

# 幌延地区地下水調査

(平成9年度)

## 報告書概要

技術資料		
開示区分	レポート No.	受領日
T	J1393 98-002	1998.10.2
この資料は技術管理室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です 動力炉・核燃料開発事業団 技術協力部技術管理室		

1998年3月

応用地質株式会社

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒107-8445 東京都港区赤坂 1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technical Evaluation and Patent Office, Technology Management Division, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 9-13, 1-chome, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-8445, Japan

© 動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1998

# 幌延地区地下水調査

(平成9年度)

## 報告書概要

1998年3月

応用地質株式会社

## 幌 延 地 区 地 下 水 調 査

田中 晃\* , 佐々木和彦\*  
大島 雅浩\* , 稲垣 隆二\*  
堀 雅明\*\* , 木村 昭夫\*  
田中 健吾\* , 神 佳行\*

### 要 旨

本調査は、北海道天塩郡幌延町開進地区において、水文環境の現況を把握するため、地下水位及び土壌水分の継続観測及び降水・表流水・地下水の水質調査を実施し、調査結果を気象データと関連させて単年度の調査結果について検討・解析を行ったものである。また、観測開始以来の観測データを総合的に取りまとめ、調査地区の地下水涵養の特徴についても検討を行った。

調査結果より以下のことが判明した。地下水位は、降雨及び融雪によって変動し、尾根部では変化がゆるやかであるが、沢部では降雨及び融雪に対して明瞭に応答する。

不飽和帯の土壌水分は、一年間のほとんどの期間、上層から下層に向かって移動しており、降雨によって涵養されているが、夏期の長期無降雨時には、地表面付近の乾燥のために地下水面から表層に向かう土壌水の移動が起きることがある。冬期にも、わずかな融雪のために、土壌水が表層から下層に向かって移動し、地下水位が変動している。

当地区の降水、表流水及び地下水は、冬期の季節風の影響を反映した水質を示しており、このことは水素同位体比及び酸素同位体比の分析結果からも裏付けられた。

# 目 次

	頁
1. 調査概要 .....	1
1-1 調査件名 .....	1
1-2 調査目的 .....	1
1-3 調査地 .....	1
1-4 調査期間 .....	1
1-5 調査数量 .....	1
2. 調査結果及び検討・解析 .....	4
2-1 気象の状況 .....	4
2-2 地下水の状況 .....	9
2-3 土壌水分の状況 .....	14
2-4 水質の状況 .....	20
2-5 降水と土壌水分及び地下水との関連 .....	25
2-6 降水と地下水及び表流水との関連 .....	27
3. 今後の課題 .....	34

## 1. 調査概要

### 1-1 調査件名

幌延地区地下水調査（平成9年度）

### 1-2 調査目的

本調査は、過去約10年にわたり実施している地下水観測、土壌水分観測並びに降水、表流水及び地下水の水質調査を維持し、降水量等の気象データと関連させて、水文環境の現況を把握することを目的とした。

### 1-3 調査地

北海道天塩郡幌延町開進地区

調査地点を図1-3-1に示した。

### 1-4 調査期間

平成9年4月1日～平成10年3月31日

### 1-5 調査数量

(1) 地下水位観測及び観測機器の保守・点検	.....	1式
(2) 土壌水分観測及び観測機器の保守・点検	.....	1式
(3) 採水及び水質分析	.....	1式
(4) 気象データの整理	.....	1式
(5) 検討・解析	.....	1式

調査数量をまとめて表1-5-1に示した。

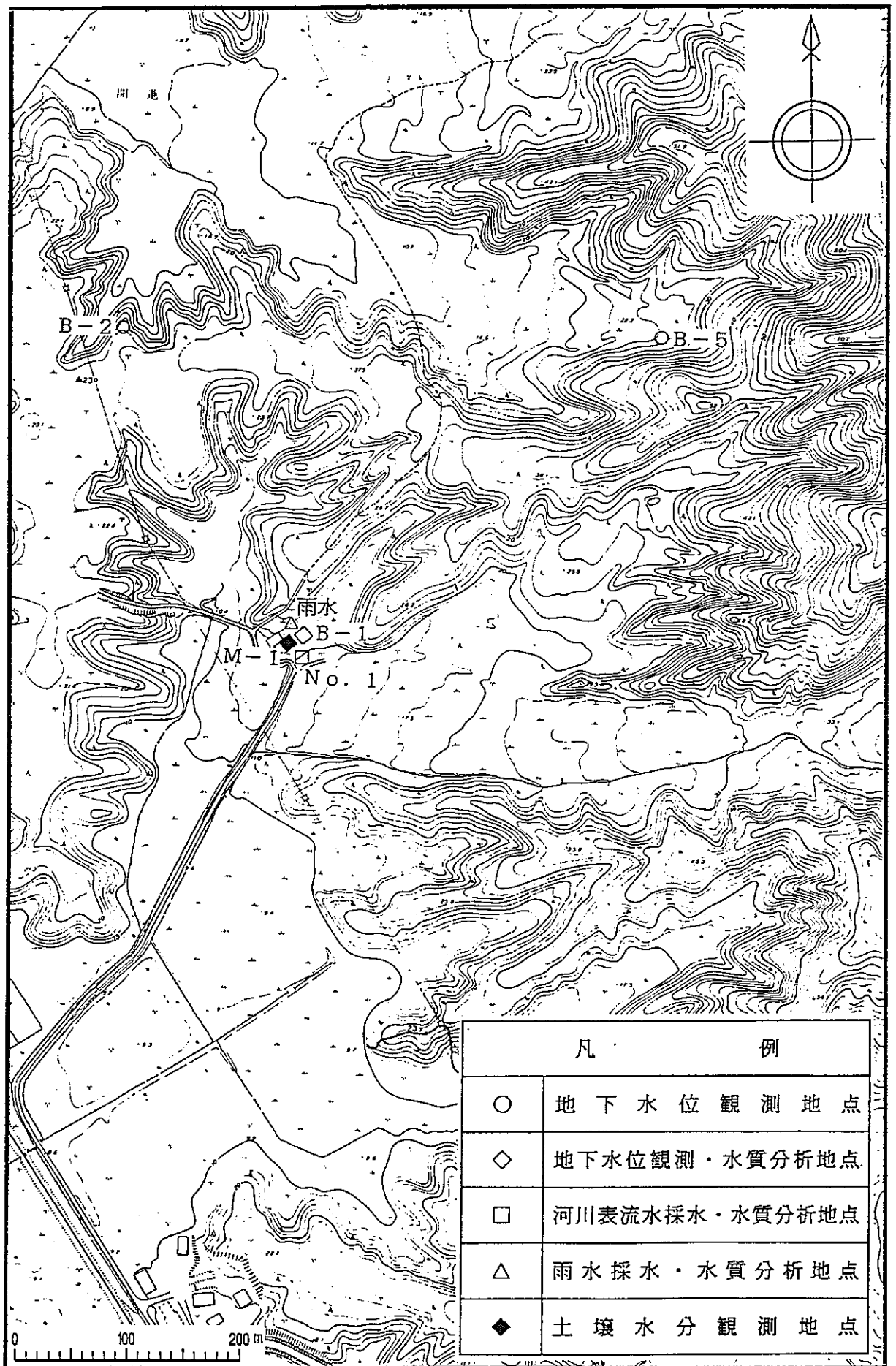


図1-3-1 調査地点位置図

表 1-5-1 調 査 数 量 表

地 点 No.	地下水位 観 測	土壌水分 観 測	採 水 測 定	湧水量 測 定	水質検層	機器点検 (電池交換)	一般水質分析		同位体分析	
							現場測定	室内測定	$\delta D$ (水素)	$\delta^{18}O$ (酸素)
							水温, pH, 電気伝導度	水温, pH, 電気伝導度, 主要10成分		
浅層ボーリング孔	B-1	12ヶ月	12回			12回 (2回)	4+(8) 試料	4試料	12試料	12試料
	B-2	12ヶ月				12回 (2回)				
	B-5	12ヶ月				12回 (2回)				
表流水	No. 1		12回				4+(8) 試料	4試料	12試料	12試料
土壌水分	M-1	6深度 ×12ヶ月				12回 (4回)				
雨 水			12回				4+(8) 試料	4試料	12試料	12試料

- 1) 土壌水分の測定深度は、0.10, 0.25, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00mの6深度であるが、0.10mについては平成6年(1994年)2月から休止中である。
- 2) 水質分析のうち現場測定の( )内試料数は、仕様外で補足的に行ったものである。



## 2. 調査結果及び検討・解析

### 2-1 気象の状況

平成2年('90年)5月から平成10年('98年)3月までの経時変化図を図2-1-1に示した。それぞれのデータを月毎にまとめて表2-1-1(1)、(2)に示した。

#### (1) 降水量

平成9年1月1日から平成9年12月31日までの1年間の合計降水量は1171.0mmであった。過去7年間の降水量をみると平成6('94)年が1264.5mmで最も多く、平成8('96)年が1106.5mmと最も少なくなっている。今年も含め、その他の年の降水量もこの最大値と最小値の間にかたよりなく分布しており、最近7年間の降水量は、毎年ほぼ1100mmから1300mmである。

平成9年は、夏(7月上旬)から秋(10月上旬)に降水量が多く、1年間の季節変化はこれまでと同じ傾向が見られた。表2-1-1に示した月別の降水量でみると平成9年は1月、7月~10月が84.0~267.0mmと降水量が多く、その他の月は27.5~72.5mm程度であった。平成9年の最大日降水量は、8月3日及び10月4日の64.5mmであった。

#### (2) 蒸発量

平成9年4月16日までと平成9年11月21日以降は凍結の恐れがあるため観測されていない。

観測期間の平成9年4月~11月でみると月蒸発量は5月が72.6mmで最も多く、11月が3.5mmと最も少なくなっている。過去6年間(平成2~8年)の季節変化と比較すると、6月、8月共に30mm台と蒸発量が少ないが全体的には5~8月に蒸発量が多く例年と同じ傾向である。また、11月21日の特異値は計測機器撤去時の値であり、解析には使用していない。

#### (3) 気温

平成9('97)年は、経時変化図で明らかなように例年と同じく7~8月が20℃前後と高く、1月~2月が-10℃と低い明瞭な季節変化を示している。

平成9年の日平均最高気温は平成9年7月27日の23.2℃で、瞬時値では平成9年7月27日午後0時に最高気温31.5℃を記録している。また、日平均最低気温は平成9年1月9日の-15.0℃で、瞬時値は平成9年1月9日午前6時に-22.7℃が記録されている。

#### (4) 気圧

平成9('97)年は、これまでと同様に季節変化が認められ、春～夏が低く、秋～冬が高い。短期的には気圧の低下(低気圧の通過)に伴い気温が低下し、降雨または降雪になる。また、毎年12～1月にかけて、大きな気圧の変化が認められるのが特徴である。

平成9年の日平均最高気圧は平成9年11月28日の1029.4hPaで、日平均最低気圧は平成9年1月25日の987.7hPaであった。



表2-1-1(1) 月別気象データ(1)

項目	降水量 (mm)		蒸発量 (mm)		気温 (°C)			気圧 (hPa)			
	月合計	最大日降水量	月合計	最大日蒸発量	月平均	日平均最高	日平均最低	月平均	日平均最高	日平均最低	
平成3年	1月	101.5	23.0	—	—	-4.2	0.2	-12.5	1009.1	1021.8	991.9
	2月	76.0	15.5	—	—	-8.1	0.0	-17.6	1009.8	1021.5	998.5
	3月	124.5	44.5	—	—	-3.1	2.5	12.6	1012.7	1025.5	1000.5
	4月	83.0	22.0	38.5	6.9	4.8	10.6	-3.7	1011.1	1025.1	992.7
	5月	57.5	17.5	79.2	5.1	10.0	15.2	1.4	1008.0	1018.6	986.6
	6月	105.0	22.5	53.4	4.4	14.9	18.0	8.6	1005.0	1015.6	996.5
	7月	64.0	24.0	59.0	4.8	17.4	21.7	13.6	1005.0	1013.9	992.5
	8月	34.0	26.5	73.2	4.9	18.6	21.4	14.7	1007.7	1012.2	1000.8
	9月	172.5	53.5	36.3	3.2	14.5	20.2	10.2	1010.5	1020.2	989.1
	10月	238.0	86.0	19.7	1.9	9.6	13.8	4.0	1010.7	1021.7	997.3
	11月	120.0	22.5	—	—	1.9	11.4	-4.6	1013.1	1023.5	1004.8
	12月	75.0	8.5	—	—	-4.1	4.6	-14.7	1014.9	1026.8	997.1
合計	1251.0	—	359.3	—	—	—	—	—	—	—	
平成4年	1月	56.5	11.0	—	—	—	—	—	1012.2	1023.1	1000.6
	2月	114.0	13.5	—	—	-6.6	1.2	-16.8	1007.1	1016.2	993.1
	3月	28.0	4.0	—	—	-2.8	3.5	-11.3	1016.3	1026.4	1005.7
	4月	81.0	25.5	36.0	4.6	3.7	8.9	-1.7	1007.2	1027.4	996.3
	5月	73.5	11.0	46.8	4.7	8.5	14.0	2.1	1007.4	1023.0	996.5
	6月	42.0	14.5	65.5	5.0	13.1	17.7	7.6	1008.8	1015.3	1001.1
	7月	131.0	26.5	50.0	5.7	17.8	22.2	13.0	1004.0	1016.5	996.2
	8月	54.0	34.0	47.2	3.6	17.8	21.6	12.4	1010.5	1019.7	1002.4
	9月	249.0	36.0	17.7	2.1	13.2	20.9	6.4	1009.6	1022.3	994.6
	10月	68.5	21.0	18.1	1.5	7.9	15.2	1.2	1014.2	1024.4	996.9
	11月	139.0	26.0	—	—	1.9	9.6	-4.2	1013.5	1025.5	998.0
	12月	123.5	26.5	—	—	-3.0	3.7	-10.7	1010.8	1032.1	991.2
合計	1160.0	—	281.3	—	—	—	—	—	—	—	
平成5年	1月	68.0	11.0	—	—	—	—	—	1012.7	1024.6	979.5
	2月	89.5	22.0	—	—	-5.7	0.1	-12.1	1008.0	1018.9	998.3
	3月	53.5	11.5	—	—	-2.0	6.0	-7.7	1010.8	1021.3	996.5
	4月	89.0	19.0	—	—	2.6	7.2	-0.9	1006.7	1020.9	991.4
	5月	19.0	6.5	54.5	3.8	8.5	15.0	3.1	1008.8	1020.2	999.4
	6月	74.0	13.0	42.5	3.2	12.1	17.7	8.2	1006.7	1013.9	1000.0
	7月	9.5	5.5	97.2	6.4	16.1	19.3	11.9	1009.8	1015.7	1001.8
	8月	100.5	23.0	51.9	4.4	17.6	21.4	14.5	1007.2	1015.4	993.1
	9月	76.5	28.0	42.9	3.5	14.5	17.4	9.4	1011.1	1017.7	1000.5
	10月	213.0	32.5	(21.7)	(1.6)	8.6	15.2	3.9	1010.7	1025.5	987.3
	11月	141.0	23.5	—	—	2.2	11.8	-4.2	1015.0	1028.7	999.1
	12月	204.0	21.5	—	—	-3.2	3.0	-11.0	1010.1	1025.1	986.1
合計	1137.5	—	(310.7)	—	—	—	—	—	—	—	

項目	降水量 (mm)		蒸発量 (mm)		気温 (°C)			気圧 (hPa)			
	月合計	最大日降水量	月合計	最大日蒸発量	月平均	日平均最高	日平均最低	月平均	日平均最高	日平均最低	
平成6年	1月	118.0	14.5	—	—	-8.9	-3.1	-18.0	1016.6	1020.8	1001.2
	2月	77.0	21.0	—	—	-4.4	2.1	-11.7	1003.1	1019.8	970.2
	3月	80.0	11.5	—	—	-2.8	3.0	-7.6	1010.9	1027.4	996.6
	4月	49.0	8.5	—	—	3.7	7.4	-2.3	1007.8	1017.5	993.8
	5月	89.0	41.5	65.3	5.9	10.1	16.5	2.3	1004.6	1019.2	985.3
	6月	42.0	10.5	66.3	4.5	13.2	17.4	7.7	1008.0	1018.7	1001.4
	7月	73.5	21.0	54.5	7.5	18.6	23.0	13.4	1005.0	1011.0	997.2
	8月	105.0	72.5	62.7	7.1	21.3	24.6	17.6	1009.1	1016.8	1001.6
	9月	236.0	51.5	41.6	4.4	—	—	—	1007.6	1019.1	950.5
	10月	128.0	28.5	25.7	2.9	9.0	15.4	2.3	1013.3	1026.2	993.7
	11月	131.5	27.0	—	—	2.6	13.5	-5.4	1016.8	1031.3	1003.2
	12月	195.5	16.0	—	—	-5.1	6.2	-11.7	1011.6	1024.6	992.5
合計	1264.5	—	316.1	—	—	—	—	—	—	—	
平成7年	1月	195.5	31.5	—	—	-6.3	4.1	-19.2	1007.7	1018.1	991.0
	2月	60.5	11.0	—	—	-7.1	-0.3	-17.4	1013.2	1024.3	1006.1
	3月	70.5	24.0	—	—	-1.9	5.4	-12.4	1013.6	1024.6	1002.3
	4月	41.5	13.0	—	—	4.8	12.1	-0.4	1007.7	1017.0	996.7
	5月	67.0	17.0	57.1	5.0	10.8	14.8	6.7	1008.7	1022.0	997.7
	6月	14.5	8.5	64.0	4.0	13.5	17.5	9.2	1008.6	1018.1	998.6
	7月	14.5	50.5	(51.3)	(4.4)	(18.4)	(23.6)	(14.2)	(1004.4)	(1009.8)	(996.9)
	8月	60.5	27.0	50.9	3.6	(18.9)	(21.2)	(15.6)	(1007.1)	(1012.0)	(1001.7)
	9月	70.5	25.0	37.6	3.0	13.9	23.0	0.4	1007.3	(1016.4)	(999.4)
	10月	41.5	21.0	15.5	1.6	10.2	19.9	-1.6	1021.7	1025.0	989.1
	11月	67.0	26.5	—	—	3.3	(11.0)	(-2.2)	(1003.9)	(1016.1)	(977.6)
	12月	14.5	11.5	—	—	-3.3	5.2	-12.9	1008.8	1022.7	993.5
合計	1219.5	—	(276.4)	—	—	—	—	—	—	—	
平成8年	1月	47.5	9.5	—	—	-6.5	2.2	-15.0	1005.9	1025.2	981.5
	2月	50.0	7.0	—	—	-7.3	2.4	-16.8	1010.1	1024.4	991.7
	3月	62.5	22.0	—	—	-3.0	4.4	-12.2	1008.8	1020.5	988.6
	4月	19.5	7.5	32.8	3.8	3.0	10.6	-2.8	1008.4	1015.6	993.1
	5月	77.5	14.5	51.4	5.6	(7.6)	15.4	1.4	1009.3	1019.9	992.3
	6月	28.0	8.0	59.6	4.0	13.2	17.2	8.2	1006.4	1018.8	989.5
	7月	141.0	69.0	36.7	4.5	17.2	20.7	11.1	1007.5	1017.8	999.7
	8月	101.5	33.0	50.2	5.6	17.6	22.7	13.2	1009.5	1015.4	997.4
	9月	103.5	26.5	42.0	4.8	14.6	18.4	8.6	1010.7	1016.0	1004.5
	10月	198.5	56.0	28.6	5.4	8.0	12.9	0.3	1012.0	1025.9	999.7
	11月	128.5	18.5	3.7	2.3	1.2	9.8	-6.2	1009.9	1023.2	991.1
	12月	148.5	14.5	—	—	-3.2	1.4	-10.4	(1010.2)	1025.3	990.1
合計	1106.5	—	305.0	—	—	—	—	—	—	—	

( )内の数値は、その月のデータに欠測値があり月間を通して評価されていない値である。

表2-1-1(2) 月別気象データ(2)

年 月	項目	降水量 (mm)		蒸発量 (mm)		気 温 (°C)			気 圧 (hPa)		
		月 合 計	最 大 日 降 水 量	月 合 計	最 大 日 蒸 発 量	月 平 均	日 平 均 最 高	日 平 均 最 低	月 平 均	日 平 均 最 高	日 平 均 最 低
平成 9 年	1 月	116.0	22.5	—	—	-5.5	0.5	-15.0	1007.3	1021.5	989.7
	2 月	60.5	18.5	—	—	-5.7	3.1	-10.9	1010.0	1022.5	991.6
	3 月	54.0	9.0	—	—	-3.0	9.3	-8.5	1011.1	1027.8	994.3
	4 月	27.5	11.0	(19.3)	(4.8)	3.3	13.2	-1.2	1009.4	1024.7	989.7
	5 月	57.5	35.0	72.6	14.5	8.6	13.8	3.1	1007.2	1017.7	997.0
	6 月	56.5	21.0	35.8	3.3	13.0	18.8	6.5	1007.5	1016.1	996.9
	7 月	108.0	37.0	55.4	5.4	17.9	23.2	13.2	1005.1	1013.8	989.1
	8 月	212.0	64.5	37.9	3.3	(17.1)	(22.1)	(13.3)	1008.0	1018.9	998.5
	9 月	84.0	27.0	34.2	3.2	13.3	21.4	7.3	1011.5	1023.9	997.4
	10 月	267.0	64.5	17.3	1.9	8.7	17.4	5.3	1008.4	1023.1	998.5
	11 月	72.5	20.5	(3.5)	(1.9)	4.6	11.6	-0.5	1015.5	1029.4	996.3
	12 月	55.5	9.5	—	—	-2.0	4.7	-10.1	1014.1	1025.4	1003.6
	合 計	1171.0	—	(276.0)	—	—	—	—	—	—	—
平成 10 年	1 月	103.0	17.5	—	—	-9.6	-1.5	-18.1	1012.2	1026.2	994.0
	2 月	38.5	7.0	—	—	-8.5	8.5	-18.1	1015.6	1030.1	1004.8
	3 月	63.5	20.5	—	—	-1.0	5.2	7.4	1009.7	1024.4	992.2
	合 計	(205.0)	—	—	—	—	—	—	—	—	—

( ) 内の数値は、その月のデータに欠測値があり月間を通して評価されていない値である。

## 2-2 地下水の状況

サイト内3地点で実施した観測開始から全期間の地下水位観測結果を図2-2-1の経時変化図に示した。

B-1及びB-5の観測井はともに沢部に設置されており、B-1は平成2('90)年4月から、B-5は昭和62('87)年9月から観測されている。

B-2は、尾根部に設置された観測井でB-5と同じく昭和62('87)年9月から観測されている。

また、昭和62('87)年9月から観測しているB-2とB-5のデータは観測開始から平成2('90)年4月までは1日当たり1回、それ以降は2時間毎(1日当たり12回)に記録している。

B-1は観測開始から2時間毎に記録している。

観測結果によると、3地点それぞれに特徴のある水位変化を示している。

B-1は地盤標高がEL13.0mで、地下水位はEL12m(GL-1m)前後と浅い位置にある。降雨応答が明瞭で、降雨時に鋭く立ち上がり、ピーク出現後の水位低下(回復)が早いのが特徴である。季節変化も比較的明瞭に認められ、気温が0℃を上回ることの多くなる3月中旬から下旬に融雪による水位上昇を示す。融雪が終わる4月下旬から、降雨が少なくなることに伴い、夏季渇水期の7月あるいは8月まで降雨に応答しながらも、水位は低下する。年によって異なるが、7月下旬~9月上旬に1年の最低水位が出現する。その後、降雨が多くなるため、水位はやや上昇し、気温が0℃を下回り始める11月あるいは12月までは降雨の多少に応じて上下している。気温がほとんど0℃を下回り、降水が雪となる12月下旬から3月中・下旬まではわずかな変動はみられるが、水位はほぼ一定であり、流出量と涵養量がほぼバランスしていることがわかる。

融雪による水位上昇は、平成3('91)年4月、平成7('95)年4月が他の年の同時期に比べて高いのは、表2-2-1及び表2-2-2に示すとおり、冬季(1~3月)の降雪量が多く、さらに、4月の気温が高かったことによると考えられる。

表2-2-1 1～3月の降水量

期	間	合計降水量(mm)
平成2('90)年	1～3月	158
平成3('91)年	1～3月	302
平成4('92)年	1～3月	198.5
平成5('93)年	1～3月	211
平成6('94)年	1～3月	275
平成7('95)年	1～3月	326.5
平成8('96)年	1～3月	160
平成9('97)年	1～3月	230.5

表2-2-2 4月の月平均気温・地下水位

年	気温(℃)	地下水位 (EL m)
平成2('90)年	5.0	12.06
平成3('91)年	4.8	12.47
平成4('92)年	3.7	12.20
平成5('93)年	2.6	12.25
平成6('94)年	3.7	12.24
平成7('95)年	4.8	12.32
平成8('96)年	3.0	12.04
平成9('97)年	3.3	12.04

尾根部のB-2は地盤標高がEL21.0mで、地下水位は約EL10.5～11.0m(GL-10.0～-10.5m)にあり、3地点のうちで最も深い。

B-2についても明瞭な季節変化は示しているが、B-1及びB-5とは異なり、降雨時の鋭敏なピークはみられず、上昇・下降ともにゆるやかである。また、年間変動幅は、B-1とB-5が約0.7～1.0mであるのに対し、B-2は約0.5mと小さいのが特徴である。

B-2は3月中～下旬の融雪に伴い、水位が上昇を始め、以降ゆるやかに上昇し、約20日～1ヶ月後の4月中～下旬になだらかなピークを示す。その後、多量の降雨時にわずかな上昇を示すこともあるが、8月～9月まで徐々に低下する。9～11月頃の秋雨で再びわずかずつ上昇を示し、11月～12月になだらかなピークを示したあとは翌年の融雪まで低下し続ける。

B-5は沢部河床脇の地点である。地盤標高はEL25.0mで、水位は冬～春季にはほぼ地表面付近にあり、夏～秋季にEL24～25m (GL 0～-1m)の間で変動する。この地点は積雪のある冬季から融雪の終わる5月までは水位がほぼ地表面にあり、ほとんど変化がない。融雪の終わる4月下旬あるいは5月からは降雨が少なくなるにつれて、B-1と同様に夏季渇水期の7～8月まで、降雨に対応しながら水位は低下している。7月下旬から9月上旬に1年の最低水位が出現する。その後、雨が多くなるにつれて変動しながら上昇し、降雪が始まる11～12月頃には再び水位は地表面に戻る。

B-5の地下水は沢水によって涵養されていると考えられ、夏季には降雨時以外表流水が認められず、表流水があるときに水位も上昇している。

B-1, B-5における、平成2('90)年～平成9('97)年の代表的な降雨時の降雨量と地下水位上昇量を図2-2-2に示す。なお、このデータは2～3日以上は無降雨日の後、降雨があり明瞭な水位上昇が認められたものをサンプリングする事により得た。図中の実線は一次回帰直線であり、回帰式と相関係数を併記しているが、明らかに相関は弱い。これは浸透途中で側方流出したり、降雨が多いために浸透せずに表面流出してしまう量がある可能性があるものと考えられる。

図の左側の破線が過不足なく浸透する場合の直線を示しているものと考えられる。上段のB-1は無降雨時にも2～3mm水位が上昇することを示しており、これは、降雨の他に河川水からの供給の可能性が、考えられる。また、下段のB-5の場合は、降雨量が1mm以上あると水位上昇があることになる。この1mmの降雨は不飽和部に保水される量である可能性があると考えられる。



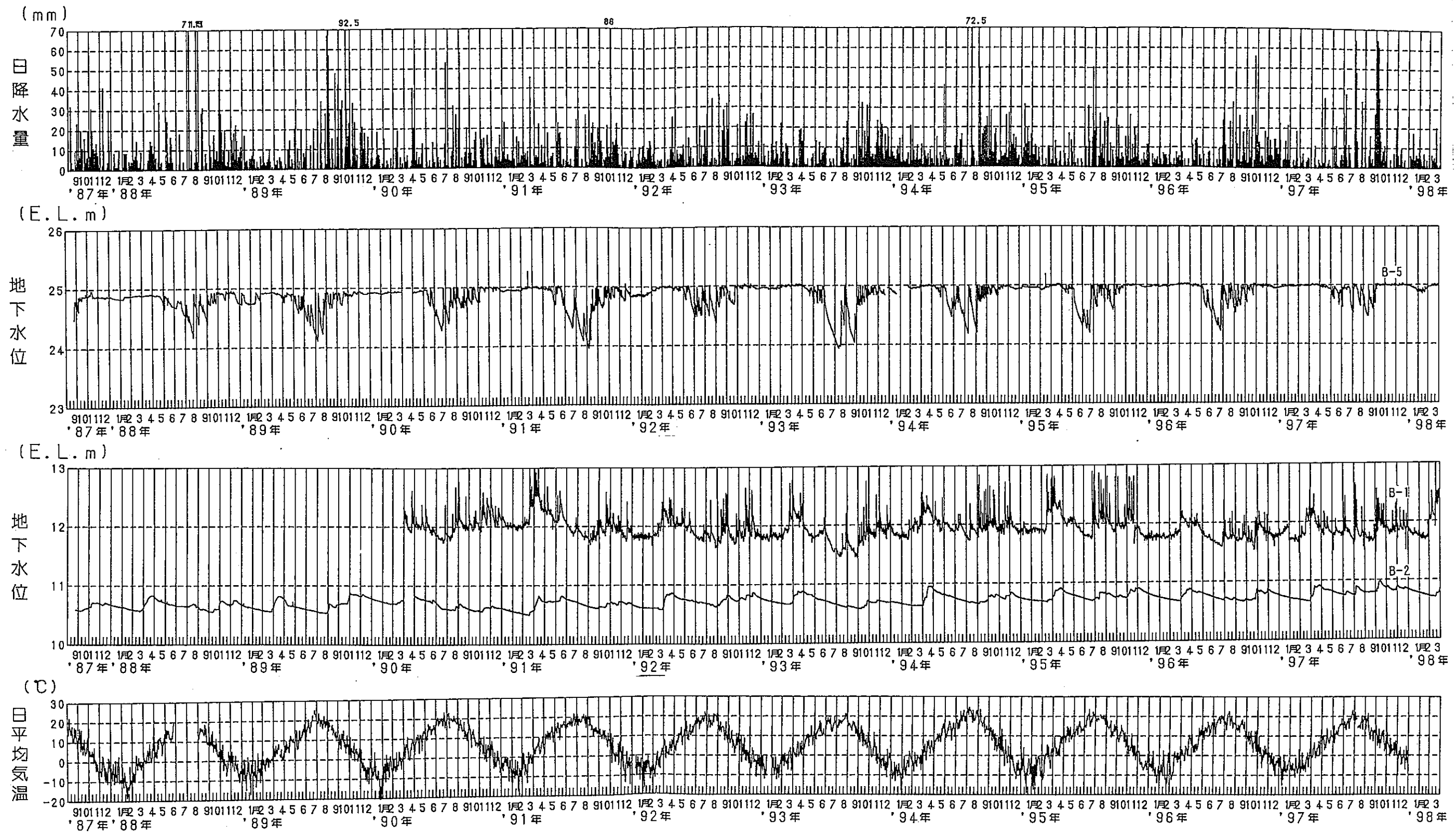
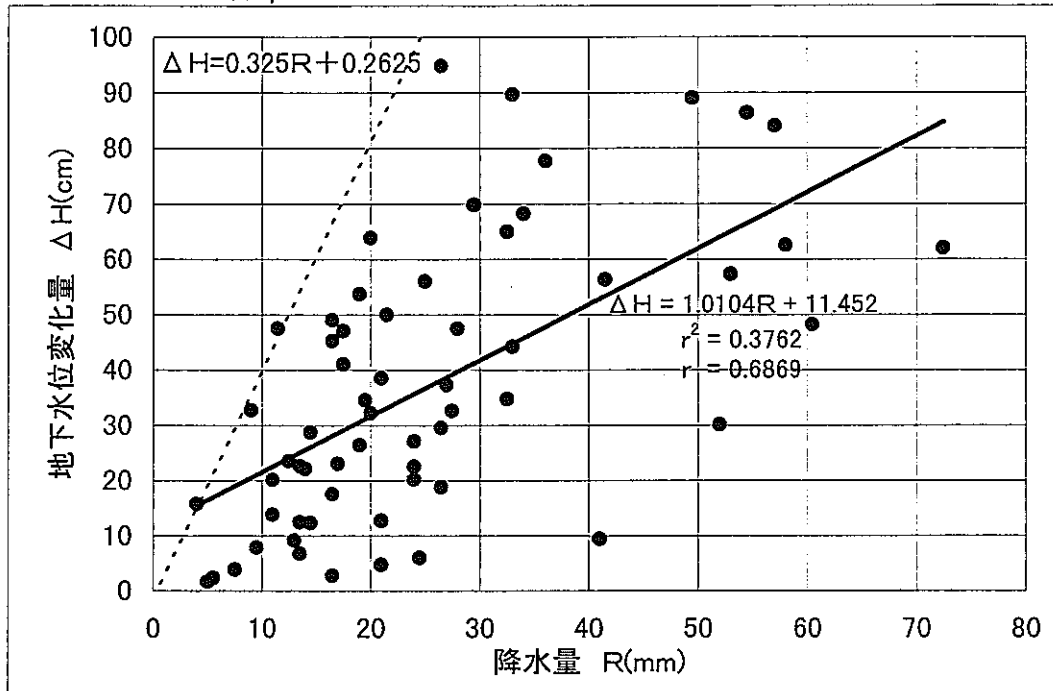


図2-2-1 地下水位経時変化図 (観測開始より全期間)

B-1 1990-1997年



B-5 1990-1997年

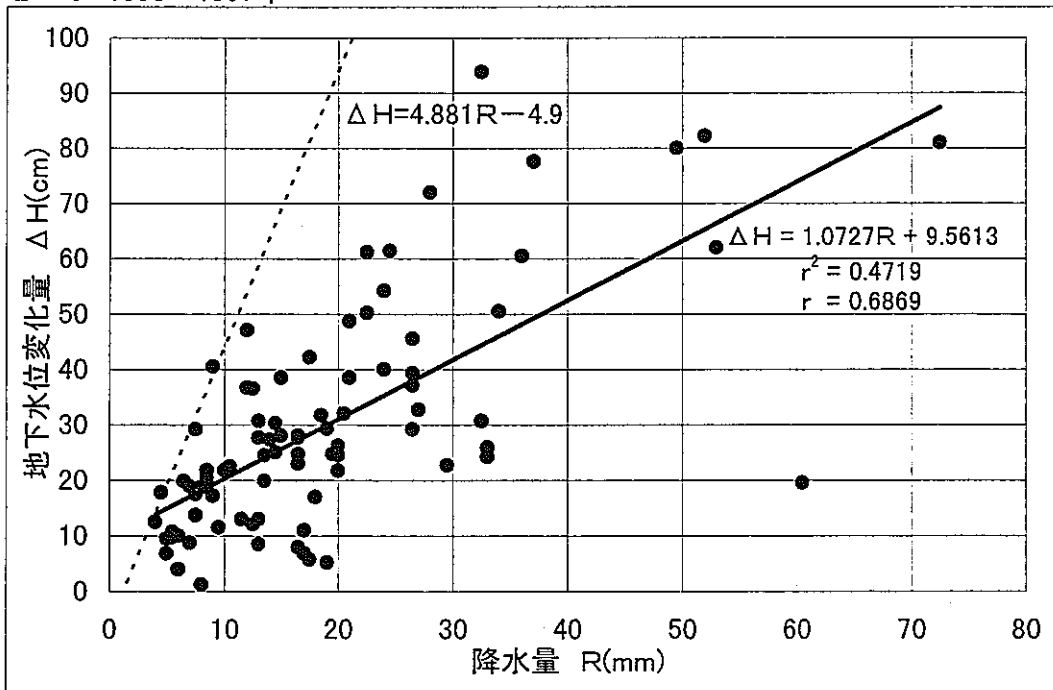


図2-2-2 降水量と地下水位上昇量の関係

## 2-3 土壌水分の状況

測定開始（平成2年5月1日）から全期間の圧力水頭、全水頭及び体積含水率の経時変化を図2-3-1に示した。

土壌水分についても、地下水位と同様に明瞭な季節変化がみられる。まず、圧力水頭の経時変化図をみると、融雪の始まる3月下旬から、降雪の始まる12月下旬まで、降雨に対応した変化を示している。すなわち、浅い深度のGL-10cm(平成5年度までの観測)、-25cm、-50cmは、降雨時の上昇、降雨終了後の低下が明瞭で、かつ、深い深度のGL-100~-200cmに比べて大きく変化している。特に、GL-10~-50cmは、降雨が少なく気温の高い6~8月の無降雨時には著しく低下し、強い乾燥状態を示した。

ただし、平成5('93)年についてはGL-10cmは年間を通じてほぼ一定であった。また、平成5('93)年7月~8月上旬は過去に比べても雨量が格段に少なかったにもかかわらず、GL-10cm及びGL-25cmともに、過去の同期のような著しい圧力水頭の低下は示さなかった。なお、平成8('96)年10月末の異常値は、この期間に降った約120mmのまとまった降雨が何らかの影響を与えているものと考えられる。

表2-3-1に平成2('90)年~平成9('97)年(8年間)の7,8月の月降水量、月平均気温、月平均圧力水頭を示す。この表から明らかなように、平成5('93)年7,8月のGL-10cmと-25cmの月平均圧力水頭は他の年の7,8月に比べて高く、気温は他の年の7,8月に比べて低い。平成5年7,8月の圧力水頭が高い原因は、平成5年7,8月の気温が他の年に比べて低いため、蒸発散量が少なかったことによるものと考えられる。

GL-50cmは圧力水頭がわずかに0cm H<sub>2</sub>O以下であるが、降雨時には0cm H<sub>2</sub>O以上となり飽和する。GL-100~-200cmは常に圧力水頭が0cmH<sub>2</sub>O以上で、常時飽和している。GL-100cmとGL-150cm、さらにGL-150cmとGL-200cmの圧力水頭差はそれぞれほぼ50cmH<sub>2</sub>Oであり、GL-100cm~GL-200cmまでの地下水は静水圧分布に近いことを示している。

降雪の始まる12月下旬から、翌年の3月中旬までは、ごくわずかな圧力水頭の低下がみられる程度で降雨期に比べてその変動幅は格段に小さい。このことは、降雨期に比べて、積雪期の土壌水分の動きが小さいことを示している。

表2-3-1 7, 8月の月降水量、月平均気温、月平均圧力水頭

年	月	月降水量 (mm)	月平均気温 (°C)	月平均圧力水頭 (cmH <sub>2</sub> O)	
				GL-10cm	GL-25cm
平成2('90)年	7月	77.0	18.7	-167.9	-152.5
	8月	165.5	19.3	-132.0	-88.2
平成3('91)年	7月	64.0	17.4	-364.5	-335.2
	8月	34.0	18.6	-125.2	-73.6
平成4('92)年	7月	131.0	17.8	-122.6	-236.8
	8月	54.0	17.8	-355.1	-64.1
平成5('93)年	7月	9.5	16.1	-10.3	-57.3
	8月	100.5	17.6	-8.5	-36.2
平成6('94)年	7月	73.5	18.6	—	-38.1
	8月	105.0	21.3	—	-242.1
平成7('95)年	7月	191.5	(23.6)	—	-88.2
	8月	132.0	(21.2)	—	-19.8
平成8('96)年	7月	141.0	17.2	—	-89.9
	8月	101.5	17.6	—	-22.9
平成9('97)年	7月	108.0	17.9	—	-7.5
	8月	212.0	(17.1)	—	-31.0
平均	7月	99.4	18.4	-166.3	-125.7
	8月	113.1	18.8	-155.2	-72.2

次に、全水頭の経時変化をみると平成2('90)年～平成4('92)年及び平成6('94)年～平成9('97)年の降水の少ない6～8月間の圧力水頭が著しく低下した時期を除き、全水頭は表層のGL-10cm(平成6('94)年1月までの観測)が最も高く、次いでGL-25cm, GL-50cmの順に低くなり、GL-200cmが最も低い。このことは、1年のほとんどの期間は、土壌水分が地表面付近から地下水面に向かって移動すること、すなわち、降水が地下水を涵養していることを意味している。

また、平成2('90)年～4('92)年及び平成6('94)年～平成8('96)年の6～8月のほとんど降雨が少ない期間の一時期では、GL-100～-200cmの3深度の全水頭が最も高く、GL-50, -25, -10cmの順に(平成6年8月, 平成7年6月, 平成8年7月はGL-50, -25cmの順に)低くなっている。これは、降雨が少なく気温が高いため、地表面付近が蒸発により著しく乾燥し、地下水面から地表面に向かって土壌水分の移

動が起きていることを示している。

体積含水率は GL-10cmと GL-25cmが約10～20%で変化し、降雨時の上昇及び回復（低下）が明瞭である。また、冬季の1～2月は変化が小さい。GL-50cmは GL-10cm及び GL-25cmに比べて高く、約40～46%で変化しており、降雨時には飽和している（一定値となっている）。GL-100～-200cmは常に飽和しており、直線となっている。

各深度の間隙率は GL-10cm, -25cmがそれぞれ 23.4%, 23.7%で、GL-50～-200cmは約46～51%である。よって、GL-50cmが降雨時に一定値を示し、GL-100～-200cmが年間を通じて一定であるのは、飽和しているため体積含水率がそれ以上大きくならないことによる。

また、圧力水頭が著しく低下した平成3（'91）年、平成4（'92）年の6月下旬～7月、平成6（'94）年8月、平成7（'95）年6月についてみると、GL-10～-50cmの体積含水率の変化は他の時期と大差ない。これは、圧力水頭すなわち土壤水分吸引圧が低下するとき、低い吸引圧で大きな孔隙中の土壤水分は移動するが、微細な孔隙に保持されている土壤水分は移動しづらく、体積含水率の変化としては小さく表れているためと考えられる。

図2-3-2には、圧力水頭が低下した平成9（'97）年8月21日～9月20日の降雨前後、図2-3-3には圧力水頭がほとんど変化しない平成9（'97）年9月20日～10月20日の全水頭深度変化図を降水量、気温とともに示した。

図2-3-2は、降雨の少ない日が続いたあとにまとまった降雨があり、全水頭が大きく上昇した時の降雨前後の日平均全水頭を深度方向に結んだものである。図で直線の勾配が正（右上がり）の場合は全水頭の高い上層から、全水頭の低い下層に向かって土壤水分は移動する。逆に、勾配が負（右下がり）の場合は、土壤水分は上向きに移動する。つまり、8月24日～9月8日まで降雨の少ない日が続き、9月9～10日にまとまった雨がかったことから、9月10日の降雨前は GL-50cm以浅が負の勾配となり土壤水分は下層から上層へ移動し、降雨後（9月10日以降）にはほぼ正の勾配となっていることから上層から下層へと移動したことがわかる。このように、著しく乾燥した時期には、全水頭の勾配が正から負、あるいは負から正に逆転する深度が現れることがわかる。勾配が逆転する深度をゼロフラックス面という。平成9年9月の場合はゼロフラックス面が GL-50cmであり、このときは地下水面から地表に向

かって土壌水分が移動していたことになる。

ゼロフラックス面は常に存在するわけではなく、無降雨日が続いた場合や降雨が少なく地表面からの蒸発散による乾燥が著しい場合に現われ、まとまった降雨によって解消する。

また、これまでの測定結果では、ゼロフラックス面の深度が時期によって異なることがわかっている。この原因はゼロフラックス面が現れるまでの降水量の多少、あるいは無降雨日数の多少、気温の違いなどによる土壌の保水量の差及び蒸発散量の大小によるものと考えられる。

図にはサクション0の勾配線も示しているが、観測値がこの勾配線より右側にある場合は飽和状態、左側にある場合は不飽和であることを示す。図をみると、降雨前では約 GL-100cm以深、降雨後は GL-50cm以深は飽和し、かつ、GL-100cm以深のプロットがほぼ垂直に立っており、地下水面以深では静水圧分布に近いことがわかる。ただし、わずかに右上がり（上層の全水頭が高い）静水圧分布に近いものの、土壌水及び地下水は下方に浸透していることがわかる。

図2-3-3には、圧力水頭が経時的にほとんど変化しない冬季（平成9（'97）年9月20日～10月20日）の全水頭深度変化図を示している。図で明らかなように、GL-50cm以浅は不飽和で、表層の全水頭がわずかに高く、土壌水分は表層から地下水面に向かって移動することがわかる。また、GL-100cm以深の地下水面下では、夏季と同様に静水圧分布に近いことを示している。

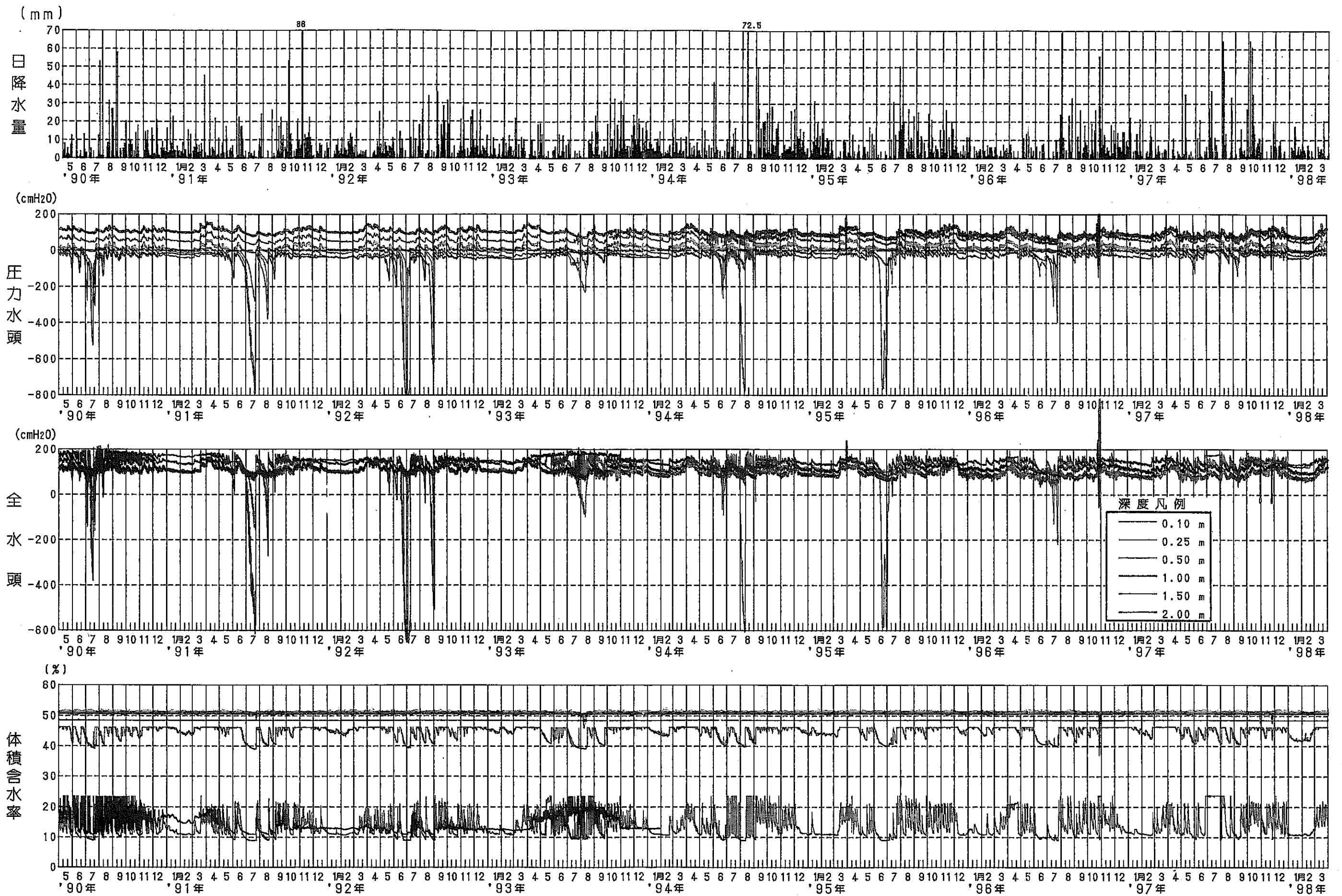


図2-3-1  
 土壤水分経時変化図（観測開始より全期間）

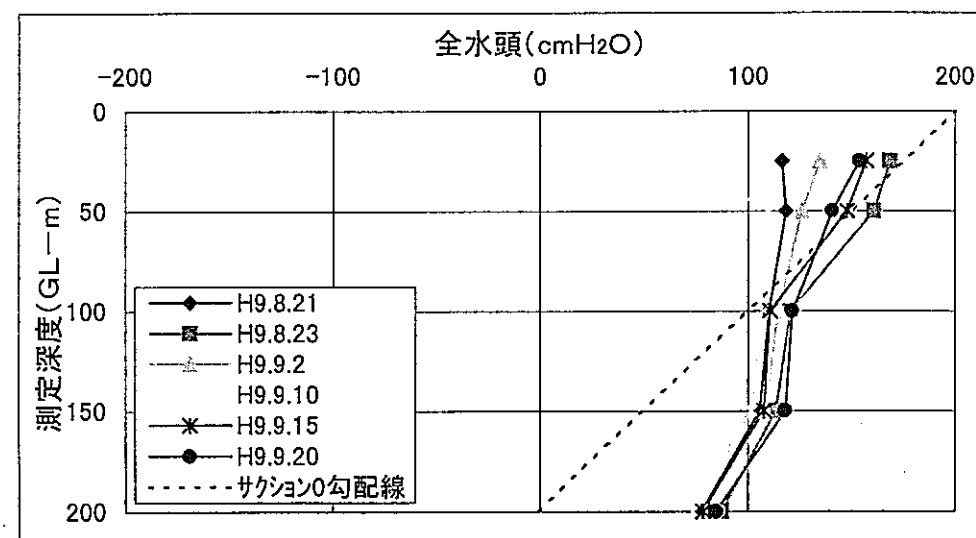
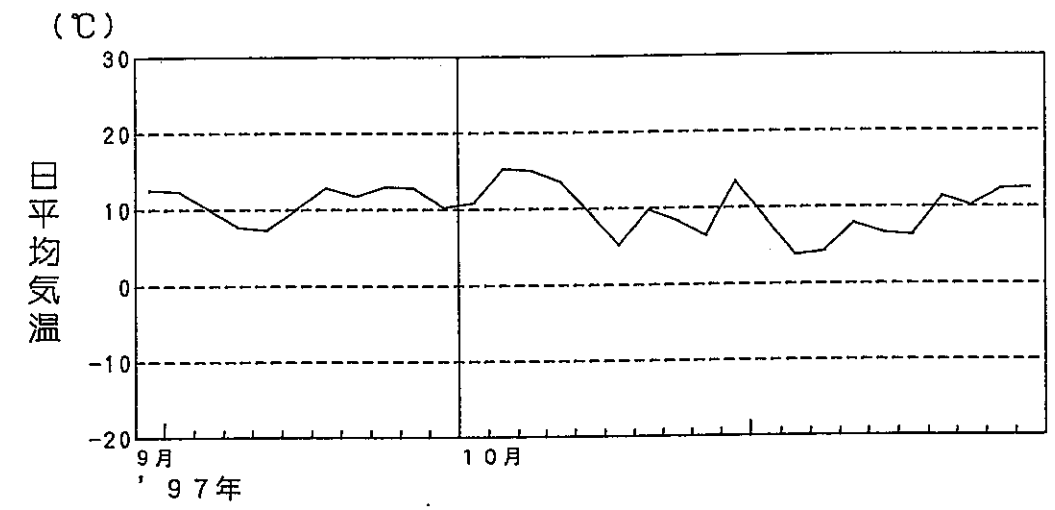
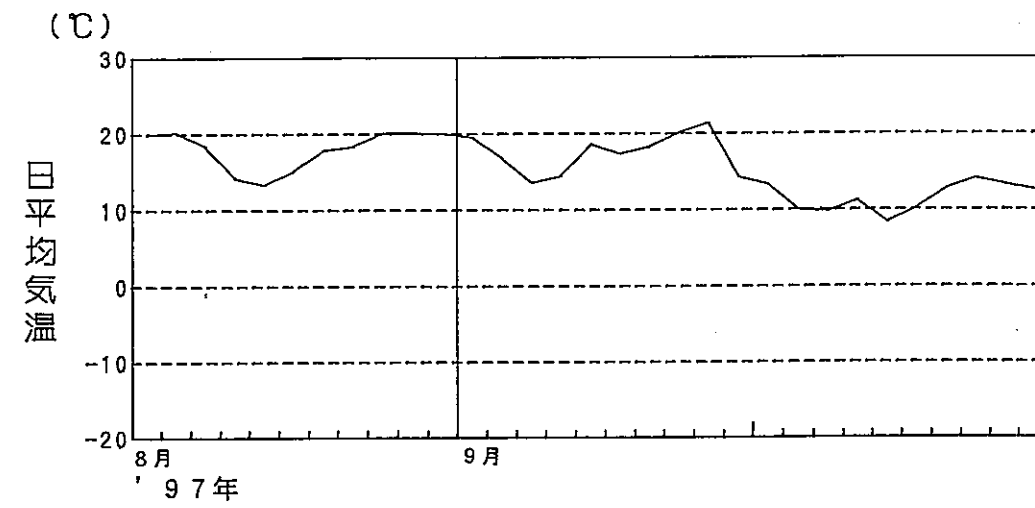
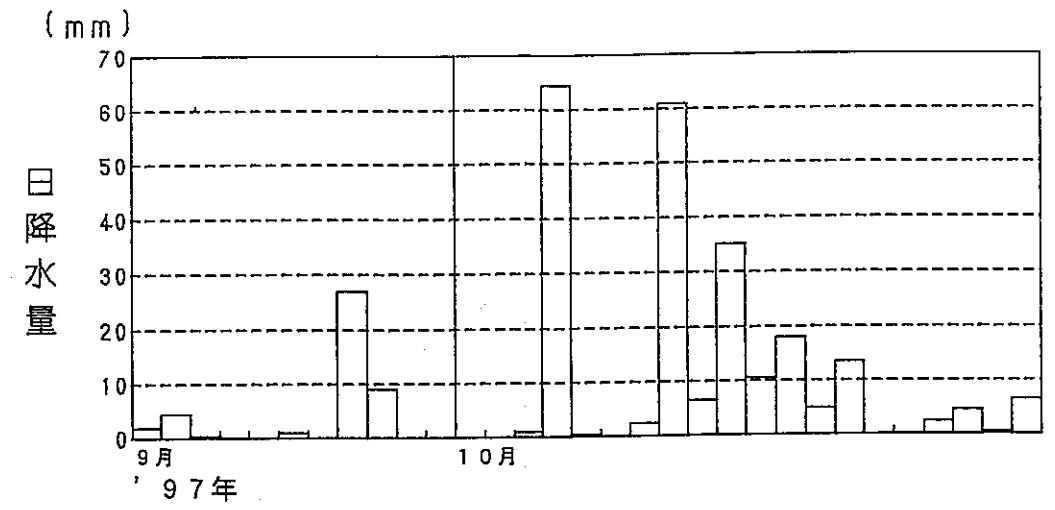
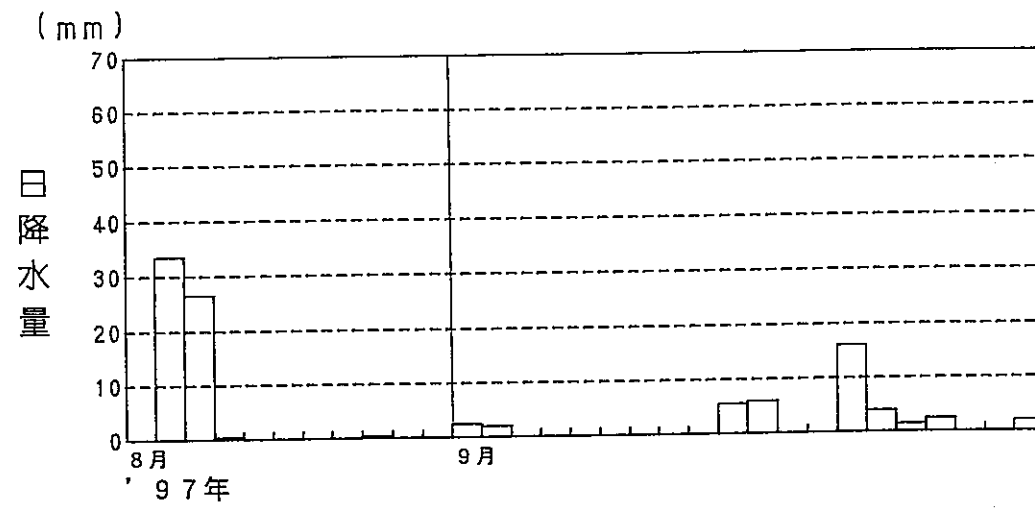


図2-3-2 全水頭深度変化図  
1997年8月21日～9月20日（渇水期）

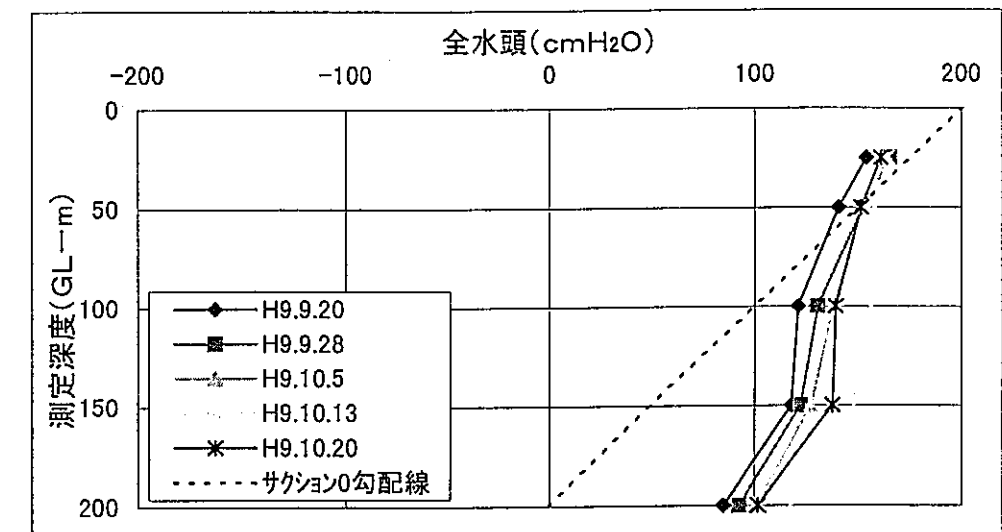


図2-3-3 全水頭深度変化図  
1997年9月20日～10月20日（豊水期）



## 2-4 水質の状況

毎月の同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$ ) 分析用試料採取及び3ヶ月毎の一般水質分析用試料採取時に、現地で測定した水温、pH、電気伝導率測定結果を経時変化図として、図2-4-1に示す。

降水はpH及び電気伝導率ともに夏～秋に低く、冬～春に高い季節変化を示した。冬から春にかけては大陸からの季節風が強いため、夏から秋に比べて風送塩が多く運ばれてくることによるものと考えられ、水質分析結果で  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  が多いことから裏づけられる。そして、平成7年11月にはこれまでの測定値の中で最も高い  $169\mu\text{S}/\text{cm}$  を示した。また、平成3('91)年7月～10月、平成7('95)年7, 9, 12月～平成8('96)年5月は、pHが4.0～4.7と低かった(酸性雨)が、それ以降は6前後を示している。電気伝導率は、 $150\mu\text{S}/\text{cm}$  を超えた平成7('95)年11月及び平成9('97)年3月を除き  $9.3\sim 97.2\mu\text{S}/\text{cm}$  で、ほぼ年間を通して表流水No. 1及びボーリング孔B-1に比べて低く、特に夏季は  $20\sim 40\mu\text{S}/\text{cm}$  と低い値を示す。

表流水No. 1は、冬季でも凍結せず、流水が認められた。表流水No. 1の水温は気温の影響及び降雪の影響による明瞭な季節変化を示している(平成8年4月～平成9年3月:  $-1.6\sim 16.8^\circ\text{C}$ )。pHは6前後で変動しているが、特に明瞭な季節変化は認められない。電気伝導率は  $60\sim 90\mu\text{S}/\text{cm}$  を示すことが多いが、平成3年('91)年8月や平成4('92)年8月、平成5('93)年7, 9月、平成6('94)年8月、平成8('96)年6月、平成9('97)年7月のように、夏期の降雨の少ない時期に  $100\sim 200\mu\text{S}/\text{cm}$  と高い値を示しており、地下水流出が降水の浸透、流出に比べて多くなることによるものと考えられる。また、平成9('97)年2, 3月にも高い値を示している。

ボーリング孔B-1の水温についても、表流水No. 1と同様の季節変化が認められた(平成8年4月～平成9年3月:  $2.1\sim 17.0^\circ\text{C}$ )。ただし、変動幅は表流水よりも小さい。地下水についても水温の季節変化が現れているのは、ボーリング孔B-1の地下水位がGL-1m前後と浅いため、無積雪期には気温の影響を受け、冬季には低温の積雪の影響を受けていることによるものと考えられる。また、ポンプで孔内水を汲み上げた後に採取水の温度を計測しているため、少なからず外気温の影響を受けている。ボーリング孔B-1のpHは、約5.5～6.4で変動し他のどれよりも最も変動幅が小さく安定しているが、平成10('98)年1月に7.5という高い値を示した。また、電気伝導率は、降水及び表流水No. 1に比べて変動幅は小さいと言える

が、平成4('92)年9月、平成5('93)年3、11月、平成6('94)年9月、平成7('95)年7、11月、平成8('96)年9月及び平成10('98)年1月のように、多量の降雨あるいは融雪水の影響を強く受けたと考えられる大きな変化を示すことがある。また、電気伝導率は降水及び表流水No. 1に比べて常に高く、平成3('91)年7月から平成7('95)年3月までは徐々に高くなる傾向が認められる。

現地測定電気伝導率は徐々に上昇する傾向を示しているが、室内分析による電気伝導率及びイオン組成は変化していない。室内測定電気伝導率と現地測定電気伝導率に差が生じているのは、現地測定時の試料水は濁りを含んでいるのに対し、室内測定時の試料水は静置後であるため、濁りをほとんど含んでいないことから、濁りすなわち、浮遊物質が電気伝導率上昇の原因となっているものと考えられる。さらに、現地測定電気伝導率が上昇しているのは、ボーリング孔の孔底深度がスライムによって徐々に上昇してきていることから、濁り(浮遊物質)の質が変化していることによるものと推定していた。平成7('95)年11月にボーリング孔の修復を行って孔底深度を回復させた以降、約210~230  $\mu\text{S}/\text{cm}$ の値でほぼ安定している。

以上のように降水と表流水No. 1及びボーリング孔B-1のpHと電気伝導率は1年中一定ではなく変化があり、また、年度によって変化の現れ方は全く同じではないことが確認された。特に、降水は表流水No. 1及びボーリング孔B-1に比べて大きな変化を示すことが明らかとなった。

次に、平成3('91)年8月~平成10('98)年2月の四季に実施した一般水質分析結果(主要溶存成分)をヘキサダイアグラム及びトリリニアダイアグラムとして、解析を行った。図2-4-2には、平成9('97)年5月~平成10('98)年2月までの結果を示した。

ボーリング孔B-1は、現地水質測定結果で得られたように、降水や融雪水の影響によるpH及び電気伝導率の若干の変化はあるが、水質はNa-HCO<sub>3</sub>型で安定しており、組成の変化はないことがわかる。

表流水No. 1は平成8('96)年一年中を通じて典型的なNa-Cl型の水質を示しており、Na-Cl型であることが多い降水の影響を強く受けていることがわかる。

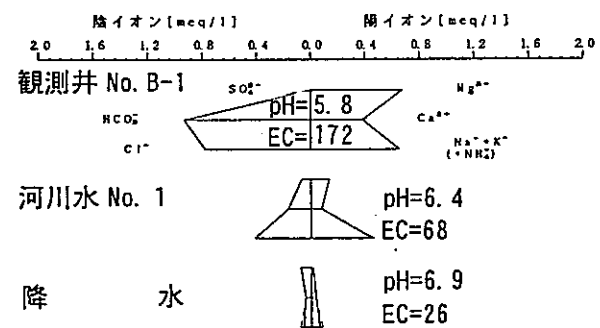
降水はボーリング孔B-1及び表流水No. 1に比べて電気伝導率が低く、特に、8月は各年とも格段に低い。ヘキサダイアグラムは11月及び2月に典型的なNa-Cl型を示しており、8月と5月に比べて電気伝導率も高いことから、冬季の強い季節

風による風送塩の影響が現れていると考えられる。このような降水が地表面から浸透していく過程で蒸発濃縮を受け、さらに土壌との接触によって溶存成分を増加させながら、表流水として流出し、あるいは地下水となって移動すると考えられる。

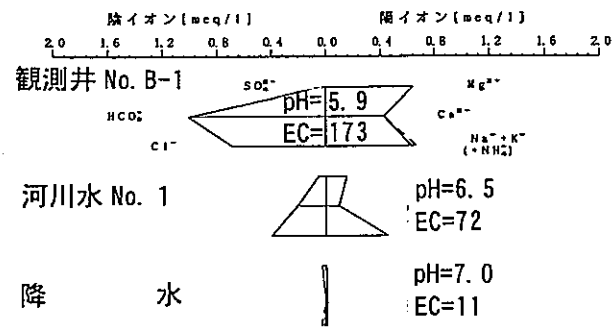
また昨年度（平成8（'96）年）の調査でD-1孔の深度（800～810m、1000～1355m）で水質を分析している。D-1（800～810m）は電気伝導率1500～1600 $\mu$ S/cm、pH 8～9、重炭酸ナトリウム型の水質を示す。またD-1（1000～1355m）は電気伝導率50000～60000 $\mu$ S/cm、pH 9～10、塩化ナトリウム型の海水と類似した水質を示す。



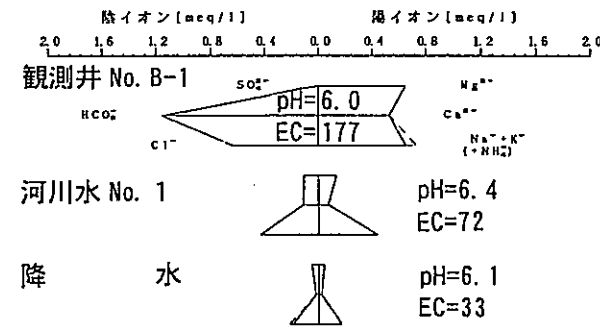
図2-4-1 現場水質経時変化図('91~'98)



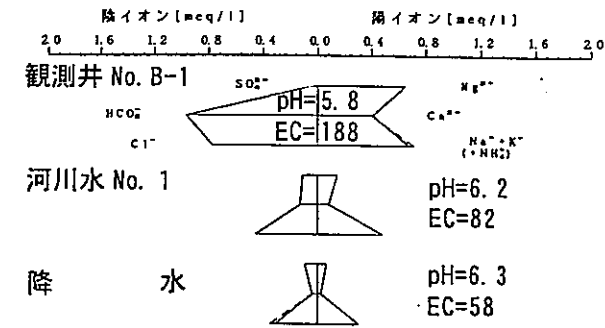
平成 9年 6月 3日



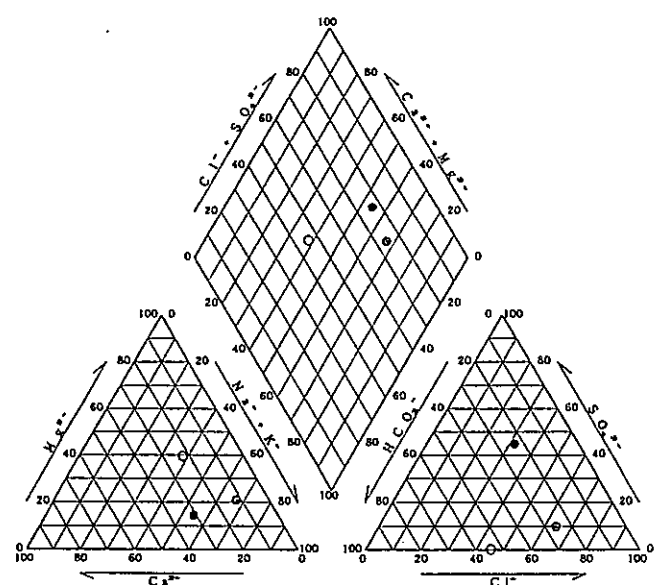
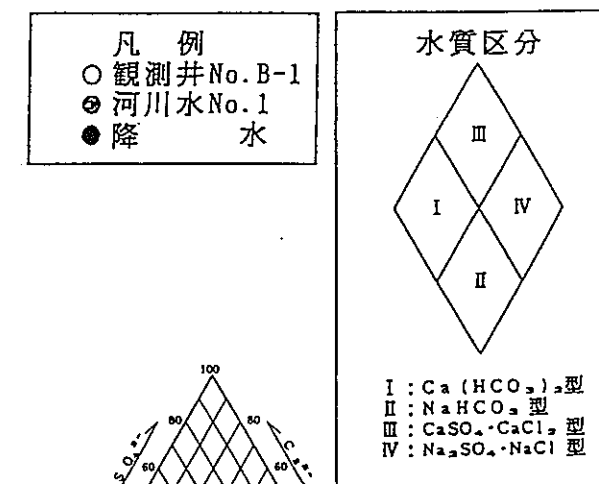
平成 9年 8月 28日



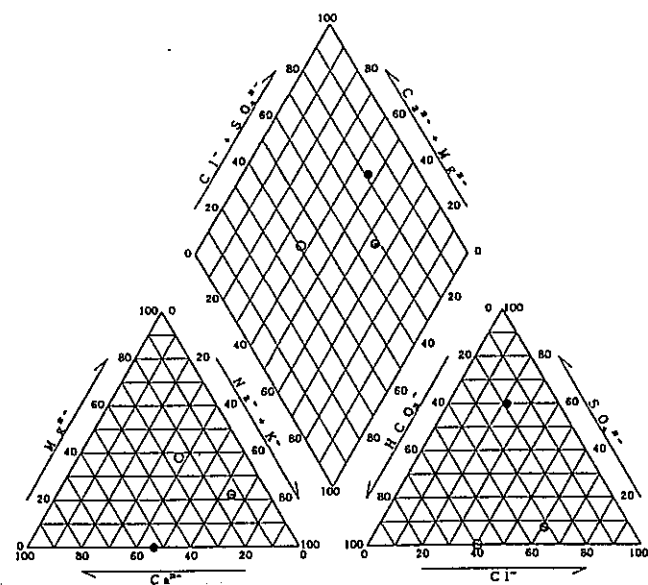
平成 9年 12月 2日



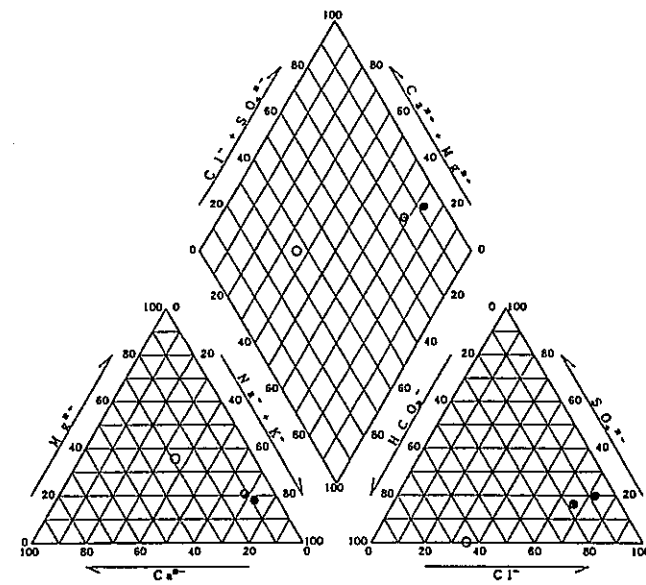
EC: 電気伝導率 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )  
平成 10年 2月 26日



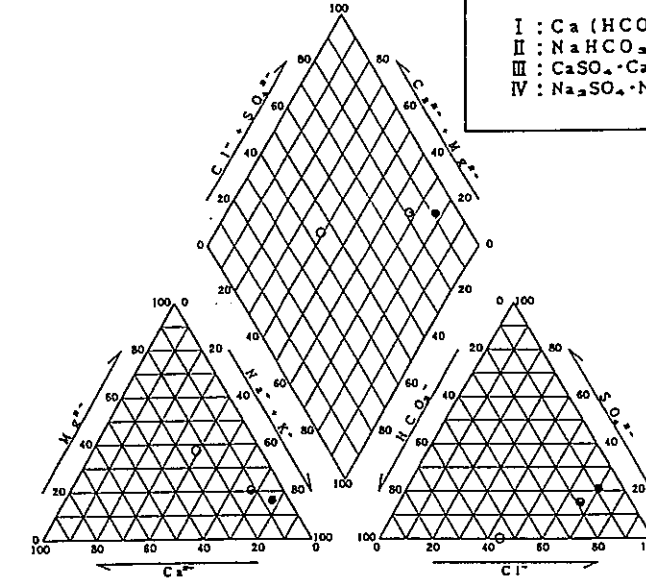
平成 9年 6月 3日



平成 9年 8月 28日



平成 9年 12月 2日



平成 10年 2月 26日

図2-4-2  
ヘキサダイアグラム及びトリリニアダイアグラム

## 2-5 降水と土壌水分及び地下水との関連

降水と土壌水分及び地下水位の関連をみるため、図2-5-1に土壌水分観測開始以降の降水量、蒸発量、気温、全水頭及び地下水位の経時変化図を示した。

これまでも述べてきたとおり、冬季の降雪時以外は全水頭及び地下水位（B-2を除く）ともに、降雨に対する応答が明瞭である。すなわち、降雨時には全水頭及び地下水位とも上昇し、無降雨時には低下している。また、ほとんどの期間の全水頭は表層が最も高く、下層が低いことから、土壌水分は降雨によって涵養され、表層から下層に向かって移動し、地下水を涵養していることがわかる。

平成3（'91）年7～8月の全水頭の著しく低下したときのボーリング孔B-1の水位との関係に着目してみると、後述するとおり、無降雨日が長く続いたことにより、表層（GL-10～-50cm）の全水頭が大きく低下し、地下水位も低下している。7月21日の水位低下は、6月15日～7月21日まで3mmを超える降雨がなく、そのうち、27日間は無効雨日であったこと、8月20日の水位低下は、8月1日～8月20日までの期間で8月12日に3.5mmの降雨を観測しただけで残りの日は全て無降雨日であったことによる。このとき、GL-100cm以深の全水頭は地下水位と同じ変化を示しているのに対し、表層は7月が著しく低下したが、8月は7月ほどは低下せず、地下水位は7月よりも8月が低い。平成4（'92）年6～8月、平成6（'94）年8月の全水頭及びボーリング孔B-1の地下水位についても同様のことが言える。これらのことは、不飽和部の土壌水分は地下水位の変動の影響を受けて変化しているのではなく、降雨浸透と蒸発（散）により変化していることを示している。



図2-5-1 降水量・蒸発量・気温  
全水頭地下水位経時変化図

## 2-6 降水と地下水及び表流水との関連

降水と地下水及び表流水No. 1の関連性を同位体比( $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ )の分析結果から検討する。

$\delta D$ と $\delta^{18}O$ の経時変化図を図2-6-1に示した。図で明らかなように、降水の同位体比は $\delta D$ 及び $\delta^{18}O$ はともに夏高く、冬低い温度効果によると考えられる季節変化を示している。

表流水No. 1及びボーリング孔B-1についても雨水に比べて変動幅は小さいが、季節変化を示し、かつ、降水の季節変化に対してほぼ時間遅れなく追随しているといえる。また、降水、表流水No. 1及びボーリング孔B-1の平成3('91)年7月～平成10('98)年3月までの同位体比の平均値は以下のとおりである(降水は採取期間の降水量を加味した加重平均)。平均値でみると、 $\delta D$ 及び $\delta^{18}O$ ともに、降水、ボーリング孔B-1、表流水No. 1の順にわずかずつ高くなっている。

降 水……  $\delta D$ 平均 = -68.4%,  $\delta^{18}O$ 平均 = -10.6%

表流水……  $\delta D$ 平均 = -63.5%,  $\delta^{18}O$ 平均 = -10.2%

B-1……  $\delta D$ 平均 = -65.5%,  $\delta^{18}O$ 平均 = -10.4%

これらのことから、降水が地表に達した後、地下に浸透し、表流水が流下する間に蒸発の影響を受けて同位体組成が重くなって(同位体比が高くなっている)いるものと考えられる。降水は地下に浸透し、同位体組成としては平均化された古い降水と混合しているが、B-1の地下水はその水位がGL-1m前後と浅く、またオールストレナであるため降水の影響により季節変化が現れているものと推定される。表流水は、地下水に比べて溶存成分が少なく、地下水よりは新しい降水が浸透した後、短期間に流出してくる湧水を主体としているため、降水の影響が強く現れているものと推定される。

平成8('96)年に実施した深層ボーリング孔D-1(800~810m)は季節変化が見られず、一年を通して一定の値を示しており、深層ボーリング孔D-1(1000~1355m)についてもバルブ開放後3ヶ月目以降は、ほぼ一定の値を示している。何れも季節変化は示していない。平成8('96)年4月～平成9('97)年3月までの同位体比の平均値は以下のとおりである。平均値でみると、D-1(800~810m)の $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ ともに先に示した降水、表流水、B-1の平均値より低い値となっており、一方、



D-1 (1000~1355m)の値はともに高くなっている。

D-1 (800~810m)…… $\delta D$ 平均 = -88.7‰,  $\delta^{18}O$ 平均 = -12.7‰

D-1 (1000~1355m)…… $\delta D$ 平均 = -24.6‰,  $\delta^{18}O$ 平均 = -0.9‰

図2-6-2は、平成3('91)年7月~平成10('98)年3月の $\delta D$ と $\delta^{18}O$ の相関を示したものである。図中に示した $\delta D = 8 \delta^{18}O + 10$ は天水線 (Meteoric water line) と呼ばれ (Craig, 1961) ('3) によって示された世界各地の淡水についての関係式である。ただし、この式の切片10は地域的に細かくみた場合は、気候条件によって変化するとされており、dパラメータと呼ばれる。dパラメータは水蒸気団の生成時に決まり、その後の降水過程では変化しないと考えられている。また、dパラメータは海水が蒸発して水蒸気になるときの蒸発速度が速いほど大きくなり、dパラメータが大きいほど非平衡下での急速な蒸発を受けていることになる。そして、蒸発速度を規定するものは海面上の相対湿度が主要な要因であり、相対湿度が低いほど蒸発速度は速くなり、dパラメータは大きくなる。これまでの研究により、冬には大陸性寒気団 (シベリア気団) の出現頻度が圧倒的に多く、夏は海洋性熱帯気団 (小笠原気団) の出現頻度が多いことから、中部日本、東北日本では夏季の太平洋側からの海洋性気団のdパラメータは低く、冬は日本海側からの大陸性気団のdパラメータが高いことがわかっている。

図2-6-2に示したとおり、降水のdパラメータは 16.9 と得られ、また、表流水 No. 1 とボーリング孔 B-1 のdパラメータはほぼ等しく、それぞれ 17.8, 17.3 と得られた。また、表流水 No. 1 とボーリング孔 B-1 は、降水のプロット範囲の中央部に集中している。これらのことは、表流水 No. 1 及びボーリング孔内水 B-1 (地下水) の涵養源は降水であることを示している。深層ボーリング孔についてみると、D-1 (800~810m) のdパラメータは 13.2 であり、一方、D-1 (1000~1355m) のdパラメータは -19.5 と小さい。これらの値は現在の降水の値より低いことから、現在より温暖な時間の降水を起源とすると考えられ、現在の降水の影響を受けていないことを示している。

図2-6-3で降水のデータを夏と冬に分けて図化してみると、夏(7~9月)のdパラメータは 9.30、冬(12月~2月)は 24.82 となり、明瞭な季節変化を示している。

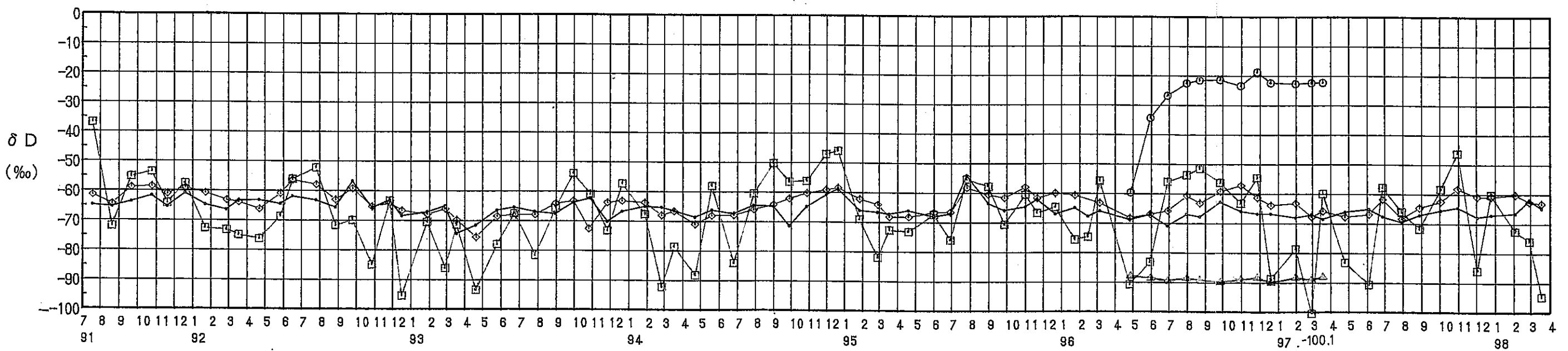
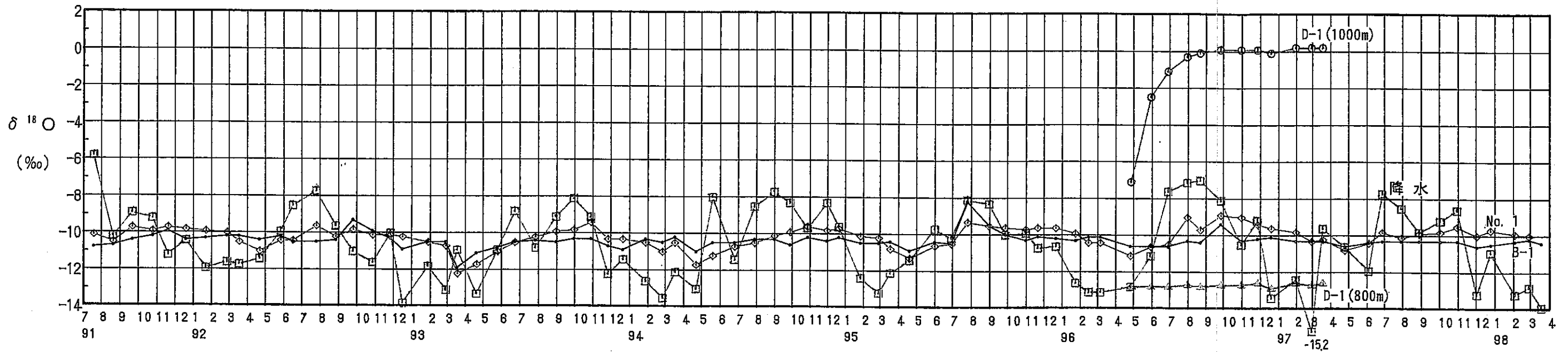
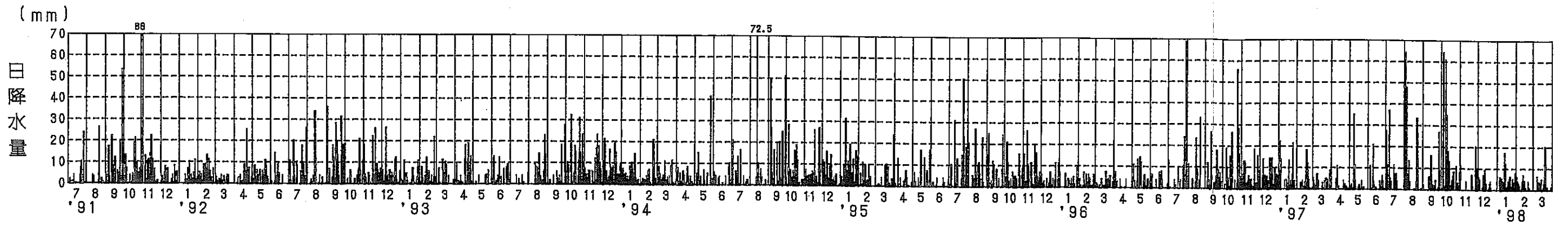
図2-6-4に平成3('91)年7月から平成10('98)年3月までの降水のdパラメータ及

び塩素イオン、ナトリウムイオンの経時変化図を示す。

dパラメータについて見ると、dパラメータは冬季に高く、夏季に低いという傾向が見られ、冬季は海面上の湿度が低く、急速な蒸発をうけてきた気団が降水となっていることがわかる。また、図中に併記した降水量の多少はdパラメータの大小と一致しており、気団の生成条件を反映しているものと考えられる。

また、塩素イオンとナトリウムイオンの経時変化について見るとdパラメータと同様に冬季に高く、夏季に低いという傾向が見られた。また、ナトリウムイオンと塩素イオンの当量比をとると、冬季には 0.8~0.9、夏季には 1.1~1.5 程度の比となっていることがわかる。

海水のナトリウムイオンと塩素イオンの当量比は 0.85 であり、冬季の降水は海水中の当量比と同じであることから、冬季の降水は夏よりも海水の影響を受けているものと推定される。このように気団の生成時の条件は、降水の水質にも反映しているといえる。



凡 例

- B-1
- ◇— No. 1
- 降水
- △— D-1(800-810m)
- D-1(1000-1355m)

図2-6-1.  
酸素同位体比 ( $\delta^{18}O$ ) と  
水素同位体比 ( $\delta D$ ) の経時変化図

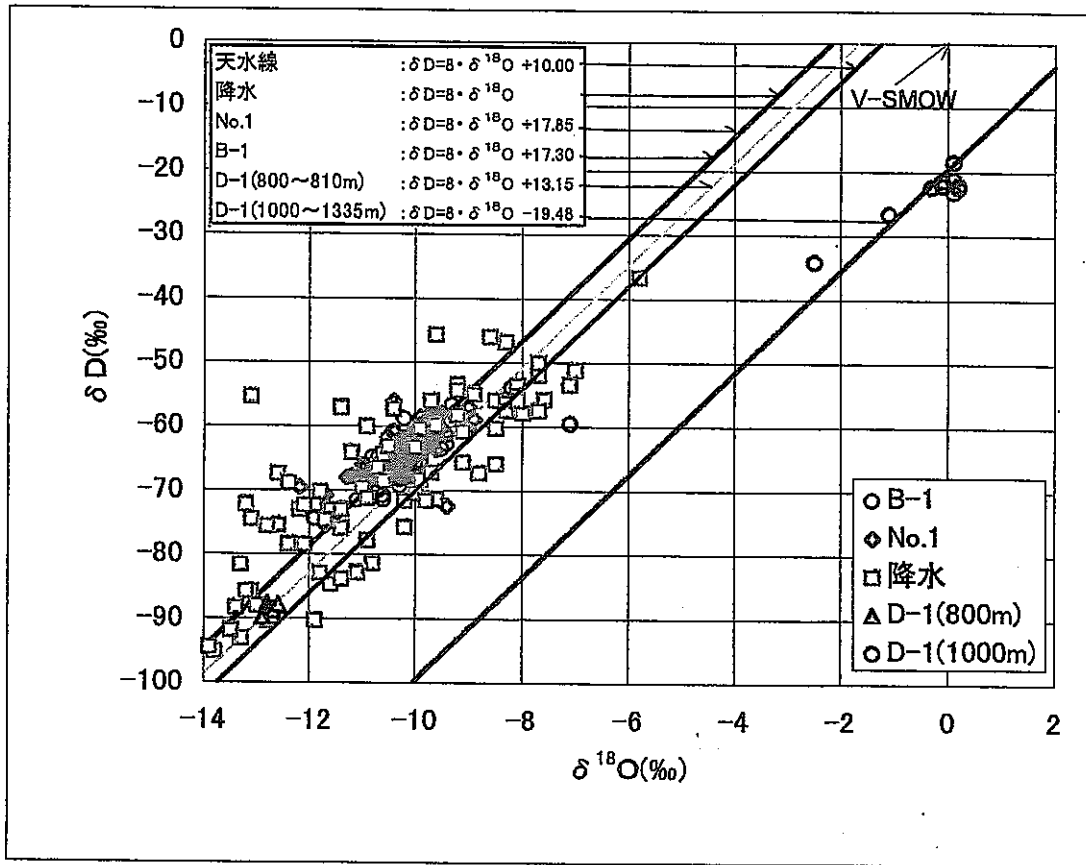


図2-6-2 水素同位体比( $\delta D$ )と酸素同位体比( $\delta^{18}O$ )の関係図  
(平成3('91)年7月~平成10('98)年3月)

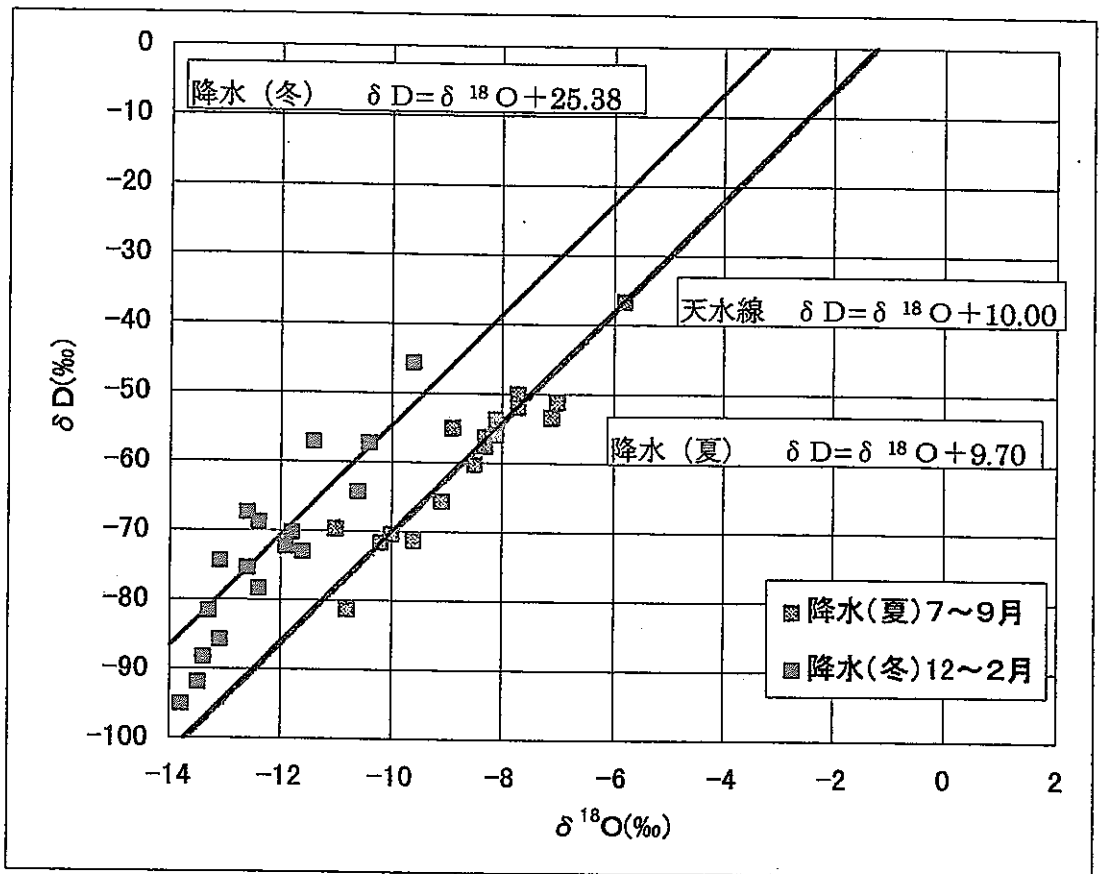


図2-6-3 水素同位体比( $\delta D$ )と酸素同位体比( $\delta^{18}O$ )の関係図  
 (降水の7~9月(夏)と12月~2月(冬))  
 (平成3('91)年7月~平成10('98)年2月)

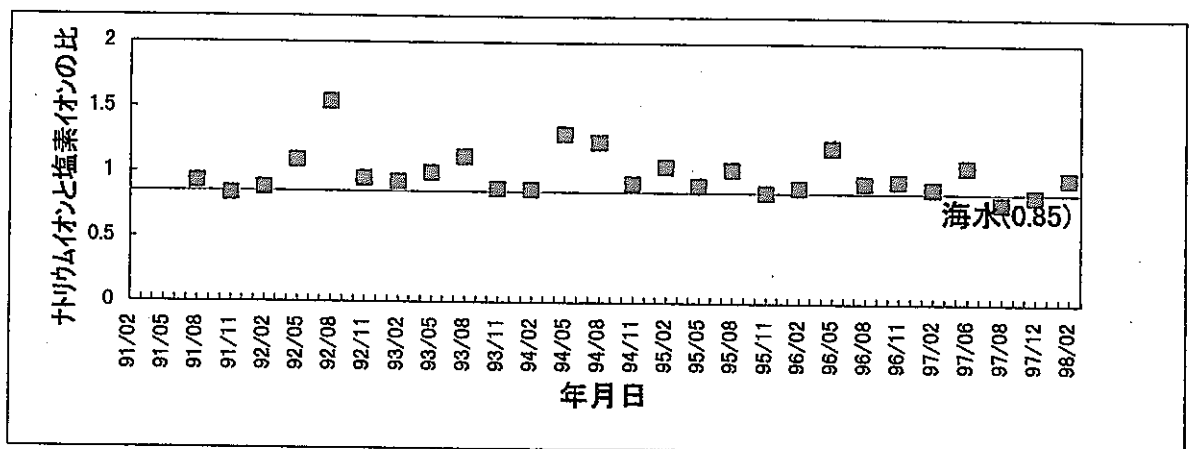
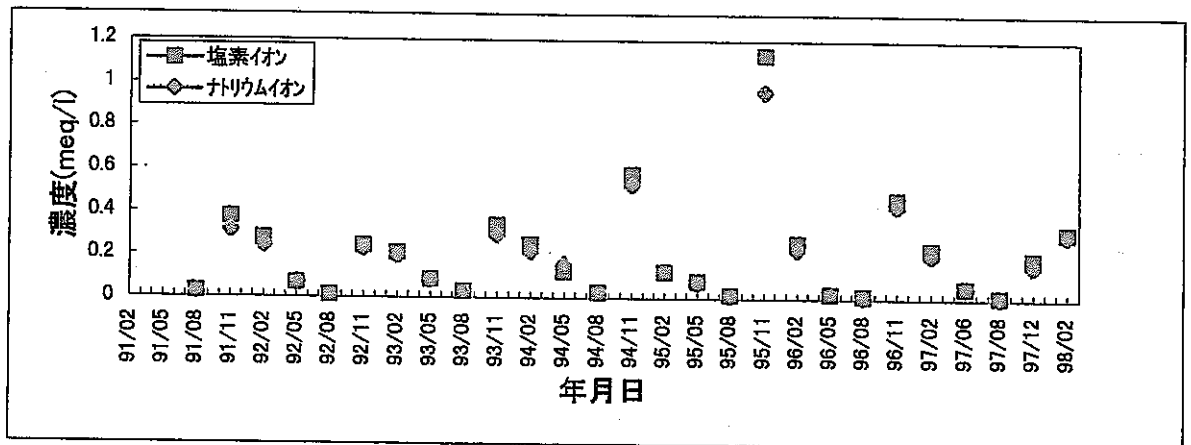
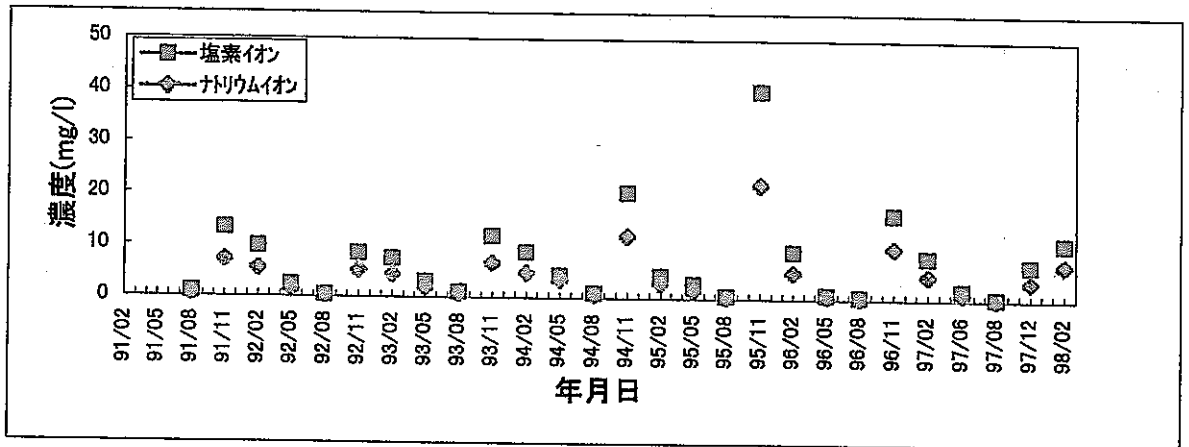
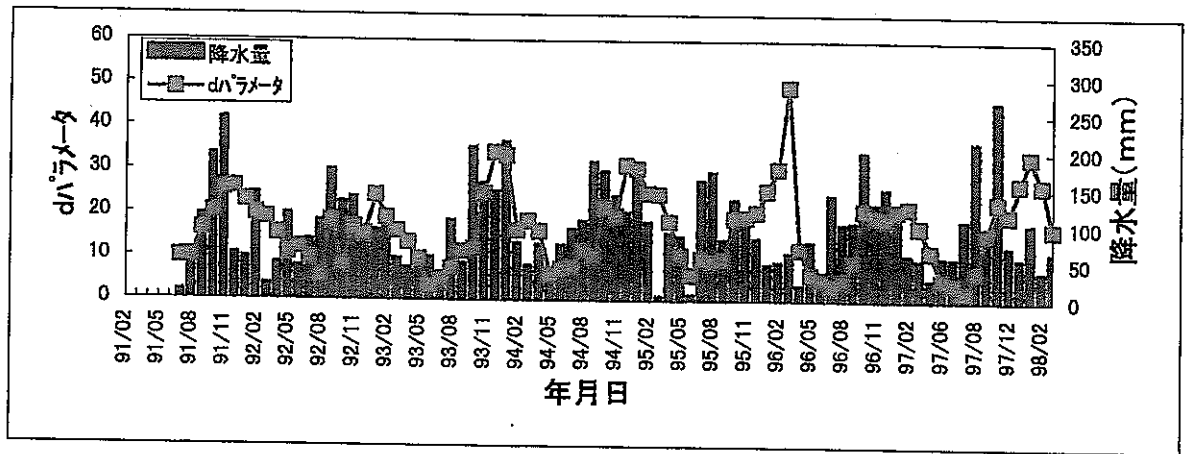


図2-6-4 dパラメータ及び塩素イオン、ナトリウムイオンの経時変化図 (1991年7月から1998年3月までのデータ)

### 3. 今後の課題

幌延地区（開進）における水文環境の現状を把握するために、主として表層部についての調査を実施した。ここでは、深層地下水も含めた水文観測の現状把握に必要な基礎資料を得るために、実施することが望ましい調査内容について述べる。

#### (1) 水質分析

深層地下水（化石水）を対象として、電気伝導率の検層を行った場合、現在市販されている、海洋対応のセンサーでは対応しきれないことが平成8（'96）年の調査で明らかになった。なお、128mS/cmまで測定可能な検層器を開発することは可能である。

深層地下水の水質が極めて海水に類似していることから、海水中に含まれているものと同じ重金属等が含まれている可能性があり、深層地下水水質の基礎資料を得るには、それらの濃度についての確認を行う必要があるものと考えられる。分析項目を表3-1に示す。なお、深層ボーリング孔の深度800m～810m区間の電気伝導率の値が降水量と対応しているかどうか定かでないこと等から、表層との水のやりとりを考えるためにも、深層ボーリング孔の一般水質分析及び同位体分析は、継続的に実施したほうが良いと思われる。

表3-1 水質分析項目

分析項目	海水中の濃度(μg/l)
カドミウム	$8 \times 10^{-2}$
水銀	$4 \times 10^{-3}$
セレン	$1.1 \times 10^{-3}$
鉛	$3 \times 10^{-3}$
ヒ素	2.3
クロム	$2 \times 10^{-1}$
フッ素	$1.4 \times 10^3$
亜鉛	$4 \times 10^{-1}$
鉄	2
銅	$2 \times 10^{-1}$
アルミニウム	2
ニッケル	$5 \times 10^{-1}$
アンチモン	$2 \times 10^{-1}$
ホウ素	$4.5 \times 10^3$
モリブデン	10
臭素	$6.8 \times 10^4$
ストロンチウム	$8 \times 10^3$
ヨウ素	$5.3 \times 10^1$

また、深層地下水については、地中での滞留時間、流下経路が長いであろうことが平成8（'96）年の水質分析の結果から推定されている。この時間を推定するために、放射性同位体を用いた年代測定を行う。分析項目を表3-2に示す。

表3-2 年代測定分析項目

分析項目	半減期
トリチウム ( $^3\text{H}$ )	12.43年
炭素14 ( $^{14}\text{C}$ )	5,730年

トリチウム ( $^3\text{H}$ ) は水素( $\text{H}$ )の同位体であり、三重水素とも呼ばれる放射性同位体である。半減期は12.43年（12.43年で数が半分になる）であり、 $\beta$ 崩壊して安定なヘリウム-3 ( $^3\text{He}$ ) になる。

トリチウムの生成は2通りに分けられ、1つは高層の大気中で宇宙線によって生じるもの、もう1つは、1952年頃から盛んに行われるようになった水爆実験により生成供給され生じたもので、降水中のトリチウム濃度が著しく増大した（図3-1）。

測定地 1953年1月～1976年11月：東京  
 1976年12月～1980年12月：筑波  
 1981年1月～1988年3月：千葉

1963年頃をピークとして（部分核停止条約）、以降減少している。現在では、水爆実験が行われる前の環境濃度と同じ 10T.U. 前後あるいは5～15T.U. の値を示しているといわれている。

これらのことを用いて、年代推定を行うために分析を行う。

炭素14 ( $^{14}\text{C}$ ) は、地下水の年代決定に用いられ、約50年までの新しい水には半減期12.43年のトリチウムが有用であるが、トリチウムで検出できない古い水に対しては、 $^{14}\text{C}$  がほとんど唯一の天然トレーサである。しかし、地下水中には、土壌ガス中の  $\text{CO}_2$  や、 $^{14}\text{C}$  をほとんど含まない炭酸塩などの固相に由来する炭酸成分が含まれるため、その全炭素から年代決定に無効な炭素を除かなければならない。そのため、一般には、pH、温度、化学成分のほか  $^{13}\text{C}$  の分析を並行し、溶存炭酸成分間の平衡、同位体変換などの諸過程を見積もり、有効な  $^{14}\text{C}$  の初期濃度を定めなければならない。



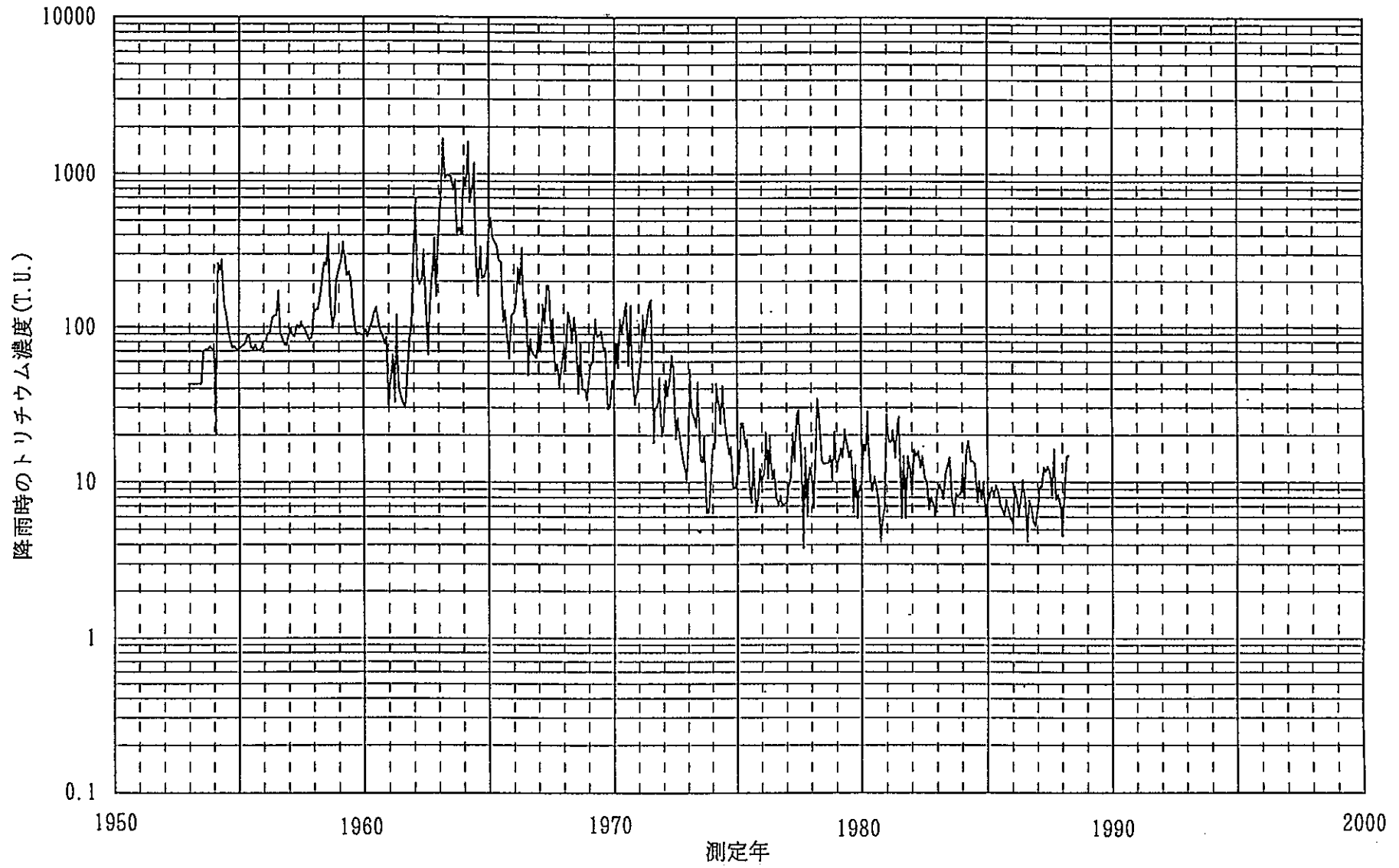


図3-1 降水中のトリチウム濃度 (Sanjo, 1990)<sup>(5)</sup> から引用

## (2) 湧水量

平成8('96)年に実施したD-1孔における月1回の湧水量の測定結果から、降水量の大小に関連するとD-1孔も考えられる湧水量の変化がD-1孔(800~810m)において見られた。この深度にまで降水の影響が及んでいるとすれば、深層地下水も含めた当地区における地下水の循環を明らかにする基礎資料が得られることが期待できる。短期的な降水の影響を確認するには、湧水量の連続観測(図3-2)が有用であると考えられる。

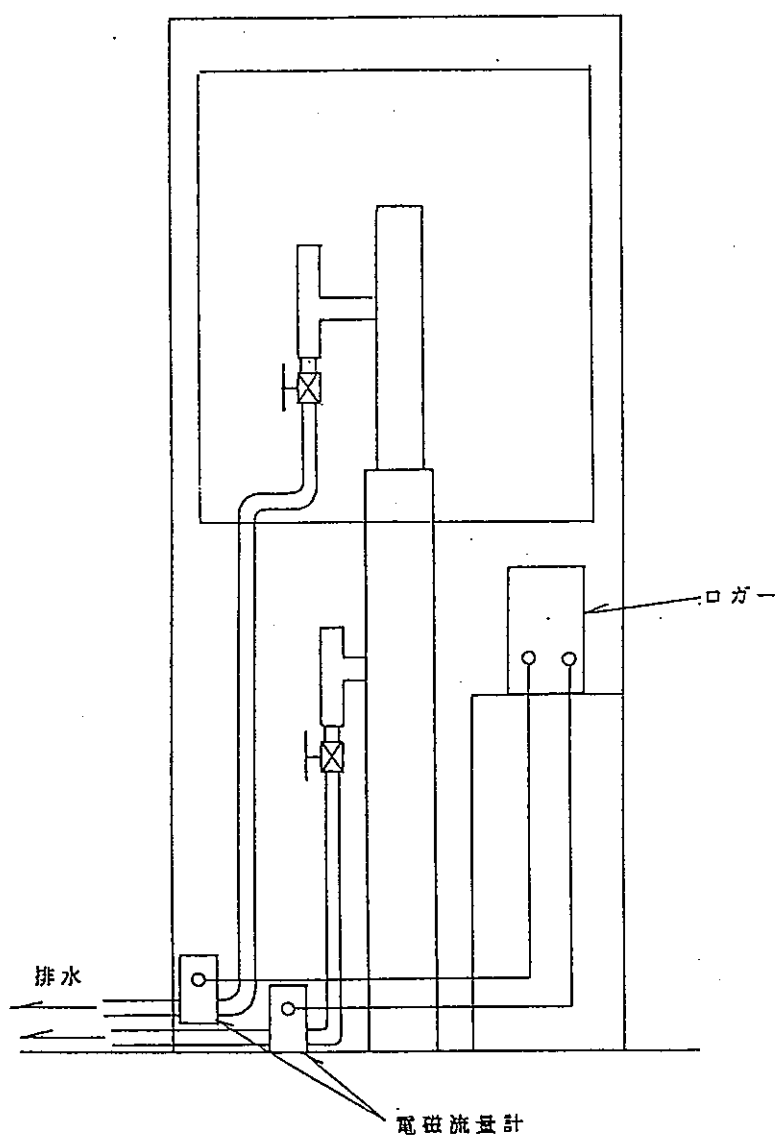


図3-2 湧水量連続観測模式図

[参考文献]

- (1) 動力炉・核燃料開発事業団(1990), 堆積岩を対象とした地下水研究に係る地下水・土壌水分観測装置試験報告書
- (2) 山本荘毅(1983), 新版地下水調査法. 古今書院, 281-286
- (3) Craig, H (1961) Science133. 1702-1703
- (4) 早稲田 周・中井信之(1983) 中部日本・東北日本における天然水の同位体組成. 地球化学, 17, 83-91
- (5) Sanjo (1990), ACADEMIC PRESS New York

注) 参考文献の(1)~(4)までは、報告書本編で引用文献として用いられているものである。本報告書概要では、(5)の文献のみが文章中で引用されている。