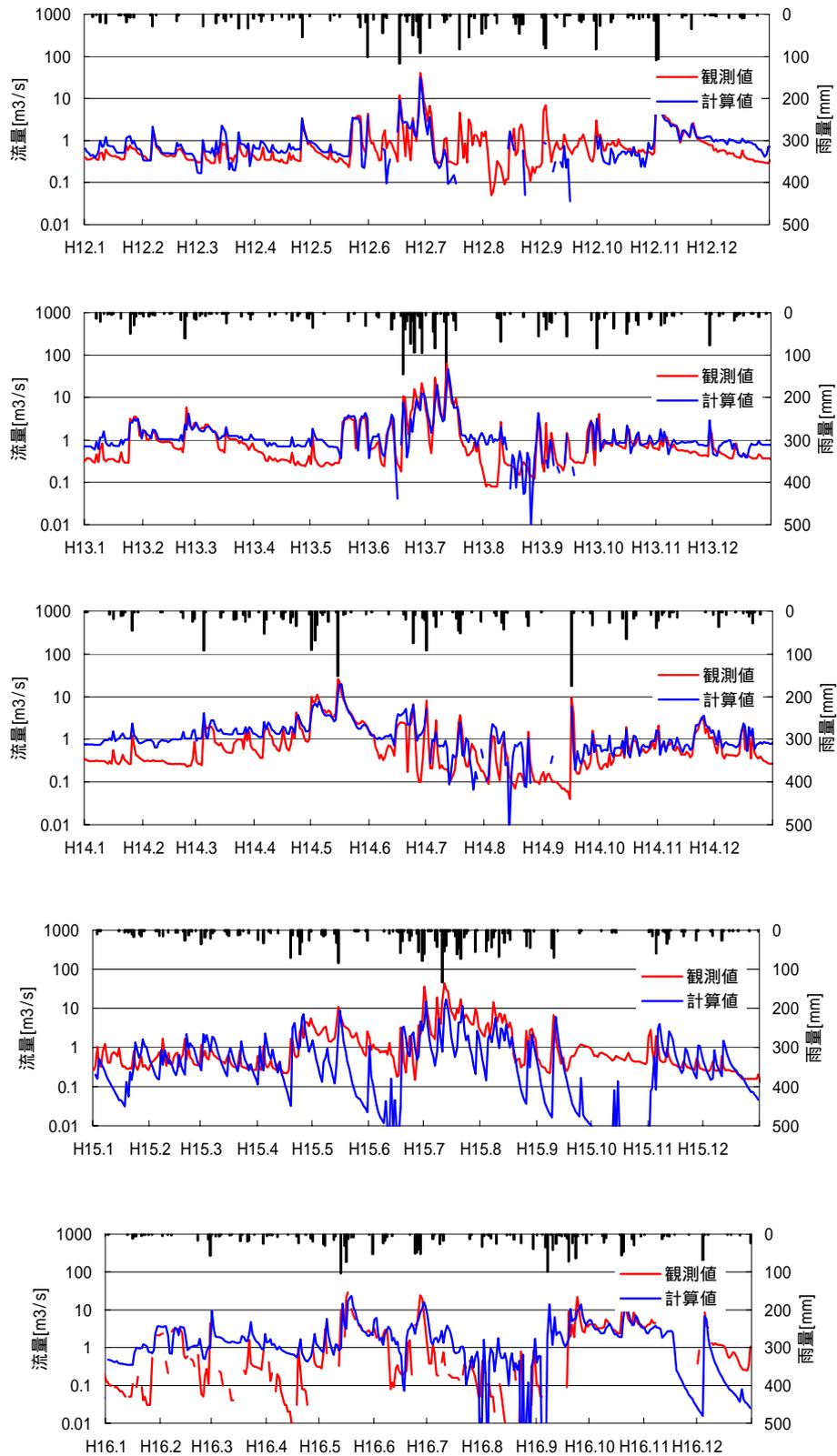
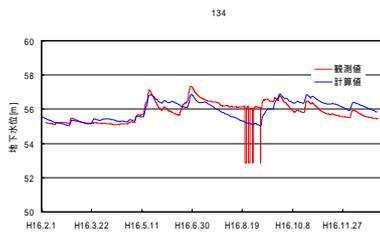
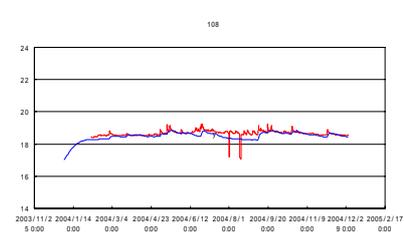
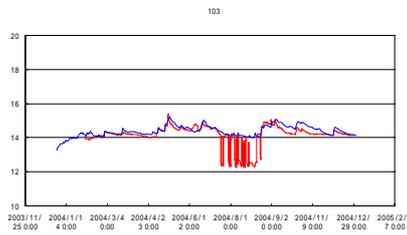
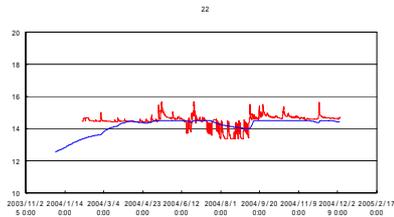
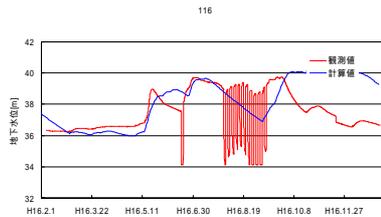
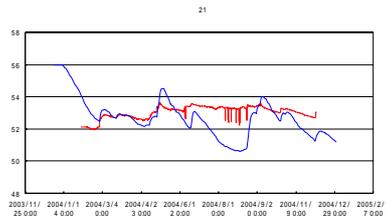
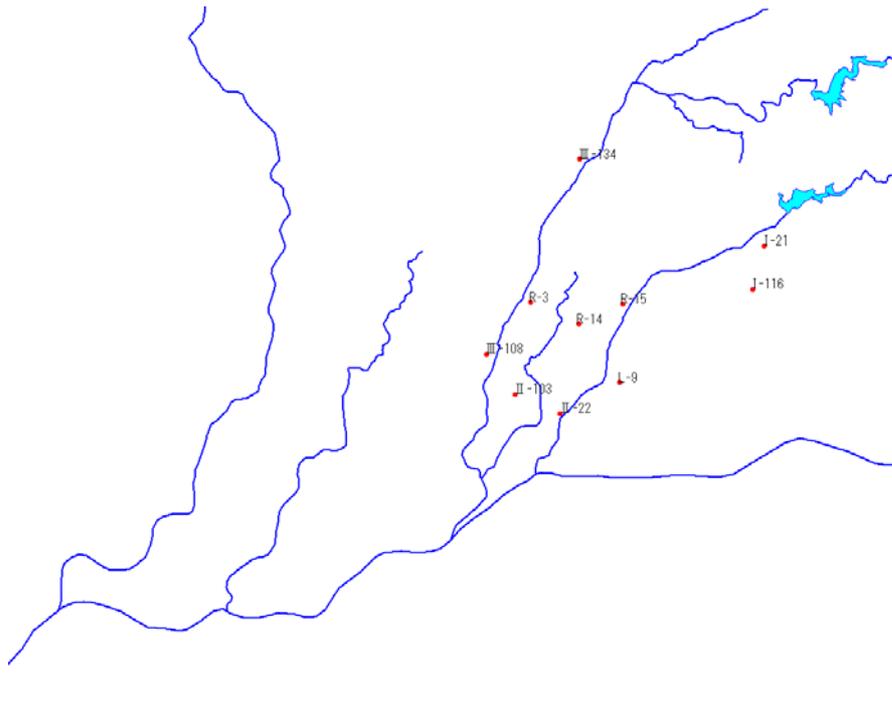


図 7-21 ハイドロ比較(金丸橋, 佐田川)



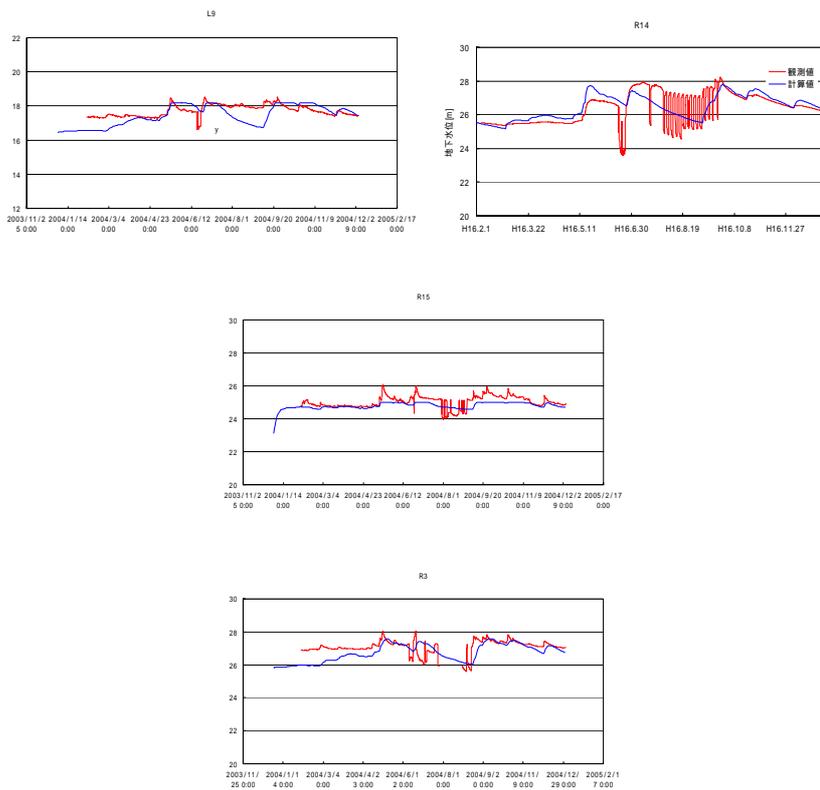


図 7-22 地下水位の比較

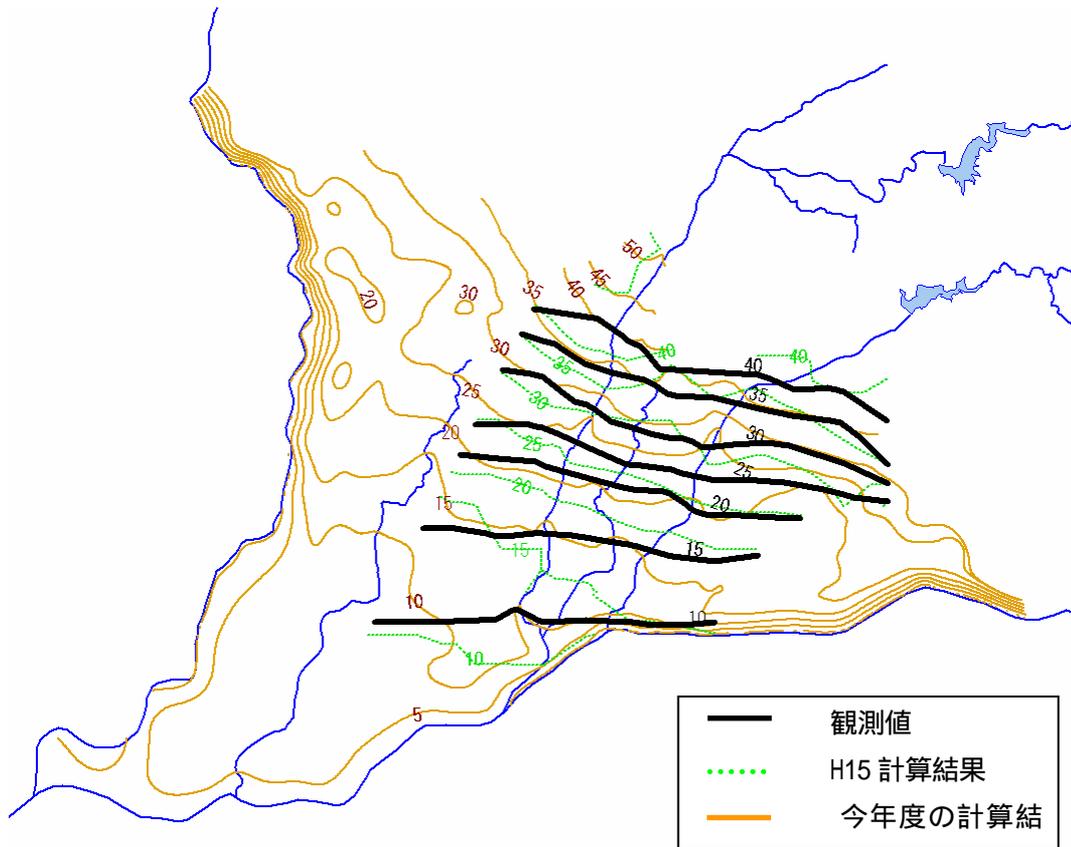


図 7-23 地下水コンター比較(平成 8 年)

河川堰および灌漑用水が地下水に与える影響

両筑平野の地下水位観測結果を見ると、河川近くの井戸と河川と離れている井戸では反応が違い、河川近くでは、大きな降雨後、河川への流出により速やかに元の水位に戻っているのに対し、河川と離れている井戸は、大きな降雨後も戻り方が遅く、灌漑期は地下水位が高くなっている(図 7-24 図 7-25)。この灌漑期における地下水位上昇が、堰使用による河川水位の上昇によるものか、灌漑用水によるものかについて検証するため、次の 2 ケースの計算を行った。

(ケース 1) 灌漑用水を 0 とする

(ケース 2) 堰の使用により、灌漑期の河川水深を最低 1m とする

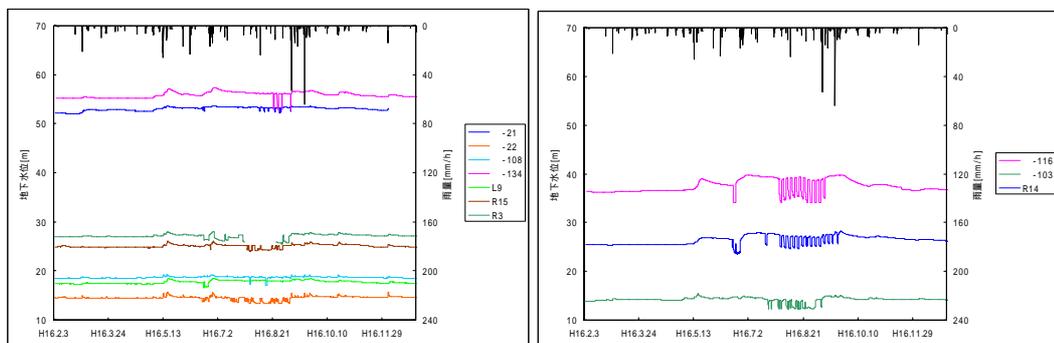


図 7-24 地下水位観測結果(国土交通省, 左: 河川に近い, 右: 河川から離れている)

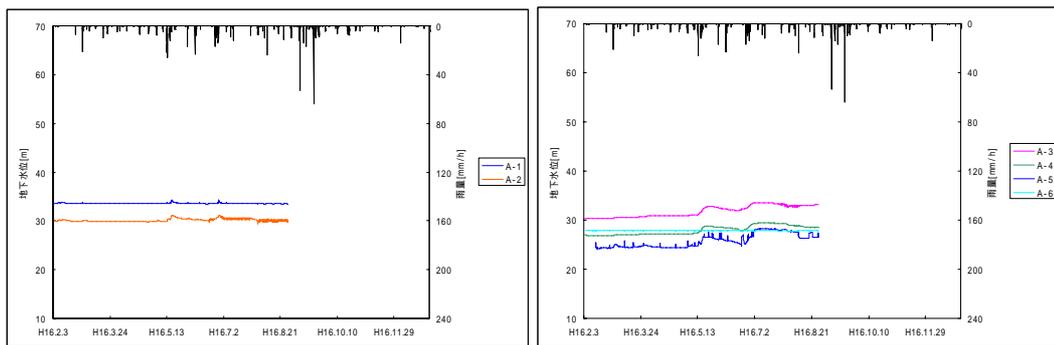


図 7-25 地下水位観測結果(甘木市, 左: 河川に近い, 右: 河川から離れている)

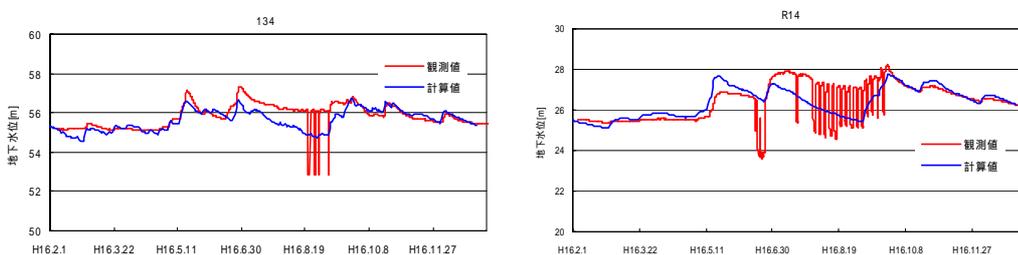


図 7-26 計算結果(ケース 1)

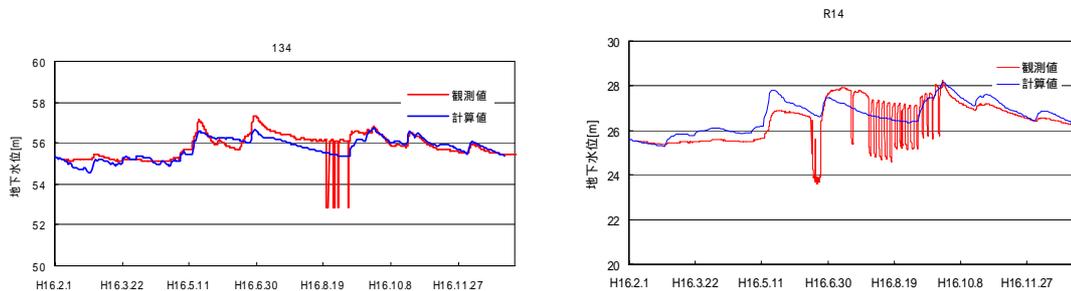


図 7-27 計算結果(ケース 2)

ケース 1 の場合は、両井戸とも夏場の地下水位が再現されない。ケース 2 の場合は、河川近くの 134 の地下水位の再現性はよくなるが、河川から離れている R14 への影響は小さい。これより、灌漑期の地下水位上昇は、河川近くでは堰および灌漑用水の複合的影響、河川から離れた場所では、灌漑用水による影響と考えられる。