

# 幌延地区地下水調査

(平成7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 98-014	1998.9.30
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		

1996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7年度)

報告書概要

1996年3月

応用地質株式会社

# 目 次

	頁
1. 調査概要 .....	1
2. 調査結果及び検討・解析 .....	3
2. 1 気象の状況 .....	3
2. 2 地下水の状況 .....	6
2. 3 土壌水分の状況 .....	11
2. 4 水質の状況 .....	17
2. 5 降水と土壌水分及び地下水との関連 .....	22
2. 6 降水と地下水及び表流水との関連 .....	24
3. 今後の課題 .....	31

幌 延 地 区 地 下 水 調 査

奥村興平\*，北岡 幸\*

堀 雅明\*，平野嘉隆\*

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を継続観測するとともに、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ものである。

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する。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。

---

本報告書は、応用地質株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号：072C0011

事業団担当者：環境技術開発推進本部 地層科学研究グループ，秋山 泰久

\*：技術本部 環境計画部

## 1. 調査概要

### (1) 件 名

幌延地区地下水調査（平成7年度）

### (2) 目 的

本調査は、北海道天塩郡幌延町開進地区での地下水観測、土壌水分観測並びに表層水（河川水等）の水質調査を実施し、降水量等の気象データと関連させて、幌延地区の水文環境の現況を把握することを目的とした。

### (3) 実施範囲

調査項目及び調査数量表を表1-1に示し、調査地点位置を図1-1に示した。

### (4) 調査期間

平成7年4月1日～平成8年3月31日

表1-1 調査項目及び数量表

調 査 項 目		期 間 及 び 内 容	数 量	
地下水観測	観 測	H. 7. 4月1日～H. 8. 3月31日	12ヶ月	
	データ回収及び 観測機器の保守点検	H. 7. 4月～H. 8. 3月 月1回	12 回	
	データ整理	H. 7. 1月1日～H. 7. 12月31日	12ヶ月	
土壌水分観測	観 測	H. 7. 4月1日～H. 8. 3月31日	12ヶ月	
	データ回収及び 観測機器の保守点検	H. 7. 4月～H. 8. 3月 月1回	12 回	
	データ整理	H. 7. 1月1日～H. 7. 12月31日	12ヶ月	
採水及び水質分析	採 水	一 般 水 質	H. 7. 5月, 8月, 11月, H. 8. 2月 3 試料×12回	12試料
		同 位 体 比	H. 7. 4月～H. 8. 3月 月1回 3 試料×12回	36試料
	分 析	一 般 水 質	・水温, pH, 電気伝導率 ・主要10成分(注) 3 試料×4回	12試料
		同 位 体 比	$\delta D, \delta^{18}O$ 3 試料×12回	36試料
気象データ整理	降水量 気温 蒸発量 気圧	H. 7. 1月1日～H. 7. 12月31日	12ヶ月	
検討・解析	降雨浸透状況	—	一 式	
	気象と土壌水分及び 地下水との関連	—	一 式	
	地下水位変動の特徴	—	一 式	

(注)  $Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-, (NO_2^-+NO_3^-)-N, NH_4^+-N, SiO_2$



図1-1 調査地点位置図



## 2. 調査結果及び検討・解析

### 2-1 気象の状況

日降水量、日蒸発量、日平均気温及び日平均気温を平成2('90)年5月から平成7('95)年12月までの経時変化図として図2-1-1に示した。

#### (1) 降水量

平成7年1月1日から平成7年12月31日までの1年間の合計降水量は1219.5mmであった。この5年間の降水量を見ると平成4('92)年が1160.0mm、平成5('93)年が1137.5mmと少なく、平成3年度が、1251.0mmで、平成6年は1264.5mmと多かった。平成7年はこの5年間の平均的な値となっている。

平成7年は、夏そして、秋から冬かけても降水量が多く、1年間の季節変化はこれまでと同じ傾向が見られた。表3-1-1に示した月別の降水量で見ると平成7年度は1月、7月～11月が102.0～199.5mmと多く、その他の月は11.5～70.5mm程度であった。平成7年の最大日降水量は7月24日の50.5mmあった。

#### (2) 蒸発量

平成7年4月13日までと平成7年11月18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7年5月～10月で見ると月蒸発量は6月が64.0mmと比較的多く、その9月は15.5～37.6mmと比較的少なかった。

#### (3) 気温

経時変化図で明らかなように7～8月が20℃前後と高く、11月～3月が-10～5℃と低い明瞭な季節変化を示している。

平成7年の日平均最高気温は平成7年7月13日の23.6℃で、瞬時値では平成7年7月10日に最高気温28.7℃を記録している。また、日平均最低気

温は平成7年1月17日の $-19.2^{\circ}\text{C}$ で、瞬時値は平成7年2月6日7時に $-26.5^{\circ}\text{C}$ が記録されている。

#### (4) 気圧

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。短期的には降雨（雪）時に気圧が低下し、無降雨時に高くなっている。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7年の日平均最高気圧は平成7年3月15日の $1024.6\text{mb}$ で、日平均最低気圧は平成7年11月9日の $977.6\text{mb}$ であった。

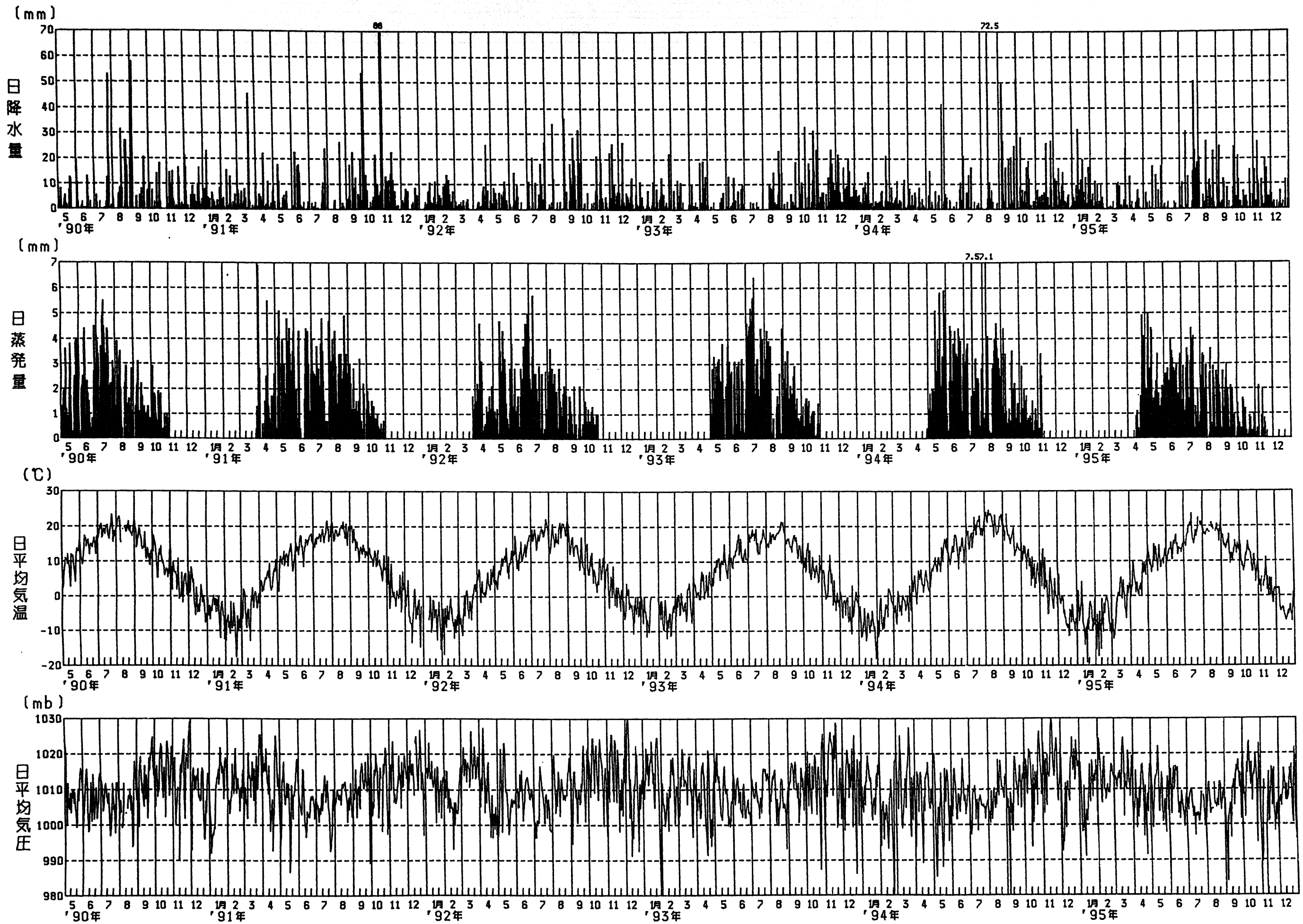


図 2 - 1 - 1 降水量・蒸発量・気温・気圧経時変化図

## 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のデータ記録間隔(頻度)は観測開始から平成2('90)年4月までは1日当たり1回で、それ以降は2時間毎(1日当たり12回)の記録データである。

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E.L.13mで、地下水位は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月か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月中旬・下旬まではわずかに小刻み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月が平成2('90)年、4('92)年、5('93)年、6('94)年に比べて高いのは表4-1-1及び表4-1-2

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。今年度の夏季～秋季は降雨が多かったため、これまでに比べて水位が高い。

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

表2-2-2 4月の月平均気温・地下水位

年	気温(℃)	地下水位(E.L.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

尾根部のB-2は地盤標高がE.L.21.0mで、地下水位は約GL-10.1～-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0.3m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、水位が上昇し始め、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づつ上昇を示

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E.L.25mで、水位は冬～春季にはほぼ地盤面付近にあり、夏～秋季にGL0～-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盤面にあり、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盤面に戻る。

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6('94)年の代表的な降雨時の降雨量との関係をプロットすると図2-2-2のようになる。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ことによ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は降雨量5mm以上で水位が上昇し始めることを示しており、この5mmの降雨は不飽和部に保水される量であると考えられる。

また、下段のB-5の場合は、降雨量が0mmでも約7cmの水位上昇があることになるが、これは降雨のほか先に述べたように河川水からの供給があるためと考えられる。

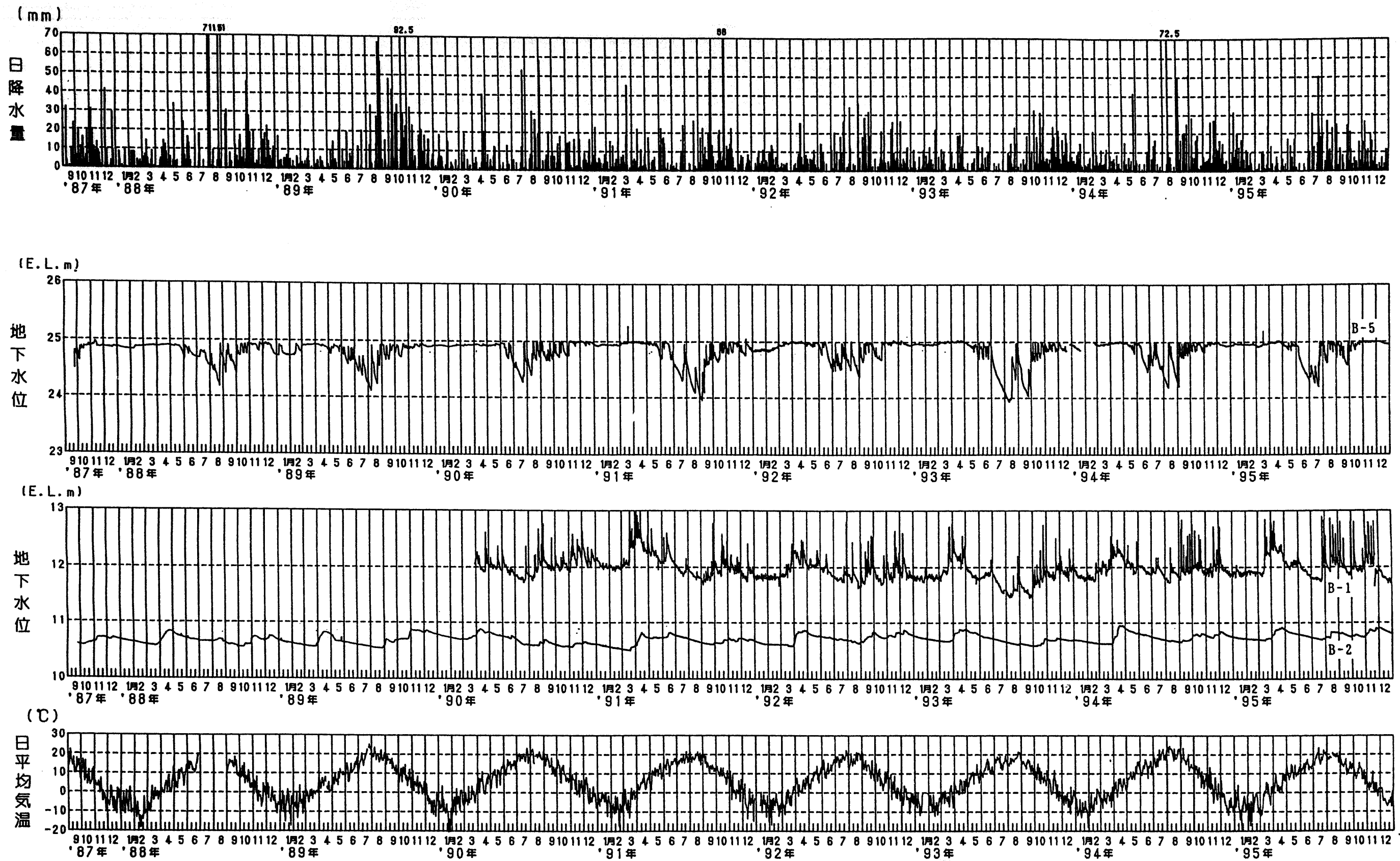


図 2 - 2 - 1 地下水位経時変化図 (観測開始から全期間)

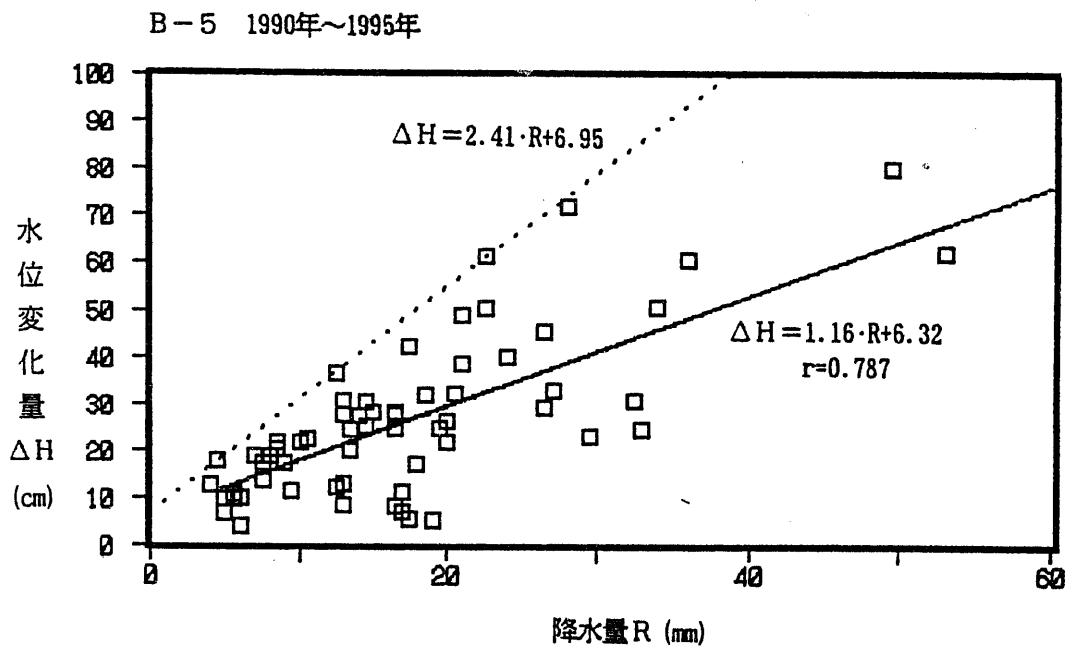
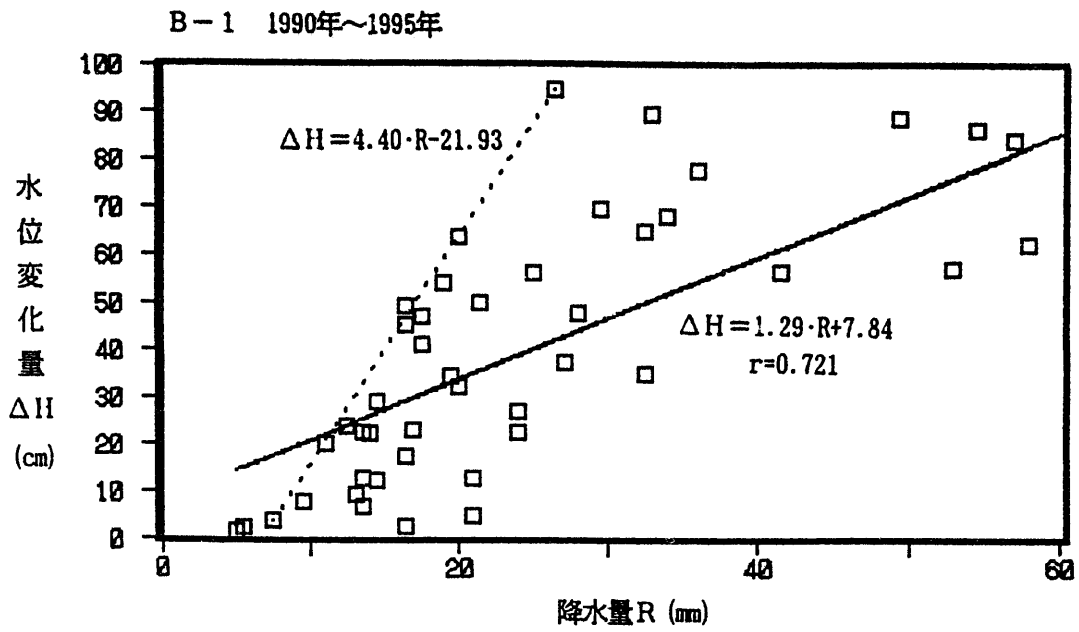


図 2 - 2 - 2 降水量と地下水位上昇量の相関図



## 2. 3 土壤水分の状況

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。

土壤水分についても、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4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。

表2-3-1に平成2（'90）年～平成7（'95）年（6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0cm H<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50cm H<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

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 (℃)	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
平均	7月	91.0	18.7	-167.9	-141.8
	8月	160.0	19.3	-132.0	-76.8

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。

次に、全水頭の経時変化をみると、平成2('90)年～平成4('92)年、平成6('94)年の7月あるいは8月そして平成7('95)年6月のように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)～平成7('95)年の7月、あるいは8月のほとんど降雨がない時期は、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壌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壌水分は移動するが、微細な孔隙に保持されている土壌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、圧力水頭が著しく低下した平成7（'95）年6～7月の降雨前後、図2-3-3には圧力水頭がほとんど変化しない平成7（'95）年9～10月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壌水分は移動する。逆に、勾配が負（右下がり）の場合は、土壌水分は上向きに移動する。図2-3-2は平成7（'95）年6月5日～6月30日まで降雨の少ない日が続き、7月4～29日にまとまった雨がいった後の全水頭深度変化図を示している。7月4日の降雨前

はGL-100cm以浅が負の勾配となっている。そして、降雨後（7月4日以降）にはほぼ正の勾配となっている。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7年6月の場合はゼロフラックス面がGL-100cmであり、このときは地下水面から地表に向かって土壤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壤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、土壤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7（'95）年9～10月）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、土壤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。

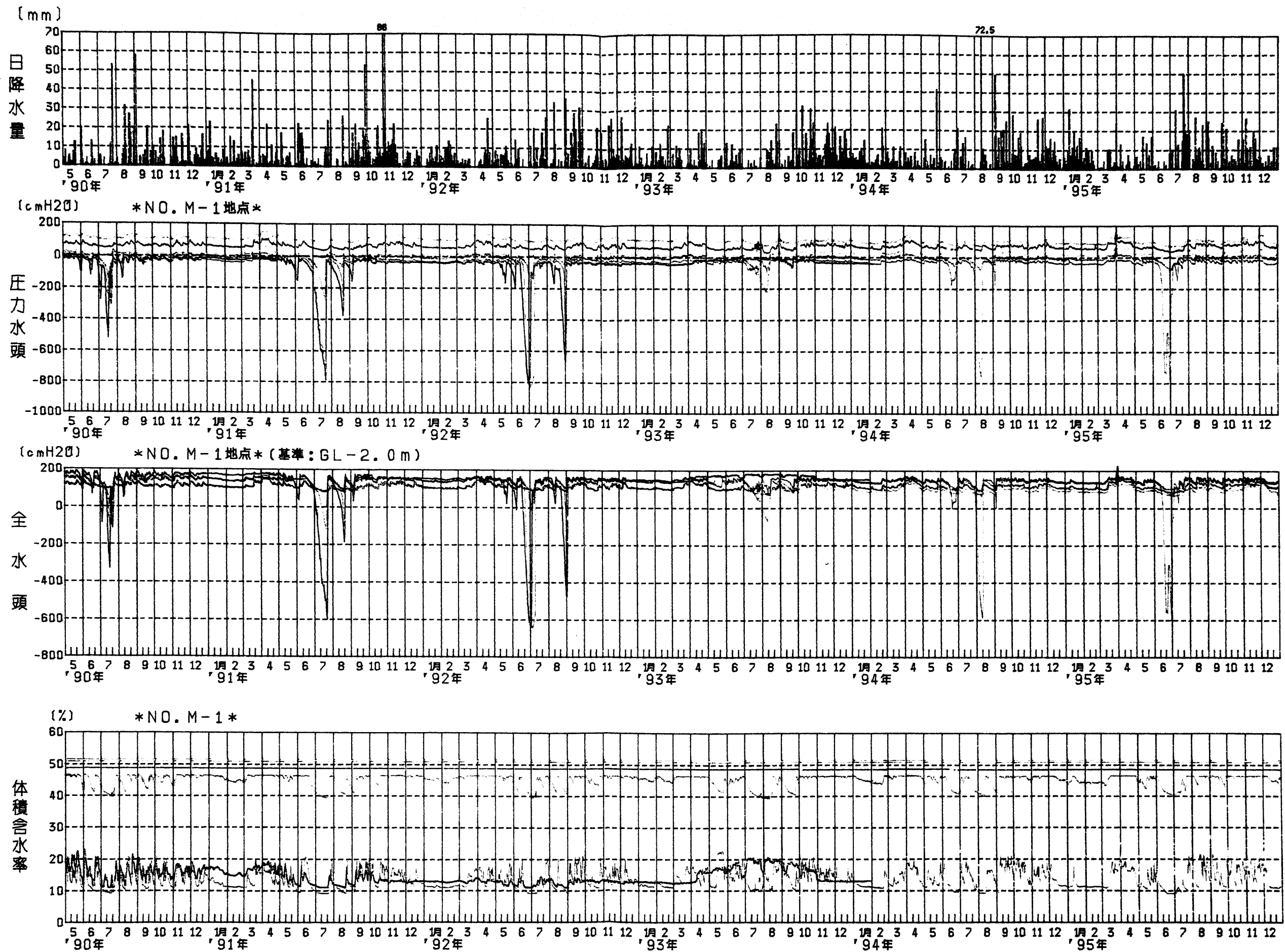


図 2 - 3 - 1 土壤水分経時変化図 (観測開始から全期間)

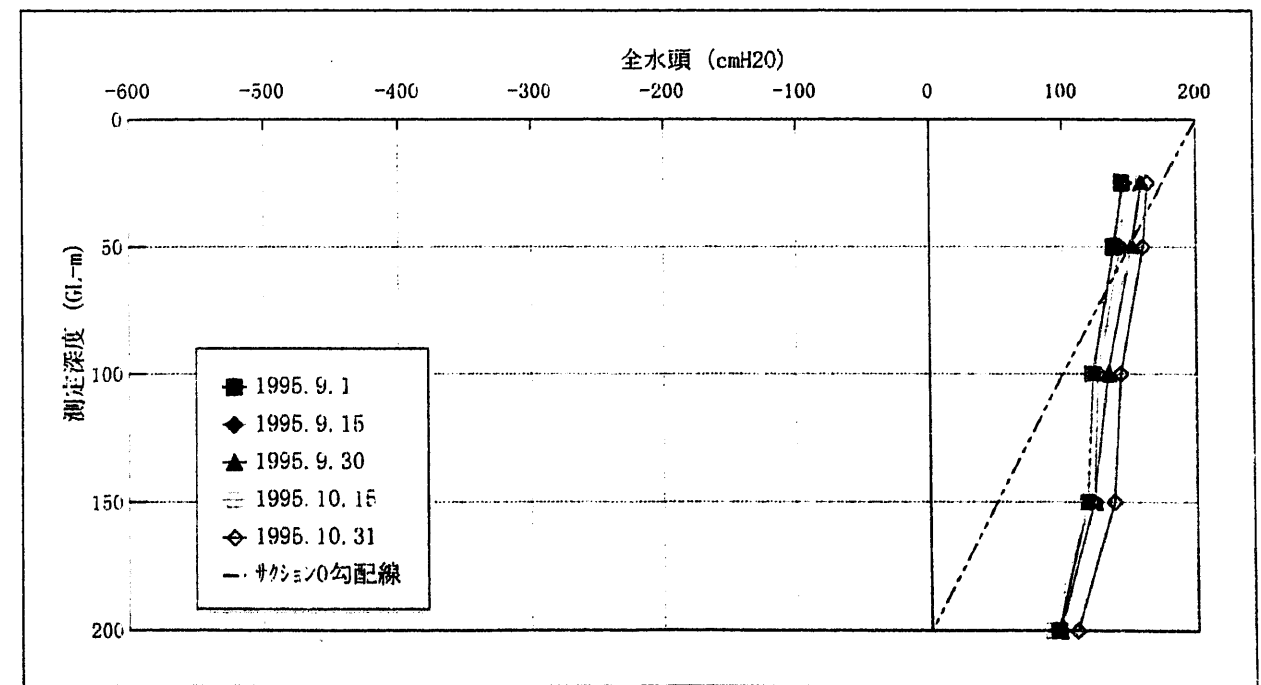
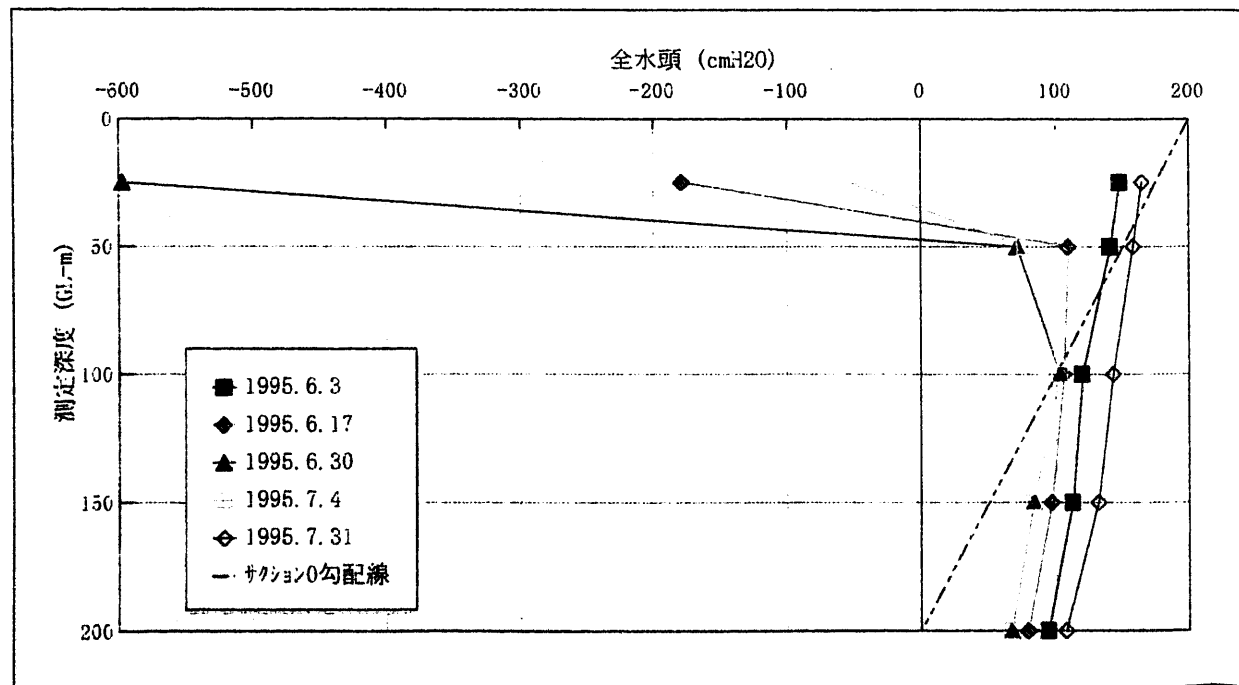
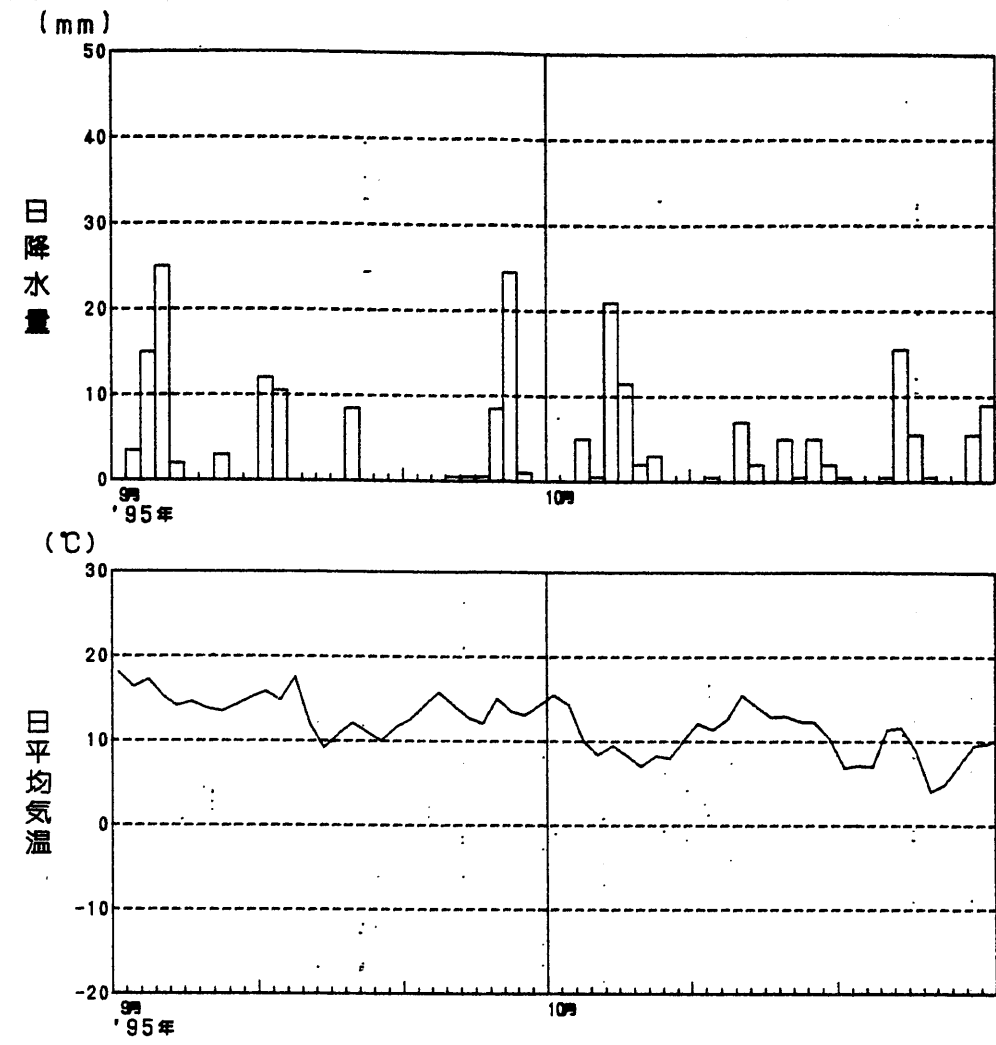
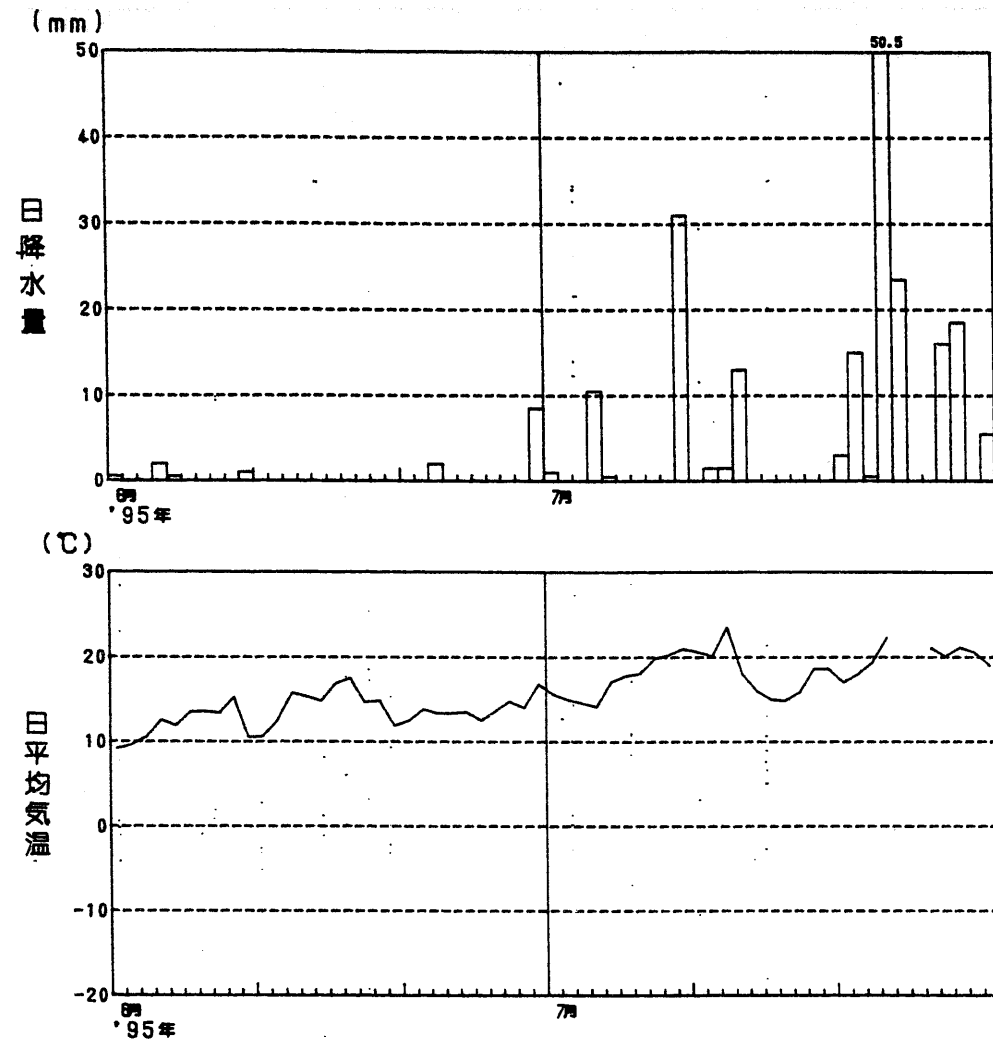


図 2 - 3 - 2 全水頭深度変化図 (渇水期)

図 2 - 3 - 3 全水頭深度変化図 (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。

それによると、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月、9月、12月～平成8('95)年3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7～86  $\mu\text{S}/\text{cm}$ で、ほぼ年間を通して表流水No.1及びボーリング孔内水B-1(地下水)に比べて低く、特に夏季は20～40  $\mu\text{S}/\text{cm}$ と低い値を示す。

表流水No.1は、冬季でも凍結せず、わずかに流水が認められた。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7年4月～平成8年3月:0.0～15.8 $^{\circ}\text{C}$ )。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60～90  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 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月、9月、平成6('94)年8月のように夏期の降雨の少ない時期に100～200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 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。

ボーリング孔内水B-1(地下水)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6年4月～平成7年3月:3.6～15.9 $^{\circ}\text{C}$ )。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、測定地点(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。地下水のpHは、

約5.6～6.0で変動し、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月及び平成5('93)年3月、11月、平成6('94)年9月及び平成7('95)年7月、11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、電気伝導率は平成3('91)年7月から平成7('95)年3月まで徐々に高くなる傾向が認められる。

現地測定 of 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 of 電気伝導率と現地測定 of 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 of 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ており、今後は200 $\mu$ S/cmの値になるものと推定される。

以上のように降水と表流水No.1及びボーリング孔内水B-1(地下水)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まった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及びボーリング孔内水B-1(地下水)地下水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8('96)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7('95)年5月～平成8('96)年2月までの結果を示した。

ボーリング孔内水B-1(地下水)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は四季を通じて典型的な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。また、平成3('91)年～7('95)年の各年とも、8月は他の季節に比べて電気伝導率が高く、かつ、ヘキサダイアグラムの形状も異なっている(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>が多い)。これは、各年度とも7月、8月は降雨が少なかったため、地下水流出の割合が多くなっているものと考えられる。

降水はボーリング孔内水B-1(地下水)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。

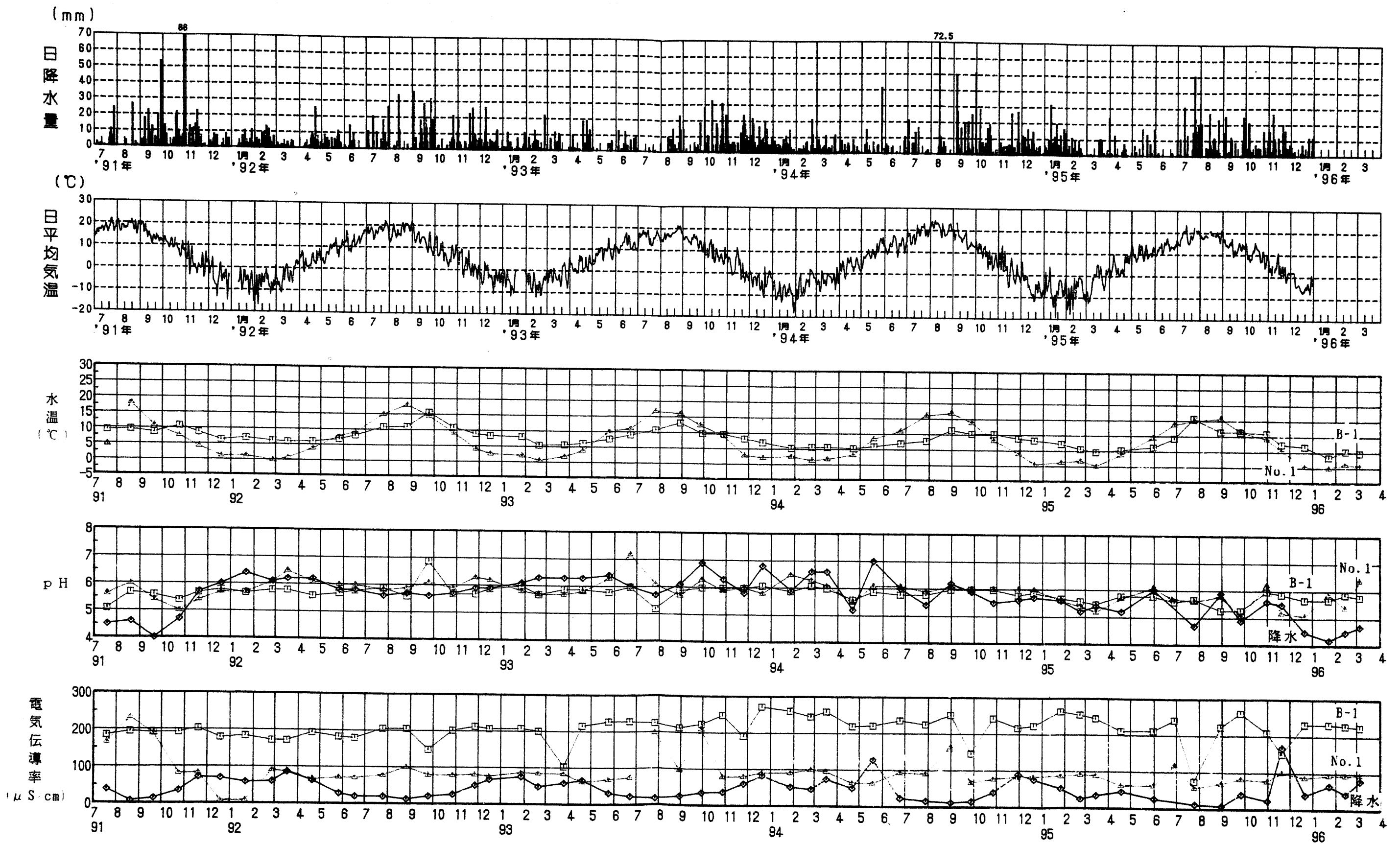
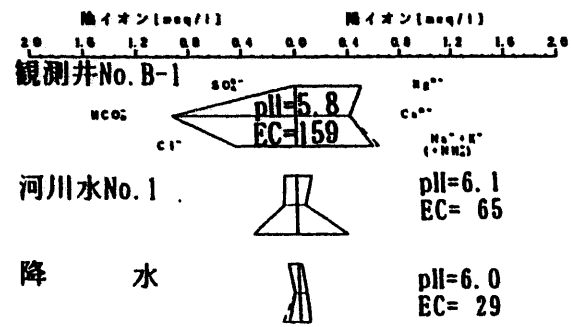
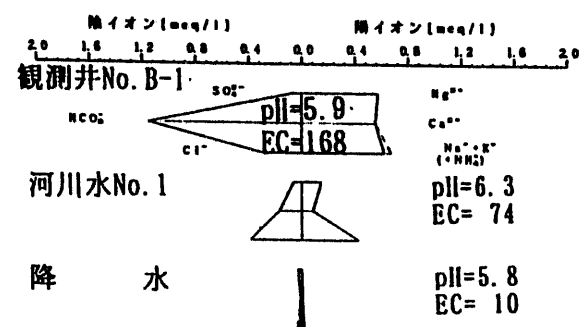


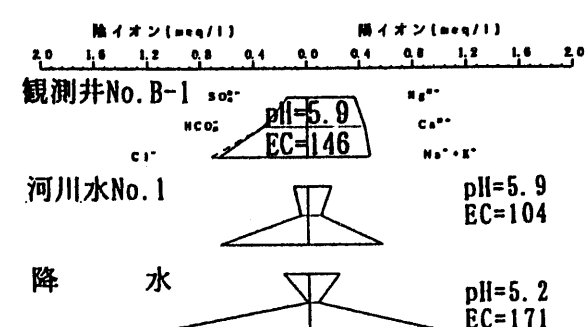
図 2-4-1 現地測定, 水温, pH, 電気伝導率経時変化図



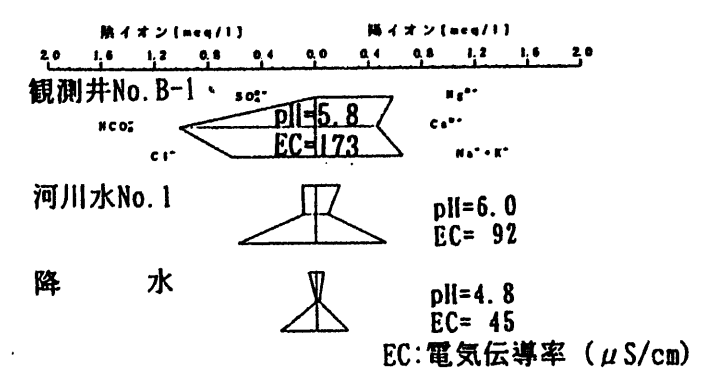
平成7年 5月 31日



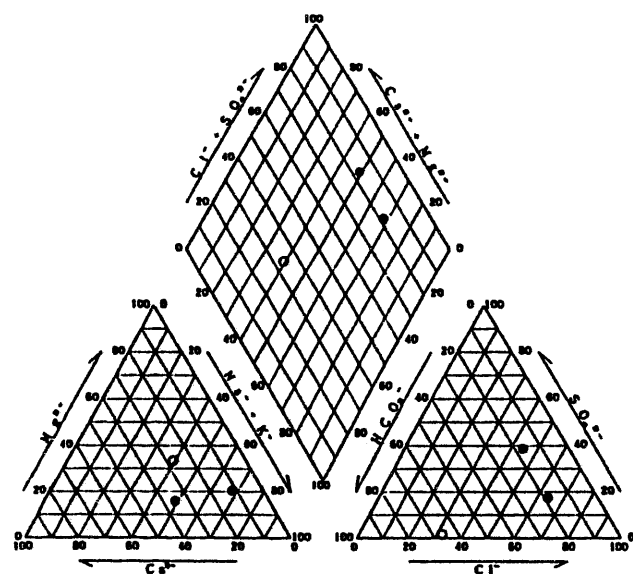
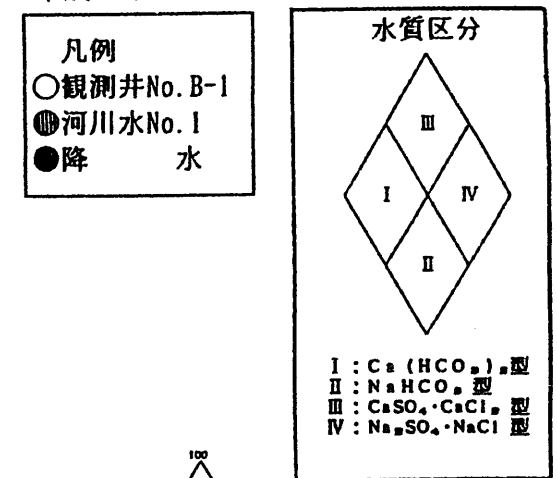
平成7年 8月 30日



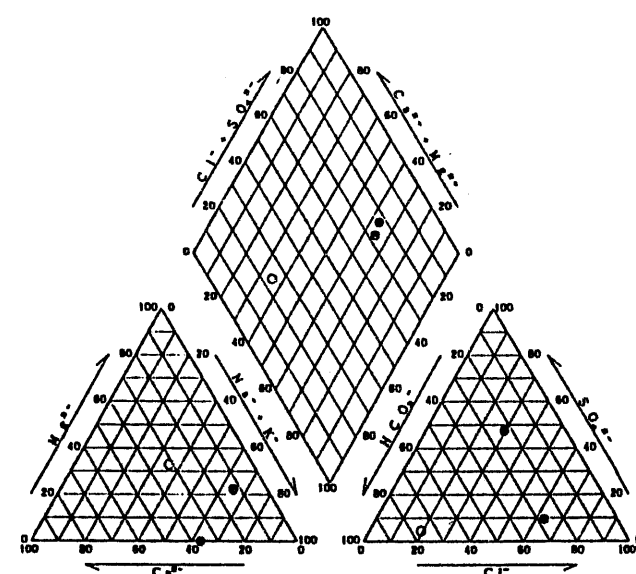
平成7年11月 20日



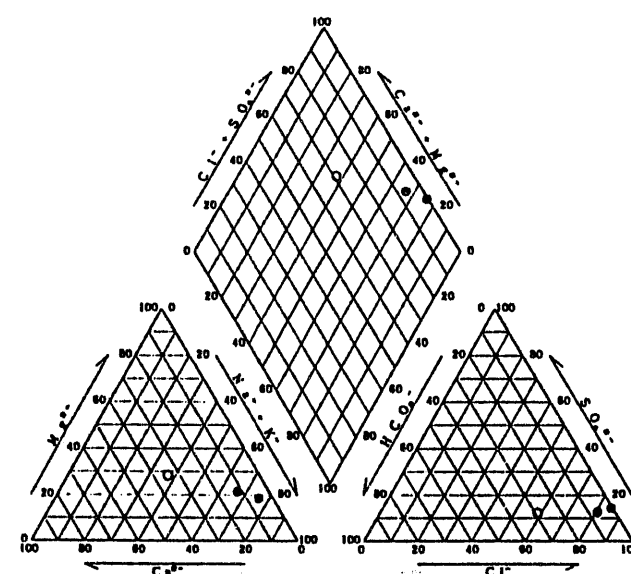
平成8年 2月 14日



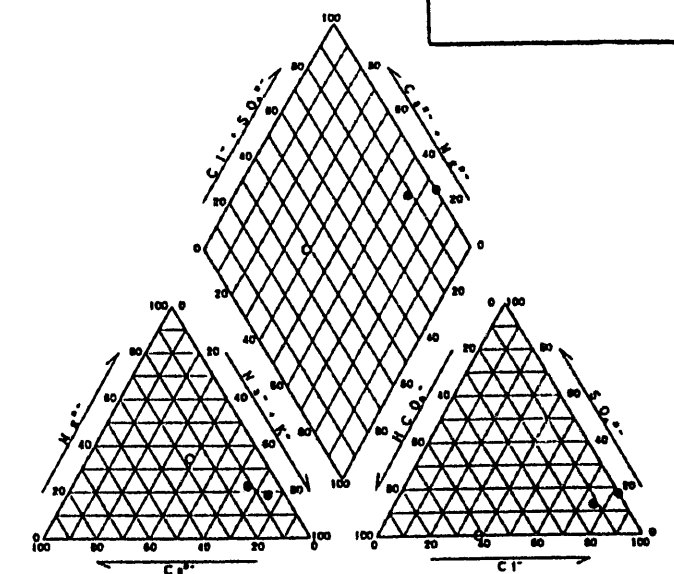
平成7年 5月 31日



平成7年 8月 30日



平成7年11月 20日



平成8年 2月 14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 降水と土壤水分及び地下水との関連

降水と土壤水分及び地下水位の関連をみるため、図2-5-1に土壤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、土壤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月～8月の全水頭の著しく低下したときの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月～8月、平成6（'94）年8月の全水頭及び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、不飽和部の土壤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。

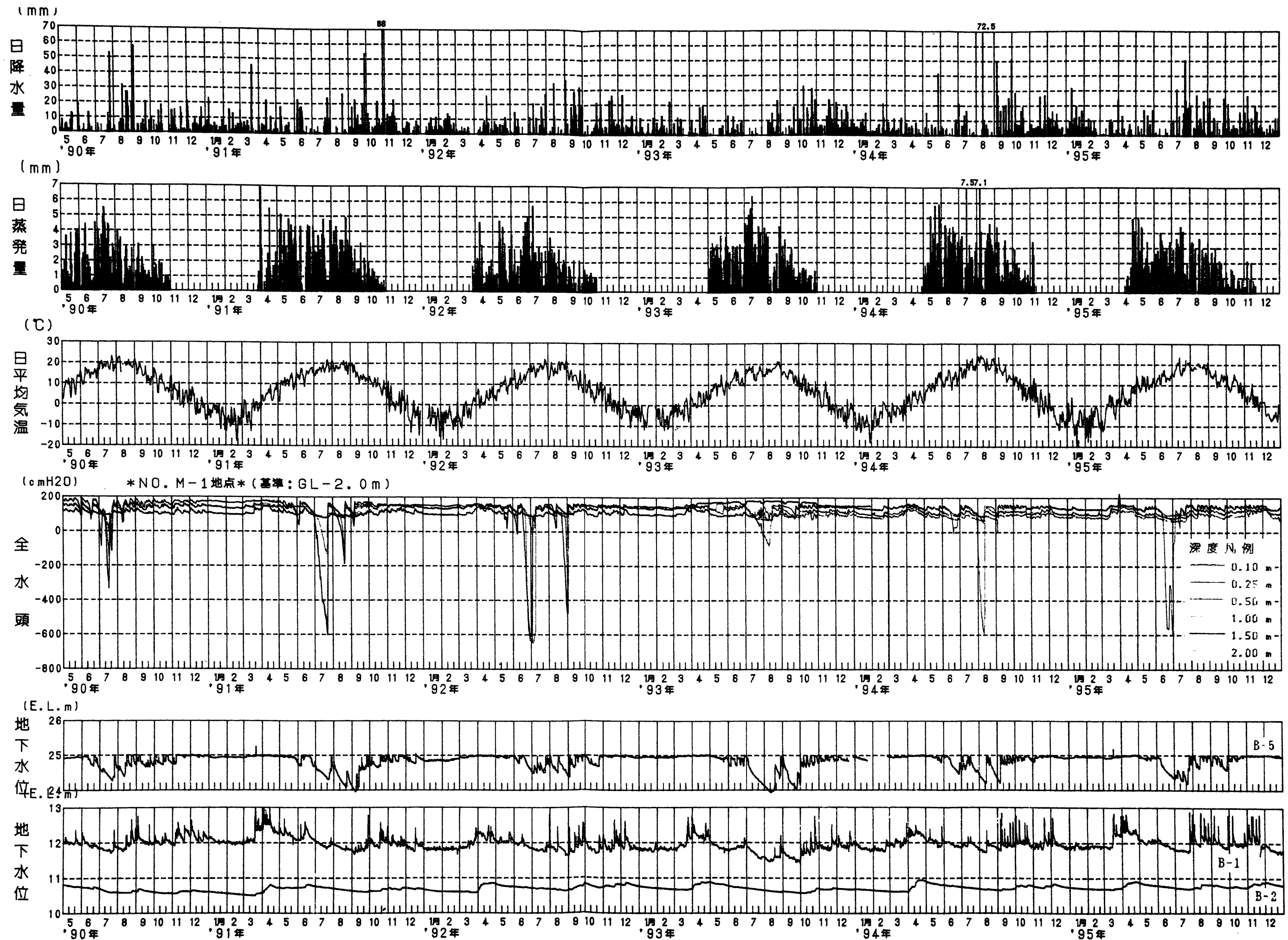


図 2 - 5 - 1 降水量・蒸発量・気温・全水頭・地下水水位経時変化図

## 2. 6 降水と地下水及び表流水との関連

降水とボーリング孔内水B-1（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、降水の同位体比は表流水No. 1及びボーリング孔内水B-1（地下水）に比べて変動が大きく、夏期以外は表流水No. 1とボーリング孔内水B-1（地下水）に比べて低いことが多い。また、降水の $\delta D$ 及び $\delta^{18}O$ は夏高く、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及びボーリング孔内水B-1（地下水）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及びボーリング孔内水B-1（地下水）の平成3（'91）年7月～平成7（'95）年12月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、ボーリング孔内水B-1よりも、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 = -66.0‰,  $\delta^{18}O$  平均 = -10.4‰

表流水 …  $\delta D$  平均 = -63.4‰,  $\delta^{18}O$  平均 = -10.2‰

地下水 …  $\delta D$  平均 = -64.9‰,  $\delta^{18}O$  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、地下水位がGL-1m前後と浅くオールストレータであるため、降水の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、よって、降水の影響が強く現れているものと推定される。

図2-6-2は平成3（'91）年7月～平成7（'94）年12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) 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は低く、冬は日本海側からの大陸性気団のd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パラメーターは17.2と得られ、また、表流水No.1とボーリング孔内水B-1(地下水)のdパラメーターはほぼ等しく、それぞれ18.2, 18.3と得られた。また、図2-6-3に示すように降水のプロットは夏(7~9月)は天水線にほぼ沿っているが冬(12月~2月)は天水線から上方に離れてプロットされている。また、表流水No.1とボーリング孔内水B-1(地下水)は降水で囲まれた中央部に集中してプロットされている。

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。

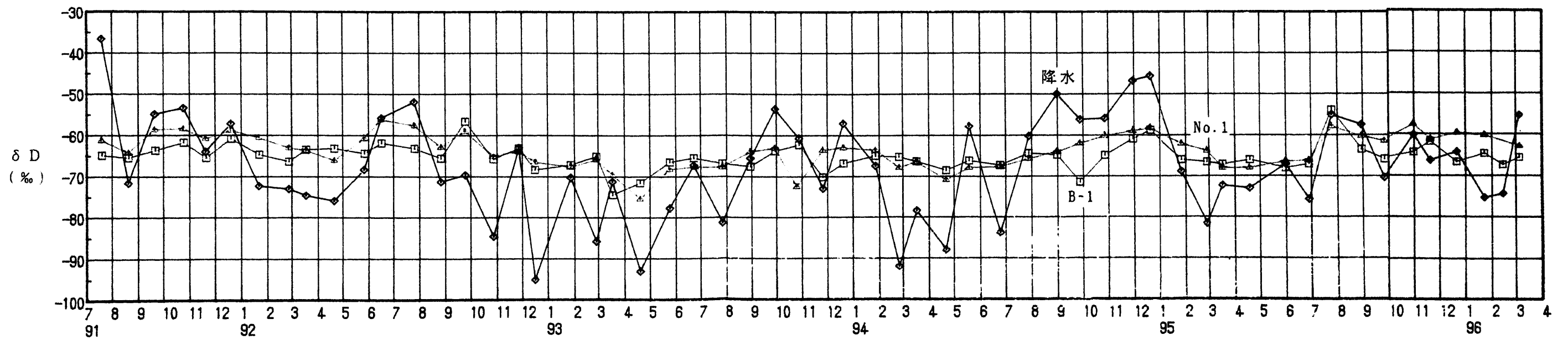
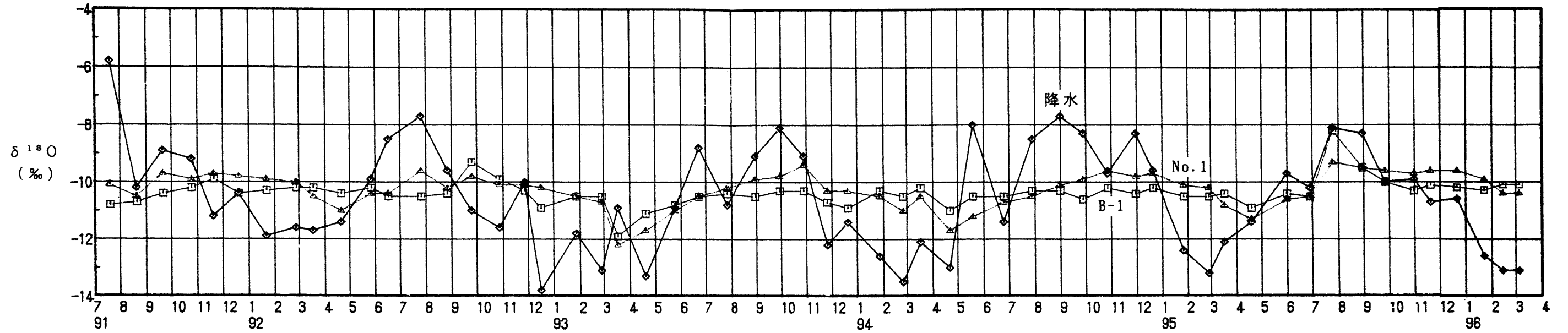
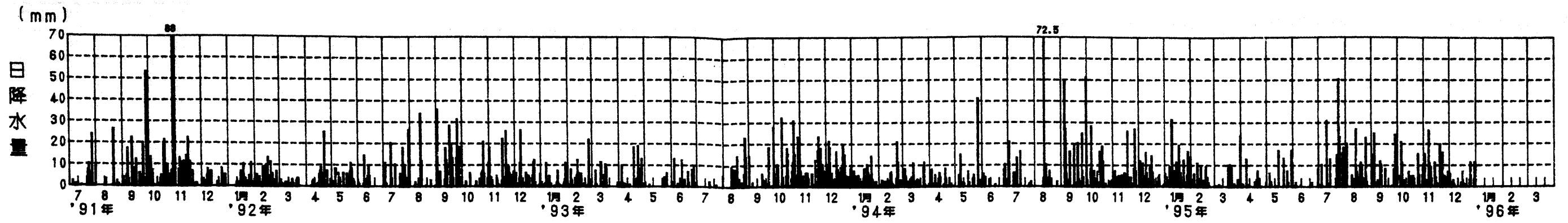


図2-6-1 酸素同位体比 ( $\delta^{18}O$ ) と水素同位体比 ( $\delta D$ ) 経時変化図



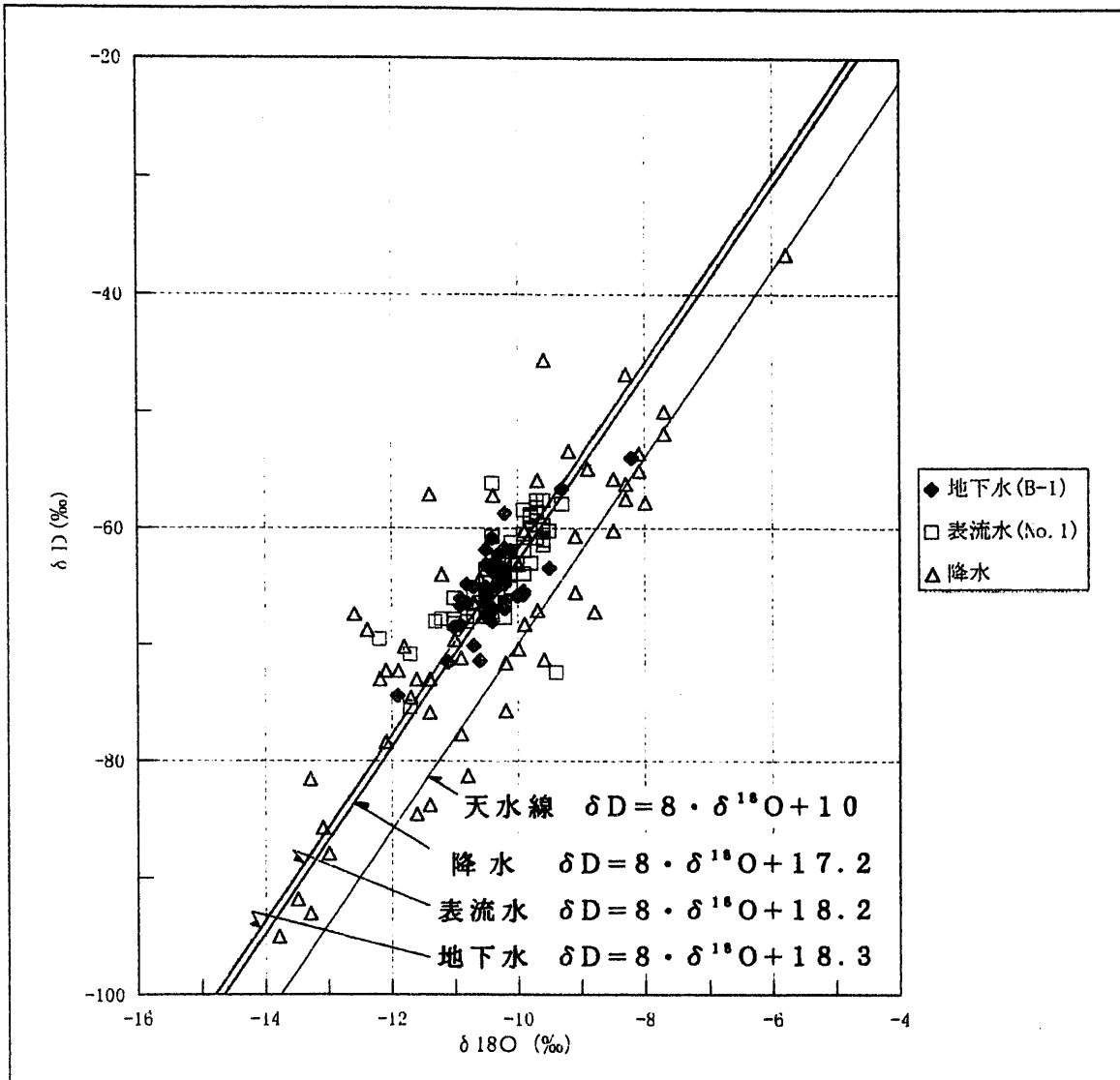


図 2 - 6 - 2 水素同位体比 ( $\delta D$ ) と酸素同位体比 ( $\delta^{18}O$ ) の関係図  
 (平成 3 ( ' 9 1 ) 年 7 月 ~ 平成 7 ( ' 9 4 ) 年 1 2 月)

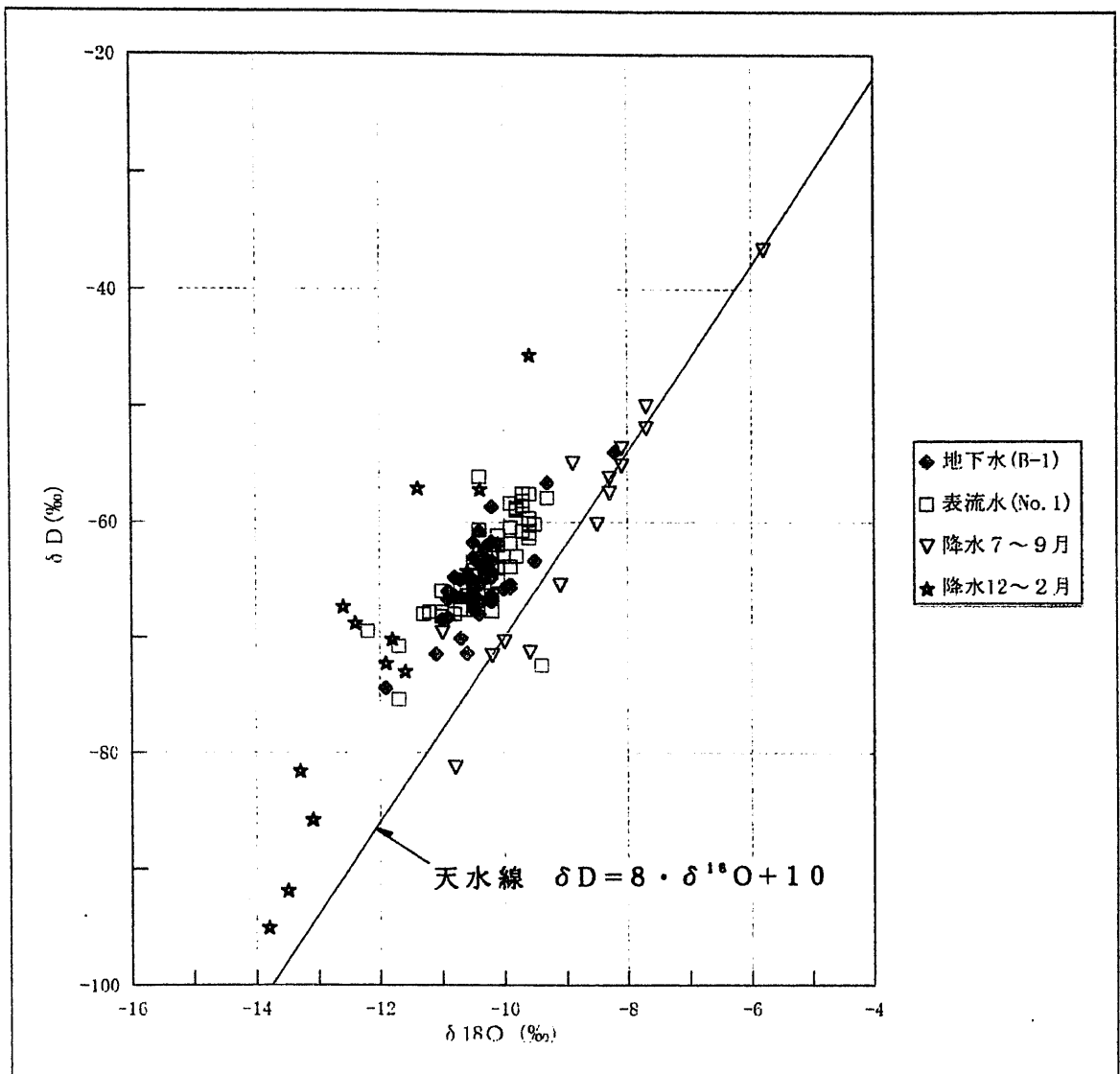


図 2 - 6 - 3 水素同位体比 (δD) と酸素同位体比 (δ<sup>18</sup>O) の関係図  
(降水夏 7~9月と冬 12~2月)



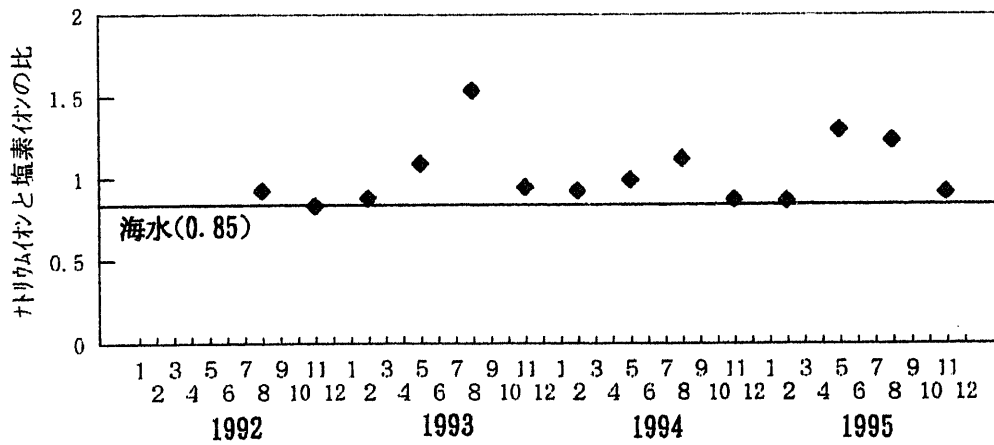
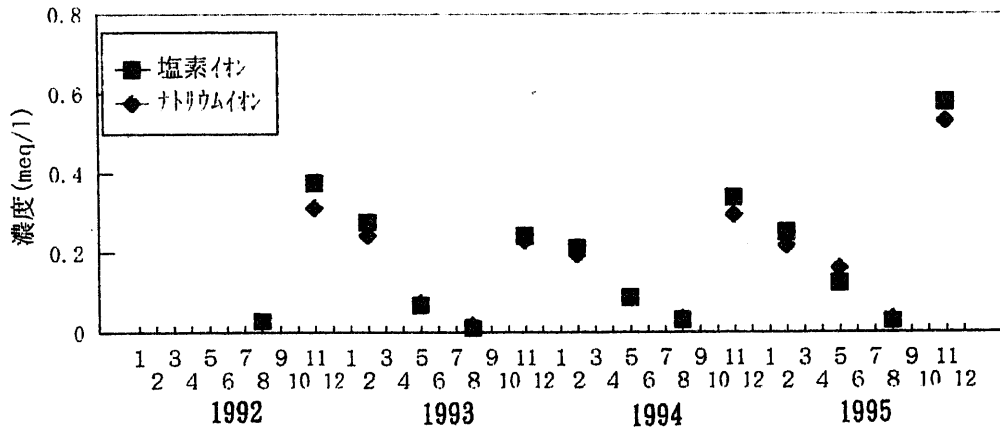
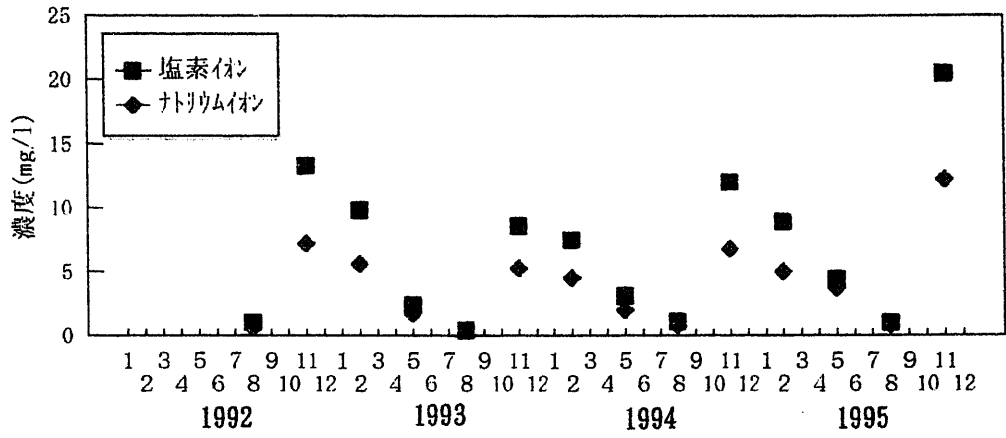
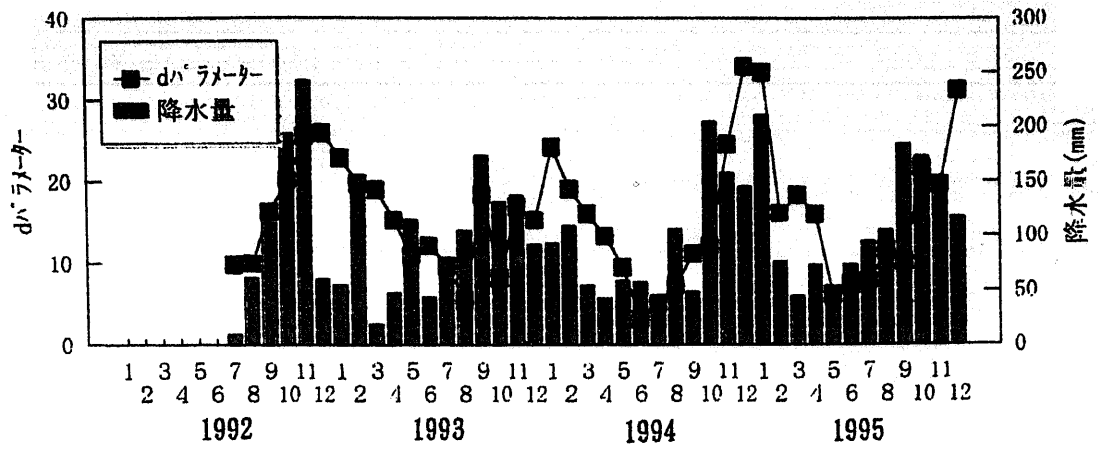


図 2-6-4 d パラメーター、塩素イオン、ナトリウムイオン経時変化図

### 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、平成8年度の継続調査及び新規調査について提案する。

今後実施することが望ましい調査内容を表3-1に示し、以下、個々に述べる。

これらは、サイト（フェンス）外に計器を設置したり、ボーリングマシン等の搬入ができない現状を踏まえ、サイト（フェンス）内でハンドオーガーなどによる簡易な方法で実施できる調査を計画したものである。

#### (1) 降雨時の流量・水質調査

一連の降雨について、降雨の水質変化及び、その降雨に対する河川水、地下水の水質変化を把握するため、降雨時に一定間隔で、降雨、河川水、地下水を採水し水質分析を行う（一般水質、同位体比）。

また、採水時に流量測定を行い、降雨及び河川水の同位体比分析結果から、直接流出量、基底流出量それぞれの成分分離を行う。

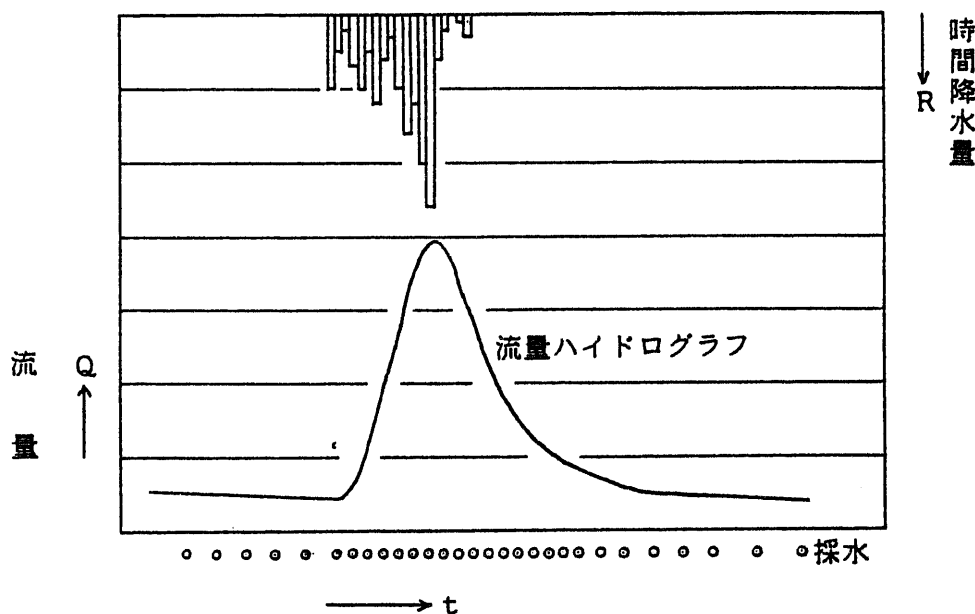


図3-1 降水量・流量ヒドログラフの例及び河川流量測定・採水のタイミング

一般水質分析項目はpH、電気伝導率、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $(\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-) - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  の計11項目とする。

また、同位体は重水素（ $\delta D$ ）、酸素-18（ $\delta^{18}\text{O}$ ）とする。

表 3-1

## 新規計画 (案)

調査項目	概要	時期・頻度	地点	取得データ	検討内容
① 降雨時の流量・水質調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>1降雨に対して降雨、河川水、地下水を一定時間毎に採水し、水質分析を行う(一般水質、同位体比)</li> <li>堰板を仮設し採水時に流量観測を行う</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>豊水期の1降雨中に3地点で採水</li> <li>15試料×3地点</li> </ul>	降水, No. 1, B-1	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般水質分析結果</li> <li>同位体比分析結果</li> <li>流量ハイトログラフ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>降雨時の水質変化</li> <li>地下水、河川水への降雨の影響</li> <li>ハイトログラフの成分分離</li> </ul>
② 地下水の流向・流速調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>浅層の同一帯水層を対象として、複数の観測孔を設置し、透水試験及び連続水位観測を行う</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水位観測</li> <li>12孔×1年間</li> </ul>	サイト内に12孔 (GL-4~-6m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水位観測結果</li> <li>透水係数</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水位等高線</li> <li>流向・流速の推定</li> </ul>
③ 帯水層別地下水位・水質調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>同一地点で帯水層毎に観測井を設置し、水位観測及び採水水質分析を行う(一般水質、同位体比)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水位観測</li> <li>3孔×1年間</li> <li>一般水質</li> <li>3孔×年4回</li> <li>同位体比</li> <li>3孔×12回</li> </ul>	B-1孔付近に3孔 (4m, 6m, 8m,)	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水位観測結果</li> <li>一般水質分析結果</li> <li>同位体比分析結果</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>帯水層毎の地下水位変化</li> <li>帯水層毎の降雨応答</li> <li>土壤水分も含めた水理水頭分布</li> </ul>
④ 地温測定	<ul style="list-style-type: none"> <li>深度方向に複数の温度計を設置し、地中温度を連続測定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>12深度×1年間</li> </ul>	B-1孔付近 1地点12深度 0.1m, 0.2m, 0.3m, 0.4m, 0.5m, 0.75m, 1m, 1.5m, 2m, 3.5m, 5.0m, 10.0m	<ul style="list-style-type: none"> <li>地温観測結果</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地温変化</li> <li>気温及び融雪の影響の及ぶ深度の把握</li> </ul>
⑤ 深層ボーリング孔水質分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>深層ボーリング孔(2深度)から定期的に採水し、水質分析を行う(一般水質、同位体比)</li> <li>湧水量の定期観測</li> <li>バルブは解放とする</li> <li>原位置(2深度)水質検層</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水質分析年4回</li> <li>湧水量測定月1回</li> </ul>	深層ボーリング孔 2深度(勇知層, 声問層)	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般水質分析結果</li> <li>同位体比分析結果</li> <li>湧水量観測結果</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水質の季節変化</li> <li>降雨の影響</li> </ul>
⑥ 深層ボーリング孔水質検層	<ul style="list-style-type: none"> <li>オーションセフンにより、声問層(GL-1000~1355m)の水質検層(水温, 圧力, 電気伝導率, DO, pH, Eh, 塩分)を行う</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水質検層年4回</li> </ul>	深層ボーリング孔 声問層 (GL-1000~1355m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>水質検層結果</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水質の深度方向変化及び季節変化の有無</li> <li>降雨の影響</li> </ul>

## (2) 地下水の流向・流速調査

地下水の流向及び流速を把握するため、浅層の同一帯水層を対象として、複数の観測孔を設置し、地下水位を連続観測する。帯水層としてはGL-3.45~-5.0mの砂層あるいはGL-5.0~-6.2mの礫混り砂層が最も有望である。

設置した観測孔のうち、複数孔について回復法による透水試験を実施し、透水係数を求める。

地下水位観測結果から、地下水位等高線を作成し、地下水流向を把握する。さらに、地下水位等高線から動水勾配を求め、透水係数より見掛けの流速を推定する。

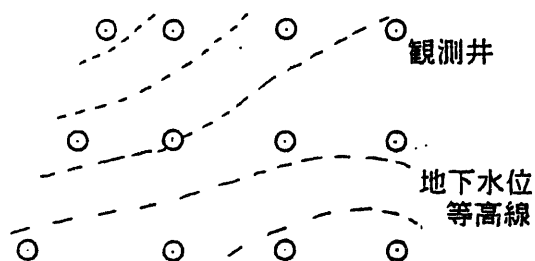


図 3 - 2 観測井配置及び地下水位等高線

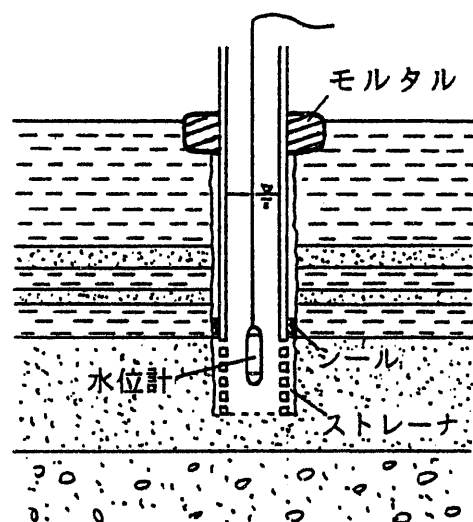


図 3 - 3 観測井模式図

### (3) 帯水層別地下水位調査

B-1孔で地下水位観測によって得られた地下水位はGL-1m前後にあるが、テンシオメーターによる土壌水分観測から明らかになった地下水位（圧力水頭0）はGL-0.5m前後である。

地下水位観測による地下水位と土壌水分観測による地下水位が一致しないのは、B-1孔が単一の帯水層を対象とした観測井ではなく、全層ストレーナであるためである。すなわち、各帯水層はそれぞれわずかなりとも異なる水頭を有し、最も浅い地下水位（地下水面）に比べて、浅い帯水層の水頭が低いためにこのようなことが起きていると考えられる。

そこで、各帯水層の水頭を把握するため、近接した場所に深度の異なる観測井を複数設置し、地下水位を連続観測する。

また、それぞれの観測井から採水し、水質分析を行う。水質分析は一般水質分析と同位体分析とし、項目は以下のとおりである。

一般水質 ----- pH, 電気伝導率,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  
(年4回)  $\text{HCO}_3^-$ ,  $(\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-)$ -N,  $\text{NH}_4^+$ -N  
同位体 ----- 重水素 ( $\delta D$ ), 酸素-18 ( $\delta^{18}\text{O}$ )  
(月1回)

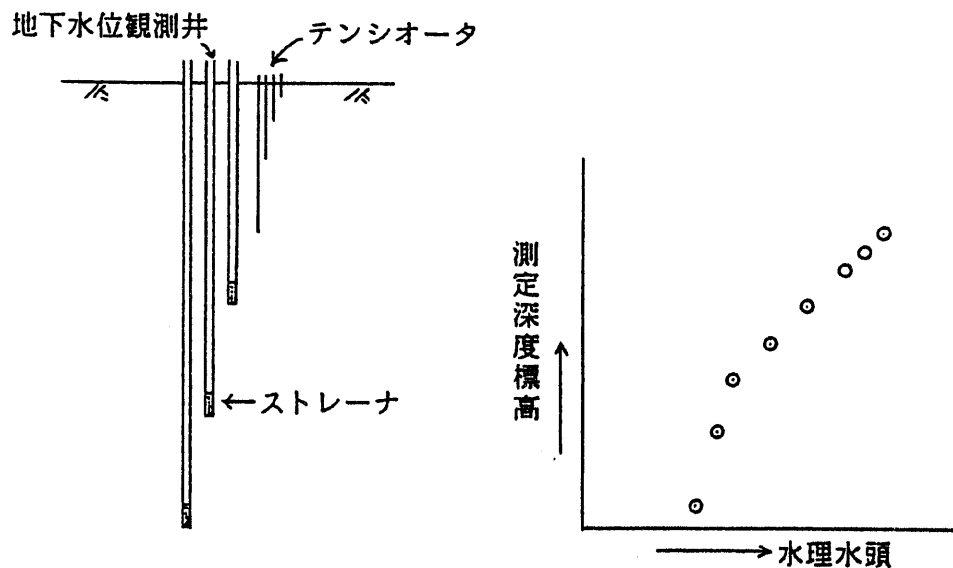


図3-4 帯水層別地下水調査観測井配置及び測定結果整理例



#### (4) 地温測定

気温及び融雪による地表面の温度変化の及ぶ深度を把握するため、地中（深度方向）に温度計（センサー）を埋設し、連続観測する。

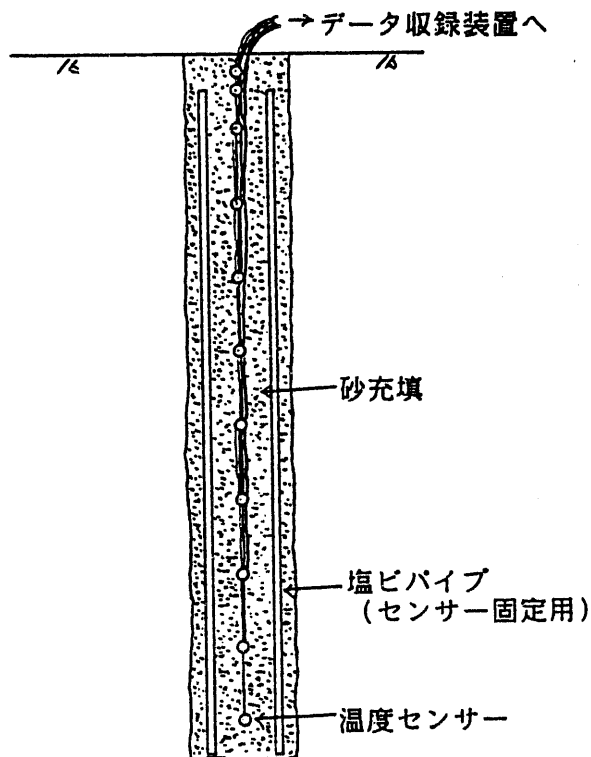


図 3 - 5 地温測定模式図

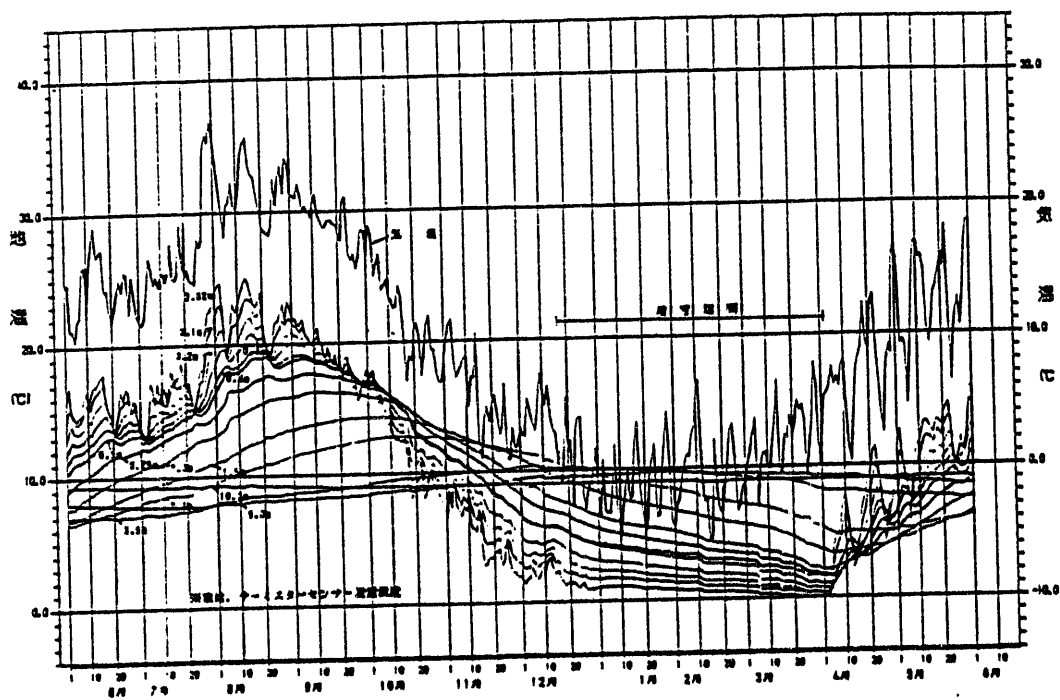


図 3 - 6 地温測定結果の一例

#### (5) 深層ボーリング孔水質分析

昭和61年('86)年～昭和62年('87)年に掘進した深層ボーリング孔(1355m)は声問層と勇知層内にストレーナが設けられ、それぞれ地上部まで2.5インチガス管(声問層)、3.5インチガス管(勇知層)が立ち上がり、地上部のバルブで採水できるようになっている(両層とも被圧している)。

そこで、声問層と勇地層の地下水の水質変化を把握するため、それぞれの地下水を採水し、水質分析を行う。

水質分析は一般水質分析と同位体分析とし、項目は以下のとおりである。

一般水質 ----- pH, 電気伝導率,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  
(年4回)  $\text{HCO}_3^-$ ,  $(\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-)\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$   
同位体 ----- 重水素 ( $\delta\text{D}$ ), 酸素-18 ( $\delta^{18}\text{O}$ )  
(月1回)

なお、声問層のストレーナ区間はGL-1000～-1355m、勇知層のストレーナ区間はGL-800～-810mであり、当然、メクラ管の部分が800m及び1000mと長い。よって、採水時のみのバルブ解放では、真の地下水は採水できない恐れがあるので、バルブは常に解放し、常時湧水させておく必要がある。

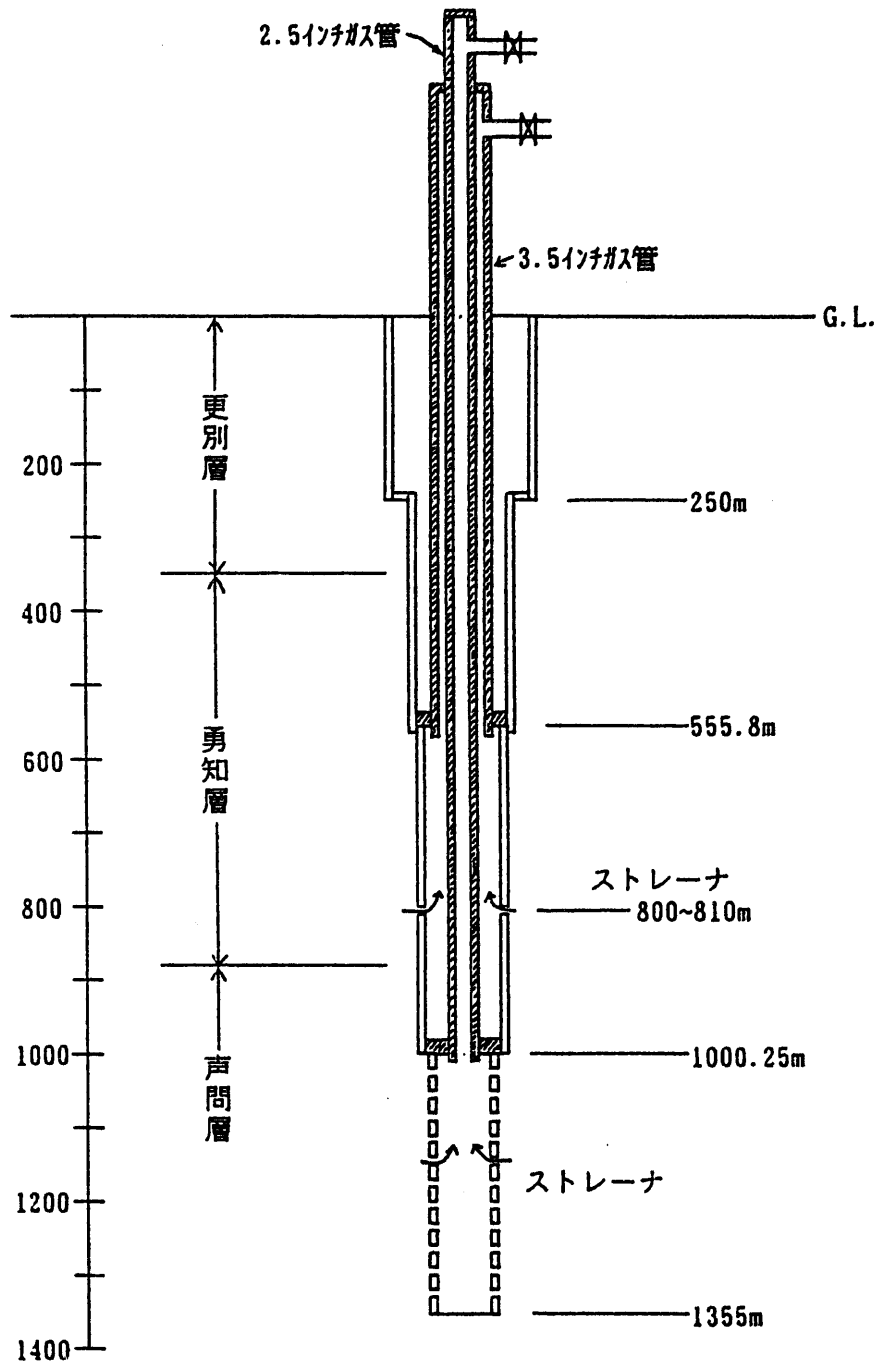


図 3 - 7 深層ボーリング孔井戸構造

## (6) 深層ボーリング孔水質検層

深層地下水の深度方向の水質変化を把握するため、深層ボーリング孔において水質検層を行う。

図-7に示すとおり、声問層のGL-1000~-1355mにストレーナが設けられていることから、この区間で水質検層システムを用いた検層を行う。

検層システムの概要は図3-8及び表3-3に示すとおりであり、測定項目はpH、水温、電気伝導率、溶存酸素(DO)、圧力、酸化還元電位(Eh)及び塩分濃度の7項目である。

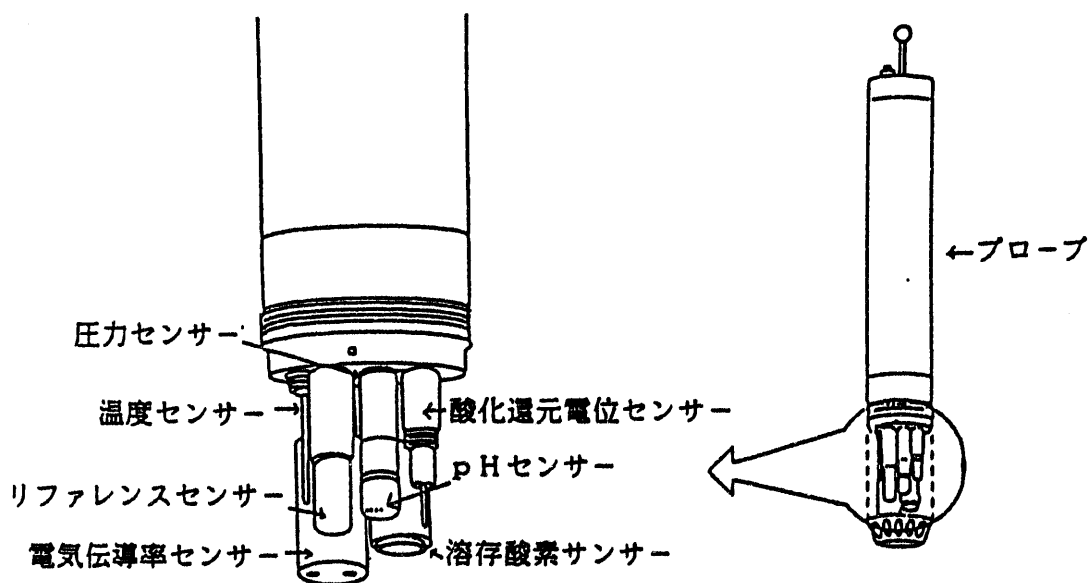
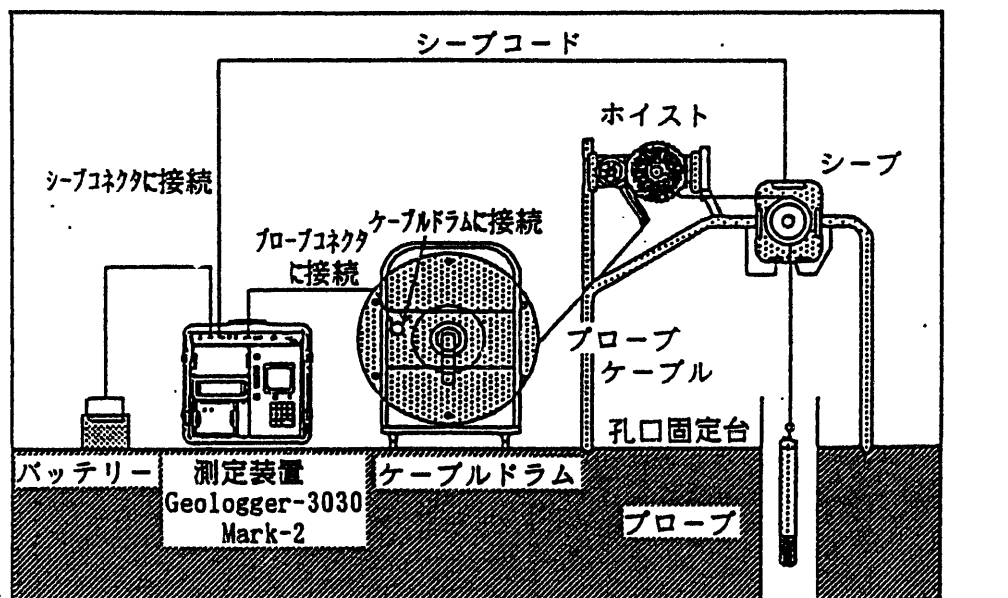


図3-8 検層システムの概要

表 3 - 2 セ ン サ ー 仕 様

項 目	測 定 範 囲	精 度	分 解 能
p H	0~14 pH	0.05 pH	0.01 pH
温 度	-1~50 °C	0.01 °C	0.004 °C
伝 導 率	0~62 mS/cm	0.02 mS/cm	0.004 mS/cm
圧 力	0~1500 dbar	0.25 % FS	0.1 dbar
溶 存 酸 素	0~50 ppm	0.1 ppm	0.01 ppm
	0~500 % sat	1 % sat	0.1 % sat
酸 化 還 元 電 位	-1000~1000 mV	10 mV	1 mV