

JAERI-Research

96-002



久慈川における水質特性
— 溶存イオン・溶存有機物濃度の地点変化と季節変化 —

1996年2月

新名俊明*・松永 武・天野 光

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1996

編集兼発行 日本原子力研究所

印刷 ㈱原子力資料サービス

久慈川における水質特性
— 溶存イオン・溶存有機物濃度の地点変化と季節変化 —

日本原子力研究所東海研究所環境安全研究部
新名 俊明*・松永 武・天野 光

(1996年1月5日受理)

河川における放射性核種の移行挙動を明らかにするための基礎的研究として、その支配因子の1つである河川水中の溶存イオンと溶存有機物の特性の調査を行った。調査では、北関東の久慈川の上流域(福島県棚倉町)から下流域(茨城県常陸太田市)に至る10地点において、年4回(最下流地点では5回)、現地で採水・濾過した河川水について、主要溶存イオン、鉄・マンガンイオン、溶存有機物濃度を分析した。水温、pH、電気伝導度、溶存酸素濃度などは現地で測定した。調査は、主に平水時を対象としたが、降雨による増水時の調査も一部実施した。

主要溶存イオン濃度は、上流から下流に至るにともない漸増し、約100kmの流下に対して2倍の増加を示した。季節変化としては、春季に最も高く、降雨の多い秋季に最も低かった。そのイオン組成は Na^+ 、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- を主成分として、各地点、各季節でほぼ一定であった。溶存有機物濃度は主要溶存イオンと同様に、上流で低く下流で約2倍に増加した。そのレベルは1-3mg/lであり陸水中濃度としては低いものである。溶存有機物濃度は、春季に高く(地点平均濃度:2.2mg/l)、秋季(1.3mg/l)に低い点では溶存イオンと同じであるが、冬季(1.3mg/l)も秋季と同程度に低い値であった。これらの結果は、放射性核種と結合し移動性の錯体を形成し得る河川水中溶存有機物の基礎的な変動特性を示すものとして有用である。

Water Chemistry in Kuji River
— Its Spatial and Seasonal Variations in Major Ions and Organic Substances —

Toshiaki NIINA*, Takeshi MATSUNAGA and Hikaru AMANO

Department of Environmental Safety Research
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 5, 1996)

As a basic research with a aim to clarify the migration behavior of radionuclides in rivers, the characteristics of dissolved ions and organic substances in river water, which characteristics may affect the behavior, was investigated. The investigation was carried out for the Kuji river in the northern Kanto district (Japan) comprising four sampling campaigns in 1994 for 10 locations from the upstream to the downstream. Concentrations of major ions, iron and manganese species and organic substances were analyzed in laboratory. Values of temperature of the water, pH, conductivity, dissolved oxygen were measured in the field. This investigation was conducted mainly under low water flow conditions of the river, while a limited number of campaigns were under high flow conditions due to precipitation events.

The concentrations of major inorganic ions increased steadily toward the downstream, resulting in approximately two times increase for the traveling distance of 100 km. They showed a seasonal variation that they were highest in the spring and lowest in the autumn when there were most concentrated precipitation events in a year. The constituents were mainly Na^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} and HCO_3^- , and were similar for every sampling locations and seasons. Concentrations of dissolved organic substances (carbon compounds) were lowest in the upstream and increased about twice in the downstream as well as major inorganic ions. Their level was 1–3 mg/ℓ, which can be ranked as relatively lower in general values for fresh water environments. They were highest in the spring (average over the locations: 2.2 mg/ℓ) and lowest in the autumn (1.3 mg/ℓ) and also in the winter (1.3 mg/ℓ).

* Student Research Fellow, Faculty of Engineering, Tokai University

These results will be useful as a basic understanding of spatial and seasonal variations of river water chemistry, especially related to the organic substances which can bind with radionuclides to make a mobile complex.

Keywords: Radionuclides, River, Dissolved Ions, Dissolved Organic Substances, Seasonal Variations, Spatial Variations, Mobile Complex

目 次

1. 緒 言	1
2. 実験方法	3
2.1 試料採取地点	3
2.2 試料採取方法	5
2.3 試料分析方法	6
3. 結果と考察	10
3.1 地点変化	11
3.2 流況変化	14
3.3 季節変化	16
3.4 考 察	20
3.5 問題点及び課題	21
4. 結 語	23
謝 辞	24
参考文献	25

Contents

1. Introduction	1
2. Materials and Methods	3
2.1 Sampling Sites	3
2.2 Sample Collection	5
2.3 Analytical Procedures	6
3. Results and Discussions	10
3.1 Spatial Variation	11
3.2 Variation with River Flow Rate	14
3.3 Seasonal Variation	16
3.4 Discussions	20
3.5 Remaining Problems	21
4. Conclusion	23
Acknowledgements	24
References	25

Contents of Tables

Table 1	Classification of carbon compounds in river water	29
Table 2	Classification of chlorophyll in plants	29
Table 3	Water quality in May 1994	30
Table 4	Concentration of dissolved and particulate carbon compounds in May 1994	31
Table 5.1	Concentration of major cations and anions in May 1994	32
Table 5.2	Concentration of trace elements in May 1994	33
Table 6	Water quality in June 1994	34
Table 7	Concentration of dissolved and particulate carbon compounds in June 1994	34
Table 8.1	Concentration of major cations and anions in June 1994	35
Table 8.2	Concentration of trace elements in June 1994	35
Table 9	Water quality in July 1994	36
Table 10	Concentration of dissolved and particulate carbon compounds in July 1994	36
Table 11.1	Concentration of major cations and anions in July 1994	37
Table 11.2	Concentration of trace elements in July 1994	37
Table 12	Water quality in October 1994	38
Table 13	Concentration of dissolved and particulate carbon compounds in October 1994	38
Table 14.1	Concentration of major cations and anions in October 1994	39
Table 14.2	Concentration of trace elements in October 1994	39
Table 15	Water quality in February 1995	40
Table 16	Concentration of dissolved and particulate carbon compounds in February 1995	40
Table 17.1	Concentration of major cations and anions in February 1995	41
Table 17.2	Concentration of trace elements in February 1995	41

Contents of Figures

Fig. 1	Kuji river watershed	42
Fig. 2	Procedure for analysis	43
Fig. 3.1	pH in May 1994	46
Fig. 3.2	Temperature in May 1994	46
Fig. 3.3	Conductivity in May 1994	46
Fig. 3.4	Suspended solid in May 1994	46
Fig. 4.1	Concentration of dissolved carbon in May 1994	47
Fig. 4.2	Concentration of particulate carbon in May 1994	47
Fig. 4.3	Concentration of dissolved carbon in May 1994	47
Fig. 4.4	Concentration of particulate carbon in May 1994	47
Fig. 4.5	Concentration of dissolved carbon in May 1994	48
Fig. 4.6	Concentration of particulate carbon in May 1994	48
Fig. 5.1	Concentration of Cl^- in May 1994	49
Fig. 5.2	Concentration of NO_3^- in May 1994	49
Fig. 5.3	Concentration of SO_4^{2-} in May 1994	49
Fig. 5.4	Concentration of Na^+ in May 1994	50
Fig. 5.5	Concentration of K^+ in May 1994	50
Fig. 5.6	Concentration of Ca^{2+} in May 1994	50
Fig. 5.7	Concentration of Mg^{2+} in May 1994	50
Fig. 5.8	Concentration of Fe in May 1994	51
Fig. 5.9	Concentration of Mn in May 1994	51
Fig. 6.1	pH in June 1994	51
Fig. 6.2	Temperature in June 1994	51
Fig. 6.3	Conductivity in June 1994	52
Fig. 6.4	Concentration of suspended solid in June 1994	52
Fig. 7.1	Concentration of dissolved carbon in June 1994	52
Fig. 7.2	Concentration of particulate carbon in June 1994	52
Fig. 8.1	Concentration of Cl^- in June 1994	53
Fig. 8.2	Concentration of NO_3^- in June 1994	53
Fig. 8.3	Concentration of SO_4^{2-} in June 1994	53
Fig. 8.4	Concentration of HCO_3^- in June 1994	53
Fig. 8.5	Concentration of Na^+ in June 1994	54
Fig. 8.6	Concentration of K^+ in June 1994	54
Fig. 8.7	Concentration of Ca^{2+} in June 1994	54

Fig. 8.8	Concentration of Mg^{2+} in June 1994	54
Fig. 8.9	Concentration of Fe in June 1994	55
Fig. 8.10	Concentration of Mn in June 1994	55
Fig. 9.1	pH in July 1994	55
Fig. 9.2	Temperature in July 1994	55
Fig. 9.3	Conductivity in July 1994	56
Fig. 9.4	Concentration of suspended solid in July 1994	56
Fig. 10.1	Concentration of dissolved carbon in July 1994	56
Fig. 10.2	Concentration of particulate carbon in July 1994	56
Fig. 11.1	Concentration of Cl^- in July 1994	57
Fig. 11.2	Concentration of NO_3^- in July 1994	57
Fig. 11.3	Concentration of SO_4^{2-} in July 1994	57
Fig. 11.4	Concentration of HCO_3^- in July 1994	57
Fig. 11.5	Concentration of Na^+ in July 1994	58
Fig. 11.6	Concentration of K^+ in July 1994	58
Fig. 11.7	Concentration of Ca^{2+} in July 1994	58
Fig. 11.8	Concentration of Mg^{2+} in July 1994	58
Fig. 11.9	Concentration of Fe in July 1994	59
Fig. 11.10	Concentration of Mn in July 1994	59
Fig. 12.1	pH in October 1994	59
Fig. 12.2	Temperature in October 1994	59
Fig. 12.3	Conductivity in October 1994	60
Fig. 12.4	Concentration of suspended solid in October 1994	60
Fig. 13.1	Concentration of dissolved carbon in October 1994	60
Fig. 13.2	Concentration of particulate carbon in October 1994	60
Fig. 14.1	Concentration of Cl^- in October 1994	61
Fig. 14.2	Concentration of NO_3^- in October 1994	61
Fig. 14.3	Concentration of SO_4^{2-} in October 1994	61
Fig. 14.4	Concentration of Na^+ in October 1994	62
Fig. 14.5	Concentration of K^+ in October 1994	62
Fig. 14.6	Concentration of Ca^{2+} in October 1994	62
Fig. 14.7	Concentration of Mg^{2+} in October 1994	62
Fig. 15.1	pH in February 1995	63
Fig. 15.2	Temperature in February 1995	63
Fig. 15.3	Conductivity in February 1995	63
Fig. 15.4	Concentration of suspended solid in February 1995	63
Fig. 16.1	Concentration of dissolved carbon in February 1995	64
Fig. 16.2	Concentration of particulate carbon in February 1995	64

Fig. 17.1	Spatial variation of concentration of Cl^- in February 1995	65
Fig. 17.2	Spatial variation of concentration of NO_3^- in February 1995	65
Fig. 17.3	Spatial variation of concentration of SO_4^{2-} in February 1995	65
Fig. 17.4	Concentration of Na^+ in February 1995	66
Fig. 17.5	Concentration of K^+ in February 1995	66
Fig. 17.6	Concentration of Ca^{2+} in February 1995	66
Fig. 17.7	Concentration of Mg^{2+} in February 1995	66
Fig. 17.8	Concentration of Fe in February 1995	67
Fig. 17.9	Concentration of Mn in February 1995	67
Fig. 18.1	Seasonal variation of pH	68
Fig. 18.2	Seasonal variation of Temperature	68
Fig. 18.3	Seasonal variation of Conductivity	69
Fig. 18.4	Seasonal variation of concentration of suspended solid	69
Fig. 19.1	Seasonal variation of dissolved organic carbon	70
Fig. 19.2	Seasonal variation of dissolved inorganic carbon	71
Fig. 19.3	Seasonal variation of particulate organic carbon	72
Fig. 19.4	Seasonal variation of particulate inorganic carbon	73
Fig. 20.1	Seasonal variation of concentration of Cl^-	74
Fig. 20.2	Seasonal variation of concentration of NO_3^-	74
Fig. 20.3	Seasonal variation of concentration of SO_4^{2-}	75
Fig. 20.4	Seasonal variation of concentration of Na^+	76
Fig. 20.5	Seasonal variation of concentration of K^+	76
Fig. 20.6	Seasonal variation of concentration of Ca^{2+}	77
Fig. 20.7	Seasonal variation of concentration of Mg^{2+}	77
Fig. 20.8	Seasonal variation of concentration of Fe	78
Fig. 20.9	Seasonal variation of concentration of Mn	78

1. 緒 言

原子力発電所、再処理工場などの原子力施設において、重大な事故が起きた場合、放射性核種による長期的な環境汚染が引き起こされる経路として、放射性核種が大気中に放出され地表に蓄積する経路が重要であることは過去の事故の例からも明らかである。

流域に蓄積した放射性核種の一部は地下への浸透や、降雨による流出などにより河川に到達する。その詳細な移行過程、蓄積量の中の移行割合や、移行時の結合物質、季節による流入量、流入形態等を明らかにすることは、環境放出後の放射性核種の長期的挙動予測にとり重要な課題である。河川は核種の移動の媒体として重要であると同時に、農業用水、水道水の水源として人の健康に直接的な影響も有する点でも重要である。そこで著者らは放射性核種が大気中に放出され地表に降下後、河川を経て遠方に運ばれる経路に着目し、河川における放射性核種の移行挙動を明らかにする研究を行ってきた^{1),2)}。

河川水中の放射性核種の挙動を決定する因子の中で、重要かつ未解明である因子に溶存有機物がある。一般に、その溶存有機物の主要な構成物質は腐植物質である³⁾。腐植物質は、植物の腐朽物や微生物の代謝物等が、様々な生物的ならびに非生物的反応により形成された高分子化合物である⁴⁾。腐植物質は、銅などの金属元素との錯体形成能が大きいため、環境中における有害微量金属の挙動を定める一つの要因として着目されてきた。とりわけ、アルカリ土類 (Ca, Mg) 元素や、Cu, Fe, Cdといった遷移金属元素と強い結合を作ることが知られてきた⁵⁾。腐植物質は、土壌、堆積物、河川水、海水、地下水中の天然有機物のなかで大きな割合を占め、金属と天然有機物あるいは、より特定された腐植物質との間の反応について、1970年代から多くの研究がなされてきた⁶⁾⁻¹⁰⁾。Westallら¹¹⁾の最近の反応モデル研究に見られるように、金属-腐植物質錯体の問題は現在も環境化学の重要課題である。

腐植物質との錯体形成は有害微量金属にとってのみならず、環境中の放射性核種

にとっても重要である^{12),13)}。とりわけTRU核種の場合に腐植物質との相互作用が重要である¹⁴⁾⁻¹⁶⁾。腐植物質は化学反応性の異なる種々の化合物(分画)の集合体であるので、核種との相互作用を考えると、構成成分画がどのようなものであるかが重要である。その構成成分画は地質、気候、植生等の環境条件により異なることが広く知られている^{13),17)-19)}。さらに腐植物質全体としての反応性はイオン強度やpH、共存イオンにより大きな影響を受ける²⁰⁾。このことは、ある特定の環境においても季節変化等で、その環境に見いだされる腐植物質反応性が異なることを意味している。例えば、河川、湖沼等の表面水系にあっては、季節的因子や、降水等の水文的因子によりそこでの溶存腐植物質の供給源の構成変化が起きるため、腐植物質の内容自体が変動し、核種あるいは微量元素に対する反応性が異なるという現象が考えられる。つまり、腐植物質と放射性核種(微量元素)との反応は大きな地域的、時間的変動を有するものと考えられる。したがって、実環境における腐植物質の変動特性を把握し蓄積することが基礎的な課題である。

本研究は、上記の観点に立ち、河川水中の溶存有機物に関して、上流から下流に至る地点的变化、季節的变化の蓄積を目的にして、関東北部の久慈川において野外調査と分析を行ったものである。調査の一部では、降雨前後の比較も行い、降雨時流出の効果についても検討を行った。すでに述べたように、溶存有機物の性状は環境条件への依存性が大きなことから、その水質の基本的特性を把握しておくために、pH、温度等の測定と主要溶存イオンの分析も行った。主要溶存イオンの分析結果は、河川への有機物の流入源について検討する材料でもある。

河川における溶存有機物の変動研究として、Eshoら¹²⁾はイギリスの小河川Ely川において通年観測を行い、見いだされた季節的ピークと落葉分解物の流入との関係付けを行っている。河川水中のプランクトンの季節的増加が河口域での溶存ならびに懸濁有機物の増加をもたらす事例がPratら²²⁾により報告されている。多摩川においてもYamaguchiら²³⁾が溶存有機物濃度のピークと藻類の繁茂との同様な関係付けを行って

いる。我が国においては、河川水の水質監視項目の一つ、化学的酸素要求量(COD)として主要河川で継続的測定が行われているが、多くの場合、他の栄養塩類濃度データ等とともに人為的汚濁の影響の観点から統計的な手法で論じられてきた²⁴⁾⁻²⁶⁾。ある特定の河川における個別の測定データの水質変動の研究としては、河川水中の溶存イオンと流量との関係を論じた小林²⁷⁾の報告、さらに懸濁物濃度の流量応答をも扱った酒井・氏家²⁸⁾の報告などがあるが、国内河川中の天然有機物濃度変動の報告は限られている。従って、ここに報告する久慈川での研究結果は、基礎データの一つとしても有用であると考えられる。

2. 実験方法

2. 1 試料採取地点

本研究の対象は茨城県の久慈川である。久慈川は源頭を福島県南西部の八溝山(標高 1022 m)に持ち、中流域以降茨城県をほぼ南に流れ日立市で太平洋に注ぐ一級河川である。国土庁資料によれば、流域面積 1490 km²、幹流延長 124 km、山地面積 80.6%、平地面積 16.9%、河川区域面積 2.5% である²⁹⁾。久慈川は流域規模が比較的大きく、ある程度地理上の局所性が抑えられた平均的な特徴が見いだされると期待され、また、人為的な産業や生活による水質汚染の影響が少なく自然起因の有機物研究が可能な河川と考えられる。

1994年の春から1995年の冬にかけて、久慈川流域において計5回の採取を行った。試料採取地点を Fig.1(p.42)に示す。5回の採取のうち、第1、3、4、5回は上流から下流にかけて地点変化、季節変化調査を目的とした広域的な採取である。いずれの回も直前の降雨の影響のない平水時に行った。第2回は最下流の地点において、朝、昼、夕方と3回の採取を行い時間変化を調べた。広域的な採取では、上流の地点から下流の地点まで100 km程度あるため下に示すように採取は2ないし3日間にわたった。また、データの連続性を考慮して上流から下流に向かう順序で採取を行った。採取日

いる。我が国においては、河川水の水質監視項目の一つ、化学的酸素要求量(COD)として主要河川で継続的測定が行われているが、多くの場合、他の栄養塩類濃度データ等とともに人為的汚濁の影響の観点から統計的な手法で論じられてきた²⁴⁾⁻²⁶⁾。ある特定の河川における個別の測定データの水質変動の研究としては、河川水中の溶存イオンと流量との関係を論じた小林²⁷⁾の報告、さらに懸濁物濃度の流量応答をも扱った酒井・氏家²⁸⁾の報告などがあるが、国内河川中の天然有機物濃度変動の報告は限られている。従って、ここに報告する久慈川での研究結果は、基礎データの一つとしても有用であると考えられる。

2. 実験方法

2. 1 試料採取地点

本研究の対象は茨城県の久慈川である。久慈川は源頭を福島県南西部の八溝山(標高 1022 m)に持ち、中流域以降茨城県をほぼ南に流れ日立市で太平洋に注ぐ一級河川である。国土庁資料によれば、流域面積 1490 km²、幹流延長 124 km、山地面積 80.6 %、平地面積 16.9 %、河川区域面積 2.5 % である²⁹⁾。久慈川は流域規模が比較的大きく、ある程度地理上の局所性が抑えられた平均的な特徴が見いだされると期待され、また、人為的な産業や生活による水質汚染の影響が少なく自然起因の有機物研究が可能な河川と考えられる。

1994年の春から1995年の冬にかけて、久慈川流域において計5回の採取を行った。試料採取地点を Fig.1(p.42)に示す。5回の採取のうち、第1、3、4、5回は上流から下流にかけて地点変化、季節変化調査を目的とした広域的な採取である。いずれの回も直前の降雨の影響のない平水時に行った。第2回は最下流の地点において、朝、昼、夕方と3回の採取を行い時間変化を調べた。広域的な採取では、上流の地点から下流の地点まで100 km程度あるため下に示すように採取は2ないし3日間にわたった。また、データの連続性を考慮して上流から下流に向かう順序で採取を行った。採取日

時及び概要は以下のとおりである。

第1回目

日時 : 1994年5月24日(火)、25日(水)

天候 : 晴れ

採取場所 : 久慈川流域(本流5ポイント、支流3ポイント、計8ポイント)

採取内容 : 河川水

第2回目

日時 : 1994年6月24日(金)

天候 : 曇り、小雨

採取場所 : 久慈川下流、岩舟橋

採取内容 : 河川水

第3回目

日時 : 1994年7月25日(月)、26日(火)、27日(水)

天候 : 晴れ

採取場所 : 久慈川流域(本流7ポイント、支流3ポイント、計10ポイント)

採取内容 : 河川水、河底土

第4回目

日時 : 1994年10月30日(日)、31(月)

天候 : 晴れ

採取場所 : 久慈川流域(本流7ポイント、支流3ポイント、計10ポイント)

採取内容 : 河川水、河底土

第5回目

日時 : 1995年2月21日(火)、22(水)

天候 : 晴れ

採取場所 : 久慈川流域(本流7ポイント、支流3ポイント、計10ポイント)

採取内容 : 河川水、河底土

2. 2 試料採取方法

2. 2. 1 河川水

河川水は順次述べる分析項目に合わせて5種類の採取を行った。採取した河川水については、有機炭素の測定を中心に水温、pH、電気伝導度等の一般水質、主要溶存イオン (Na^+ , K^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) の濃度、微量元素 (Fe, Mn, Cs) の濃度の分析を行った。一般水質については採取時現場で直接に測定を行った。河川水中の炭素化合物の測定については、以下の2.3.3炭素濃度の項目で述べるが、懸濁物を含む試料水と、濾過して懸濁物を除いた試料水の2通りについての測定を行った。溶存イオン濃度、微量元素の分析については、濾過した試料水について測定した。Fig.2に本研究での河川水の分析のフローチャートを示した。以下の項に分析を行った項目の詳細と測定方法を述べる。河川水の採取方法及び保存方法を以下に述べる。

<懸濁物濃度用試料>

現場の河川水で容器を共洗いした後、水深約30cmの河川水をポリプロピレン容器 (容積 21) に採取し、氷冷して保存した。

<懸濁態炭素用試料>

水深約30cmの河川水を水中で茶色耐熱ガラスねじ口瓶 (容積 125 ml) に採取した。試料を氷冷して保存した。採取の際は大気中の二酸化炭素との接触を避けるため空隙を残さないように、河川水中で蓋を閉めた。

<溶存態炭素、イオン用試料>

水深約30cmの水を採水器 (円筒形、容積約 21) を用いて採取し採水の現場で、孔径 $0.45 \mu\text{m}$ のセルロース系メンブランフィルター (MILLIPORE社、タイプ HAWP、直径 90 mm) で濾過し、濾液を茶色耐熱ガラスねじ口瓶 (容積 125 ml) に移し、氷冷して保存した。懸濁態炭素用試料と同様に大気との接触を避ける為に、容器内に空隙を残さないようにした。

<微量元素用試料>

水深約 30cmの河川水を現場で $0.45 \mu\text{m}$ のセルロース系メンブランフィルター (MILLIPORE社、タイプ HAWP、直径 90 mm) で濾過し、濾液をポリプロピレン容器 (容積 250 ml) に移した。容器の内壁へのイオンの吸着を防ぐため conc.HCl を 1 ml

加え、氷冷して保存した。

＜クロロフィル測定用試料＞

クロロフィルの測定用に、河川水を現場で2種類の濾紙、セルロース系メンブランフィルター(MILLIPORE社、タイプHAWP、直径90mm)及びグラスファイバーフィルター(Watman社、タイプGF/F、直径90mm)で、それぞれ2リットルを濾過し、濾紙をドライアイスで凍結保存した。

2. 2. 2 河底土

河底土については、粗粒、細粒どちらもを含むように現場で底質を選択しながら、河川水を採取した箇所を中心に数箇所から採取した。採取の際には、河底表面の堆積物の流失を防ぐため金属製のバケツ状の円筒を河底に置き、その内部の河底土を樹脂製のシャベルで採取した。採取した河底土は現場の河川水で水篩し、粒径により(1) 2~1mm、(2) 1~0.074mm、(3) 0.074mm以下、の3つの画分に分け、ドライアイスで凍結し保存した。

2. 3 試料分析方法

2. 3. 1 一般水質

一般水質測定として、水温、pH、溶存酸素濃度、電気伝導度の測定を行った。水温、pH、溶存酸素濃度は、水質を表わすのに広く用いられており、他の河川や湖沼のデータも多い。電気伝導度は比抵抗 ρ の逆数で、単位は s/m または ms/cm (S:Siemens、ジーメンス) である。電気伝導度は水中の溶存物質の量にほぼ比例して変化すると考えられるので、その測定により全溶存物質のおおよその値を推定できる。

水温、pH、電気伝導度、溶存酸素濃度は携帯型測定器により採取時にその場で測定した(水温計:YOKOGAWA-IM-2455、電気伝導度計:YOKOGAWA MODEL PH82、pH計:YOKOGAWA MODEL PH82、測定の際に標準液 pH 4.01、6.86で校正、溶存酸素濃度計:電気化学計器(株)HDO-22)。

2. 3. 2 懸濁物濃度

懸濁物 (Suspended solid: SS) は河川水中に溶解せず浮遊している物質の事で、土の粒子や微生物や植物が分解された物質などから構成される。本研究では、実験手法上、孔径0.45 μ mのフィルタにより "懸濁物" と "溶存物" とを区別した。

懸濁物濃度の測定は以下の方法で行った。濾紙 (MILLIPORE社、タイプ HAWP、孔径0.45 μ m、直径 90 mm) を、あらかじめオーブンで 110 $^{\circ}$ C 2時間乾燥し、デシケーターで 2時間冷却し重量を測定した。この濾紙を用い、採取した河川水(1または2l)を濾過した。濾過後の濾紙を濾過前と同様の方法で乾燥させ濾過前後の重量の差を求め懸濁物濃度(mg/l)とした。

2. 3. 3 炭素化合物濃度

本報告では河川中の炭素化合物をTable 1 (p.29) にまとめた分類に従って記すことにする。以下にその測定方法を述べる。各地点の河川水試料について、溶存態炭素に関しては、全溶存態炭素 (TDC)、溶存態有機炭素 (DOC)、溶存態無機炭素(DIC) を測定し、懸濁態炭素に関しては全懸濁態炭素 (TPC)、懸濁態有機炭素 (POC)、懸濁態無機炭素 (PIC) を測定した。測定には全有機体炭素測定器 (SIMADZU TOC-5000) を用いた。この測定器はマイクロシリンジにより一定量 (本研究では 20 ~ 100 μ l) の試料水を、約 680 $^{\circ}$ Cの燃焼管に注入し燃焼させる事により、試料水中の炭素を二酸化炭素に変換し、この二酸化炭素を赤外線式セルに導き定量する。一般に無機炭素濃度が低いことが予想される河川水では無機炭素の測定精度が低くなるのを防ぐために、無機炭素 (DICまたはPIC) の濃度を試料全体の炭素量 (TDCまたはTPC) と有機炭素量 (DOCまたはPOC) との差により求める方法が適切である。今回の測定でもこの方法を適用した。

全溶存態炭素 (TDC) の測定においては、採取した河川水 (濾過水) の約 30 ml を三角フラスコ (容積 50 ml) に移したものを測定試料とした。この測定試料のうち 50

～100 μ l を装置内にフィードして生ずる CO_2 濃度を分析した。この測定は1サンプルにつき少なくとも3回測定を行いその平均値を測定値とした。なお、繰り返し精度が悪い場合には最大5回まで測定しばらつきの少ない3回を選び平均を取った。誤差は多くの場合3-5%、最大では10%であった。測定限界は約0.01 mg C/lであった。

溶存態有機炭素 (DOC) 濃度の測定では、まず河川水 (濾過水) 約 30 ml を三角フラスコに移し、濃塩酸(36%) 50mlを加えてpH2以下の酸性として、溶存態無機炭素を二酸化炭素に変換した。次に、生成した二酸化炭素炭素を高純度空気です料水から脱気した。得られた試料水について燃焼酸化法により、その溶存態炭素量を測定した。ここで測定された成分は、pH2程度の条件では容易に化学的酸化を受けず、またガスパージでも揮発しない性質の炭素化合物であり、「非揮発性溶存有機物 (NVOC)」に帰属される。

懸濁物に含まれる炭素成分の定量では、懸濁物を含む試料水をそのまま測定し、溶存態試料との差により懸濁物中の炭素濃度を求めた。この測定では、懸濁物は水中で不均一に存在しているので、測定の前に超音波洗浄器で5分間振盪してホモジナイズし、試料の均一化を行った後、溶存態試料と同様の方法で、全懸濁態炭素 (TPC) および懸濁態有機炭素 (POC) の各濃度を測定した。

標準試料としては、フタル酸水素カリウム 2.125 g / l 溶液を調整し1000 mgC/l の標準液母液とした。これをさらに、イオン交換水 (蒸留済み) で希釈して 2-20 mgC/l の範囲に調製し標準液として用いた。なお、イオン交換水が含む炭素濃度は約0.3 mgC/l であった。また、本実験で溶存成分の分画に用いた濾紙 (MILLIPORE社、タイプ HAWP、直径 90 mm) から溶出する炭素成分は、イオン交換水 1 リットルの濾過において約0.2mgC/l であった。第5回 (1995/2/21,22) では、フィルタからの溶出有機物の影響を少なくするため、より一般的な方法としてグラスファイバーフィルタ (Wattmann社、GF/F、孔径約0.7 μ m、450 $^{\circ}$ Cで4時間有機物を熱分解後) をこの炭素化合物分析に関する溶存成分の分画に用いた。熱分解処理後のグラスファイバーフィルタからの溶出炭素量はイオン交換水 1 リットルの濾過において約0.1 mgC/l であった。

2. 3. 4 溶存イオン濃度

水中の主要イオン濃度は、水中の放射性核種・微量元素の挙動を、溶解、固相（堆積物・懸濁物）への吸着・脱着条件を競合元素などとして直接に、あるいはイオン強度などを通じて間接に支配する重要な因子である。本研究では Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- を主要イオンとして測定した。河川中の Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- の起源として岩石や、土壌から溶出したものの他に、海洋から蒸発したものが大気を通して循環し、雨水に伴われ降下するものもある³⁰⁾。 SO_4^{2-} の由来としては、化石燃料の燃焼による硫黄が酸化され雨とともに降下するもの、人間活動によらない起源として、硫化物、硫酸塩鉱物の風化と海洋からのものが挙げられる。 HCO_3^- の起源として、大気起源の CO_2 、岩石中に存在していた炭素の酸化により生成した CO_2 、炭酸塩鉱物中の CO_3^{2-} が挙げられる³¹⁾。

イオン濃度の測定には、イオンクロマトグラフィー(Dionex 4000i)を用いた。陰イオン系については、用いたカラムは: IonPac AG4A と AS4A、溶離液として1.8mMの Na_2CO_3 溶液及び1.7mMの NaHCO_3 溶液、再生液として25mMの H_2SO_4 を用い、溶離液流量 1.5 ml/min の条件で測定を行った。陽イオン系については、用いたカラムは IonPac CG3 と CS3であり、溶離液として20mMのHCL溶液及び0.2mMのDAP溶液、再生液として100mMのTMAOH(テトラメチルアンニウムヒドロキシ)溶液を用いて溶離液流量 1.0 ml/min の条件で測定を行った。

2. 3. 5 微量元素濃度

河川中の微量元素に関しては、Fe、Mn、Pb、Sr、Ba、Siの分析を試みた。Fe、Mnはその酸化物が他の微量元素の吸着性が高く挙動の支配因子のひとつとなるため重要な元素である。Pb、Srは放射性同位体である ^{210}Pb 、 ^{90}Sr が存在し、安定同位体との挙動の対比上興味深い。Baは ^{90}Sr の同族元素として注意を払うべき元素であり、Siは水の接触する鉱物に関する情報を含んでいる。微量元素の測定には、ICP分光分析装置

(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer : 誘導結合プラズマ分光分析装置、セイコー電子工業(株)製、SPS-1200A)を使用した。現地で河川水を濾過し塩酸を加え微量元素測定用の試料に直接 ICP のサンプリングチューブを挿入し測定を行った。標準液には各元素とも和光純薬工業(株)製の 1000 ppm の原子吸光分析用標準液を 0.1N HCl 溶液で希釈して使用した。測定を試みた元素の中で Pb, Ba については本実験のような直接測定では測定限界以下であり、両元素については濃度レベルの推定の情報として参考までに測定結果を示した。

2. 3. 6 クロロフィル (葉緑素)

クロロフィルは光合成植物が持つ緑色色素で、河川中では藻類に含まれる。水域においては懸濁物に含まれるクロロフィル量が藻類量の目安になる。光合成を営む器官に存在するクロロフィル a, b, c, 光合成バクテリアに存在するバクテリオクロロフィル a, b など数種が存在している。これらは化学構造が大変似ている。光合成色素組成は植物群によって特徴的に異なる。Table 2 に各植物のクロロフィルの組成を示した³²⁾。クロロフィル a はすべての植物に共通して存在している。高等植物、緑藻ではクロロフィル b がその他の主な成分であり、褐藻、珪藻ではクロロフィル c が多く存在している。本研究では、河川中のクロロフィルを分析することにより、河川水中の有機物の起源に関して、陸上からの流入成分、河川中の藻類由来それぞれの寄与の大きさが推定できるもの考えた。

3. 結果と考察

各項目の分析結果の表とグラフを、本論文の後半に一括して示した。本章ではその表とグラフに基づいて、地点変化、流況変化、季節変化の観点から各項目について考察する。

(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer : 誘導結合プラズマ分光分析装置、セイコー電子工業(株)製、SPS-1200A)を使用した。現地で河川水を濾過し塩酸を加え微量元素測定用の試料に直接 ICP のサンプリングチューブを挿入し測定を行った。標準液には各元素とも和光純薬工業(株)製の 1000 ppm の原子吸光分析用標準液を 0.1N HCl 溶液で希釈して使用した。測定を試みた元素の中で Pb, Ba については本実験のような直接測定では測定限界以下であり、両元素については濃度レベルの推定の情報として参考までに測定結果を示した。

2. 3. 6 クロロフィル (葉緑素)

クロロフィルは光合成植物が持つ緑色色素で、河川中では藻類に含まれる。水域においては懸濁物に含まれるクロロフィル量が藻類量の目安になる。光合成を営む器官に存在するクロロフィル a, b, c, 光合成バクテリアに存在するバクテリオクロロフィル a, b など数種が存在している。これらは化学構造が大変似ている。光合成色素組成は植物群によって特徴的に異なる。Table 2 に各植物のクロロフィルの組成を示した³²⁾。クロロフィル a はすべての植物に共通して存在している。高等植物、緑藻ではクロロフィル b がその他の主な成分であり、褐藻、珪藻ではクロロフィル c が多く存在している。本研究では、河川中のクロロフィルを分析することにより、河川水中の有機物の起源に関して、陸上からの流入成分、河川中の藻類由来それぞれの寄与の大きさが推定できるもの考えた。

3. 結果と考察

各項目の分析結果の表とグラフを、本論文の後半に一括して示した。本章ではその表とグラフに基づいて、地点変化、流況変化、季節変化の観点から各項目について考察する。

3. 1 地点変化

3. 1. 1 pHの地点変化

pH は、pH 6.8 から 9.3 の範囲にあり、上流から下流への一定の傾向は観察されなかった(Fig.3.1, 9.1, 12.1, 15.1 : それぞれp.46, p.55, p.59, p.63)。春から冬を通して特に pH の高かった大子、袋田について、周辺の地質による影響を受けているかを、流域の地質図^{33),34)} で調べた。周辺の地質は火山性岩石のロームと、凝灰岩質岩石であり pH が高くなる原因と考えられる石灰岩層は周辺にはみられず、地質に起因する可能性は少ない。また、他の関東地方の代表的な河川、利根川(取手市)、那珂川(黒磯市)における値 pH 7.1、7.0³⁵⁾ と比べると pH の高い地点が多い。

3. 1. 2 温度の地点変化

上流や各支流、那倉川、八溝川での水温は低く、下流に向かうに従い水温は高くなった。これは、上流での水温は地下水や湧水などの水温の低いものの影響により水温は低く抑えられており、下流に向かうに従い水の河川での滞留時間が長くなる事や、日光や、気温の影響により徐々に温度が上がる為と考えられる。また、生活排水などによる人為的な熱の持ち込みも一因である(Fig.3.2, 9.2, 12.2, 15.2 : それぞれp.46, p.55, p. 59, p.63)。

3. 1. 3 電気伝導度(電導度)の地点変化

春、夏、秋、冬それぞれのサンプリングでの電気伝導度の地点変化を横軸をサンプリング地点、縦軸を電気伝導度のグラフにまとめ Fig.3.3, 9.3, 12.3, 15.3(それぞれp.46, p.56, p.60, p.63) に示した。全体的な傾向として、上流から下流に向かうに従い増加し、上流でおよそ 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 中流で 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、下流で 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度であり、下流では上流の約 2 倍の値を示している。電気伝導度は河川中の溶存イオン濃度を反映しているため、このことから下流での溶存イオン濃度が高いことが予測できる。実際

に測定した溶存イオン濃度と比較してみると、全体的な傾向がよい一致を示している。一般的に、下流で電気伝導度が高い場合には海水の遡上も考えられるが、本研究で最も下流のサンプリング地点の岩舟橋は海岸より十分に距離があり、海水の遡上による影響はないことが予備的な測定で確かめられている。

上流の支流の No.2 那倉川、No.4 八溝川では電気伝導度は支流の注ぐ本流より低く $80\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度であった。しかし、No.6 押川では支流の方が電気伝導度が高くなっていた。溶存イオンの分析によれば、この電気伝導度の増加は、 Na^+ 、 SO_4^{2-} の濃度増加に対応していることが分かる (Fig.3.3, 9.3, 12.3, 15.3 : それぞれ p.46, p.56, p.60, p.63)。

3. 1. 4 懸濁物濃度の地点変化

冬のデータを除くと、全体的な傾向として上流から中流にかけては、 $4\sim 7\text{ mg/l}$ で大きな地点変化はない。最下流 (岩舟橋) では $7\sim 16\text{ mg/l}$ と明らかに増加した。この原因としては下流に堆積した土砂の巻き上げによる効果あるいは、下流では流速が緩やかなため藻などが繁茂しやすく、これらが剥離して懸濁物として加わる事が考えられる。7月の懸濁物濃度が上流の支流 No.2 那倉川で特異的に高いが、これは採取地点の約 1 km 上流で護岸工事が行われており土手の土砂の流入のあった為と考えられる。また、冬の測定値が全体的に高いがこれは濾紙重量が不安定であった為と考えられる (Fig.3.4, 9.4, 12.4, 15.4 : それぞれ p.46, p.56, p.60, p.63)。

3. 1. 5 溶存イオン濃度の地点変化

各季節の溶存イオン濃度のグラフをイオン種別に Fig.5.1~5.9, 11.1~11.10, 14.1~14.7, 17.1~17.9 (それぞれ p.49~51, p.57~59, p.61~62, p.65~67) に示した。全体にみると殆どのイオンは上流から中流にかけて安定した濃度を示し、下流で濃度が増えるというパターンを示した。電気伝導度の項目 (3.1.3) でも述べたようにこれは電気伝導度の傾向ともよく一致している。特に Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ が電気伝導度と類似の傾向を

示している。

また、支流でのイオン濃度はそれが合流する本流の濃度に比べ低いものが多い。しかし、電気伝導度の項目で述べたように、No.6 押川では他の支流、那倉川、八溝川に比較してほとんどのイオン濃度が高く、特に Na^+ 濃度と、 SO_4^{2-} 濃度は押川の注ぐ本流より高かった。この原因として押川のサンプリング地点は、温泉水の流入があるためと考えられる。

3. 1. 6 溶存態炭素の地点変化

河川中の有機物の指標である炭素化合物は、溶存する炭素化合物（溶存態炭素）と懸濁物質に含まれる炭素化合物（懸濁態炭素）に分けられる。本研究で測定した炭素化合物中の、溶存態炭素と懸濁態炭素の割合はそれぞれ、65 ~ 90 %、35 ~ 10 %であった。（Tables 4, 10, 13, 16 参照）さらに、溶存態炭素の中で有機炭素（TOC）、無機炭素（IC）を測定した結果を Fig.4.1, 4.3, 4.5, 10.1, 13.1, 16.1（それぞれp.47, p.47, p.48, p.56, p.60, p. 64）に示す。溶存有機炭素は、上流から下流にかけて2~4 mg / l程度であり全般に一定である。但し、No.3 埜と最下流 No.10 岩舟橋では、他より濃度が高い傾向がみられる。溶存態炭素量に占める割合は溶存無機炭素の方が多い。溶存している全炭素の量は、上流から下流にかけて徐々に増加している。

3. 1. 7 懸濁態炭素の地点変化

懸濁態炭素量の地点変化のグラフを Fig.4.2, 10.2, 13.2, 16.2 に示す。懸濁態炭素量は溶存態炭素量の、1/2~1/10程度であった。懸濁態炭素の量も溶存態炭素と同様に、上流から下流にかけて徐々に増加している。これは傾向としては懸濁物自体の濃度と対応しているが、よい一致はみられなかった。この点について、以下に述べる。

懸濁態炭素においては、測定上の問題が存在している。その問題として、1) 懸濁物は水中に不均一に存在していること、2) さらに測定器の試料採取ニードルの径が0.2

mm と小さいこと、3) 試料の吸引量は 25~50 μ l であり分析炭素量の絶対量が少ないことが挙げられる。こうした要因の結果、測定器に採取される試料水の中の懸濁物濃度の誤差が大きくなる、懸濁物の一部は注入されない等の現象が起きて、測定値や地点変化の変動が激しくなっていると考えられ、今後の改善が必要である。この問題の対策については今後の課題の項目で述べる。

3. 2 流況変化

降水によりもたらされる流況（流量）の変化に対応する各項目の変化特性を5月に行った第1回のサンプリングにおいて調べた。以下にその要点を述べる。

3. 2. 1 pHの流況に対応する変化

pHの流況による変化を Fig.3.1 に示した。本流、中流域 No.3, 5, 7 での pH は降雨前が約 8.5 であった。降雨後には No.3 では pH 5.9 になり、No.5, 7 では pH 約 7.4 に低下した。一方、支流の No.2, 4, 6 では降雨により pH が 1 単位程度増加している。

3. 2. 2 温度の流況に対応する変化

温度の流況による変化を Fig.3.2 (p.46) に示した。上流から下流にかけての全般的な傾向として、降雨前に比較し本流では 3.5~7 $^{\circ}$ C、支流では 2.5~9 $^{\circ}$ C の降雨による水温の低下が観測された。降雨後約 1 日時点での水温は、降雨中と殆ど同じ値で低下したままであった。

3. 2. 3 電気伝導度の流況に対応する変化

電気伝導度の流況による変化を Fig.3.3 (p.46) に示した。平水時には 84.1~198.4 μ S/cm であった電気伝導度は、降雨後には 54.5~102.4 μ S/cm と平水時の値に比較すると 50~60 % に減少している。これは降雨による増水の希釈の効果であると考えられる。降雨中はさらに流量が多いため、より伝導度が低くなることも予想されたが、降

雨中の値と降雨後の値を比較してみると殆ど同じであることが分かった。これより、ある程度以上流量が増加しても希釈の効果は変わらないことが推定される。

3. 2. 4 懸濁物濃度の流況に対応する変化

懸濁物濃度の流況による変化を Fig 3.4 (p.46) に示した。上流から下流にかけての懸濁物濃度は平水時には、1.1~16.6 mg/l であったが、降雨後には 13.2~126 mg/l と 2~15 倍に増加している。さらに、降雨中の懸濁物濃度は、No.7, 10 の 2 地点のみの測定値であるが、152~304 mg/l と平水時の 20 倍近い増加を示した。これは降雨により流域から新しい土砂が供給されたこと、流量の増加により平水時に堆積していた物質が巻き上がった為と考えられる。

3. 2. 5 溶存イオン濃度の流況に対応する変化

溶存イオン濃度の流況による変化を、Fig.5.1~5.9 (p.49~51) に示した。全般的には、電気伝導度と同じ傾向を示した。つまり、平水時に比べると、降雨後に流量増加による希釈により溶存イオン濃度は低下している、降雨中の濃度は殆ど降雨後と同程度である。

各イオンの中では、 NO_3^- 濃度が降雨後に増加するのが目立つ。特に支流、八溝川、押川での NO_3^- 濃度の増加が著しい。この降雨による NO_3^- 濃度の増加に関しては、筑波山の溪流における観測において、海老瀬らにより同様な結果が報告されている^{36),37)}。海老瀬らはその理由として農地の肥料等、地表に貯留されている NO_3^- が降雨により流入するためと推定している。本研究でも同様な原因のため NO_3^- の増大が起きていると思われる。

3. 2. 6 溶存態炭素の流況に対応する変化

溶存態炭素の流況による変化を、Fig.4.1, 4.3, 4.5 に示した。平水時は 7.6~14.6 mg/l であった溶存態炭素濃度は、降雨後に 4.9~8.7 mg/l と全般に低下した。組成には有機炭素の低下は少なく、無機炭素の低下が目立った。降雨中には No.7 で有機炭素の増加が観察された。これらのことから溶存有機炭素は降雨により流量が増えたにも関わらず平水時と同程度の濃度が維持されており、実質の供給があったことが分かる。それに比べ無機炭素の方は流量の増加に対して供給が不足し、希釈効果が優勢であった。

3. 2. 7 懸濁態炭素の流況に対応する変化

懸濁態炭素の流況による変化は、Fig.4.2, 4.4, 4.6 (それぞれp.47, p.47, p.48) に示した。全懸濁態炭素濃度は降雨により大幅に増加した。特に降雨中の増加が著しくこれは懸濁物濃度とよく対応している。懸濁態有機炭素は降雨前に比べ同程度もしくは2倍程度増加している。懸濁態無機炭素は降雨中に No.10 において3倍程度の増加を示した、平水時には無機炭素が測定されなかった No 3, 4, 5 の地点においても無機炭素の増加がみられた。

3. 3 季節変化

3. 3. 1 pHの季節変動に対応する変化

pH の各季節のグラフを Fig.18.1 (p.68) にまとめた。上流の No.1 において春のデータ (5月24日) が少し低い程度で、どの季節ともほぼ同じ傾向を示した。

3. 3. 2 温度の季節変動に対応する変化

河川水の温度の各季節のグラフを Fig.18.2 (p.68) にまとめた。本流での温度の分布は、上流から下流にかけて春が 17.0~24.6 °C、夏が 27.1~30.9 °C、秋が 13.9~18.0 °C、冬が 1.5~8.2 °Cであった。水温は夏に一番高く高く、次いで春、秋、冬の順に低く、外気の温度の傾向と一致する。支流では本流ほど水温は高くないものの、夏に高

く、秋に低く本流と同じ傾向を示した。支流と本流の温度差は冬には殆どなかった。

3. 3. 3 電気伝導度の季節変動に対応する変化

電気伝導度の季節変化のグラフを Fig.18.4 (p.69) に示した。伝導度は水温の上昇によって増大する。そのため、任意の温度 t °C で測定した電気伝導度は標準温度 (18 °C) の伝導度に補正する必要がある。補正は次の式によって行った³⁸⁾。

$$EC_{18} = EC_t \{ 1 + L(18 - t) \}$$

EC_{18} : 18°Cに補正した電気伝導度

EC_t : 実測値の電気伝導度

L : 0.02

t : 実測水温 (°C)

グラフは温度補正を行った後のものである。春、夏、秋はほとんど同じ傾向を示し、上流で $90 \mu\text{S/cm}$ 、中流で $140 \mu\text{S/cm}$ 、下流で $190 \mu\text{S/cm}$ 程度であった。秋には全体的に低い値で、 $60 \sim 140 \mu\text{S/cm}$ 程度であった。これは、秋の観測時には河川の流量が増加した事による希釈の効果であると考えられる。

3. 3. 4 懸濁物濃度の季節変動に対応する変化

懸濁物濃度の各季節のグラフを Fig.18.4 (p.69) にまとめた。冬の懸濁物濃度が全体的に高い傾向を示したが、これは測定に使用した濾紙の重量が不安定であったためと考える。夏の懸濁物濃度に比較すると、特に下流で春の濃度の方が高かった。懸濁物濃度が高くなる原因としては、河川に供給される懸濁物が増加する事、流量の減少により相対的に懸濁物濃度が増加することが考えられる。No.10 岩舟橋に近い榊橋で観測された流量のデータを比較してみると春 (第1回、5月25日) が $1248 \text{ m}^3/\text{day}$ 、夏 (第3回、7月25日) が $1315 \text{ m}^3/\text{day}$ 、であった。春の流量は、夏の流量を基準とすると約 95 % である。春に懸濁物濃度が高いのは流量とは要因による懸濁物の供給があったためと考えられる。さらに、春に増加した懸濁物濃度の組成を詳しく知る

ために懸濁態炭素の分析結果を調べたが、No.10 岩舟橋では春、夏ともに有機炭素はほとんど検出されず、無機炭素は春が1.6mg/l、夏が 2.6 mg/l と、夏の方が高い結果となっていた。これについては、3.1.7 懸濁態炭素の項目で述べた、測定上の問題が大きい為と考えられる。

3. 3. 5 溶存イオン濃度の季節変動に対応する変化

溶存イオン濃度の季節変化のグラフを Fig.20.1 ~ 20.9 (p.74 ~ 78) に示した。Cl⁻については、春の濃度は中流から下流にかけて 7 ~ 11 ppm の範囲であり一番高く、次いで夏の濃度が 6 ~ 9 ppm、冬の秋の濃度 4 ~ 7 ppm、は 4 ~ 6 ppm であった。全体的には、夏、秋、冬の濃度が同じ傾向を示し、春のCl⁻濃度が高かった。Cl⁻濃度については秋の流量増加による希釈の効果はみられなかった。流量に見合った供給があると考えられる。NO₃⁻濃度については夏のデータの地点変化が激しいものの、季節による変化は大きくない。SO₄²⁻濃度は、上流から下流にかけ全域で春に濃度が高く、夏、冬、秋と順に濃度が低くなった。Na⁺濃度は、春、夏、冬の濃度は殆ど同じで中流から下流にかけて 7 ~ 12 ppm の範囲であった。秋のNa⁺濃度は 5 ~ 9 ppm の範囲であり春、夏、冬濃度に比較し各地点で 2 ~ 3 ppm 程度低かった。K⁺濃度は、Cl⁻濃度、SO₄²⁻濃度の傾向とは逆に秋の濃度が一番高く、5 ppm 程度であった、冬、夏の濃度は 1 ~ 3 ppm であり、秋に比較すると低い濃度を示した。秋は降雨が多くその結果流量も増加する。

この流量増加は、全ての溶存イオン濃度を一律に希釈し低下させるわけではない。たとえば、K⁺は秋の観測では他の季節よりむしろ濃度が高い。Ca²⁺濃度の傾向は、Na⁺濃度と同様で春、夏の濃度は殆ど同じで 14 ~ 18 ppm、秋の濃度は 8 ~ 14 ppm であり、秋は春、夏の濃度と比較すると 4 ~ 6 ppm 程度低い値を示している。冬のCa²⁺濃度は 9 ~ 16 ppm 程度で春と秋の中間の濃度を示した。

3. 3. 6 溶存態炭素の季節変動に対応する変化

溶存態炭素の各季節のグラフを Fig.19.1,19.2 にまとめた。溶存無機炭素についてみると、春と夏のデータは、No.1 棚倉で 7.5 mg/l、夏のデータのばらつきがあるものの No.3 埴から No.8 須藤まで 8~10 mg/l とほぼ同じ値を示している。No.9 富岡橋、No.10 岩舟橋では約 10 mg/l 程度である。

一方、秋、冬の無機炭素濃度は、春と夏の値と比較すると、上流から下流の全域にかけて約 2 mg/l 程度低い値を示している。溶存有機炭素濃度は、春と夏はほぼ同じ傾向を示し、No.1 棚倉から No.10 岩舟橋まで 2~4 mg/l の値の間を徐々に増加している。秋、冬の有機炭素濃度は本流、支流を含め 2 mg/l 以下で安定しており、春と夏のデータと比べると 1 mg/l 程度低い。

3. 3. 7 懸濁態炭素の季節変動に対応する変化

懸濁態炭素の各季節のグラフを Fig.19.3, 19.4 (それぞれ p.72, p.73) にまとめた。懸濁態有機炭素濃度は、春のサンプリングでは、5月24日の No.1 棚倉、No.2 遠ノ木橋、No.3 埴、5月28日の No.2 遠ノ木橋が試料損失のため欠測である。

欠測データが多い事や、3.1.7 懸濁態炭素の項目で述べた懸濁物濃度の測定上の問題のため十分な比較は困難ではあるが、春の無機炭素濃度は 0~1.5 mg/l、秋の無機炭素濃度は 0~1.0 mg/l であり、夏の無機炭素の値 1.5~4 mg/l が他の季節より高いことが目立つ。また、中流から下流に限って言えば、春の無機炭素濃度は 1~1.5 mg/l、秋の無機炭素濃度は 0~1.0 mg/l であり。春の無機炭素濃度が 0.5 mg/l 程度高い。懸濁態有機炭素濃度については、夏の No.8 須藤、No.9 富岡橋の 1 mg/l が最も高い値であり、他の季節、他の地点においては 0.5 mg/l 以下であった。

3. 4 考察

3. 4. 1 有機物

各季節の溶存態炭素濃度を Fig.19.1, 19.2 (それぞれp.70, p.71) に示した。溶存態炭素については全体的な傾向として、春、夏、秋、冬のいずれの季節においても、全ての地点で、溶存無機炭素濃度が溶存有機炭素濃度より高いことが見いだされた。また、地点変化としては溶存無機炭素濃度、溶存有機炭素濃度ともに、上流から下流にかけて漸増しているが、季節によっては中流域において濃度が変化せず、下流で増加するパターンも示した。これは、下流流域のNo.9 富岡橋周辺に大宮町などの生活圏が存在することが原因であると考えられる。また No.10 岩舟橋では、溶存態炭素濃度は周辺の民家や田畑の影響でさらに増加するとも考えられたが、No.9 富岡橋、とNo.10 岩舟橋との差はあまり大きくなかった。このため No.9 富岡橋 とNo.10 岩舟橋の間の民家や田畑は大きな溶存態炭素の供給源にはなっていないと考えられる。

降雨による流況の変化としては、降雨中の河川水中溶存態炭素では溶存有機炭素の増大が観測されたことが興味深い。この溶存有機炭素濃度の増大は、降雨後にはすぐに平水時のレベルに復帰したことからも、地下からの流入でなく、地表に貯留されていたものが降雨により一気に流入したものと考えられる。

季節変化については、3.3.6 溶存態炭素の項目ですでに述べたが溶存無機炭素、溶存有機炭素濃度はどちらも春、夏に高く、秋に低い濃度を示した。溶存無機炭素、溶存有機炭素ともに秋に濃度が低くなった理由については秋に流量が増加したためであると思われる。これから、平水時の河川水への溶存無機炭素、溶存有機炭素の供給は季節によって余り変化せず、溶存態炭素濃度は河川の流量による影響を大きく受けるものと考えられる。

各季節の懸濁態炭素濃度を Fig.19.3,19.4 に示した。3.3.6 懸濁態炭素で述べたようにデータが少ないが、中流から下流にかけては、懸濁態炭素においても各季節とも無機炭素のほうが、有機炭素より多いようである。懸濁物には藻などが剥離したもの、植

物が分解したものなどが含まれ、有機炭素の量が無機炭素の量より多いと予測したが、そのような測定結果は得られなかった。この理由として懸濁態炭素の測定に問題があることが考えられる。これについては、問題点及び課題の項目(3.5)に述べる。

3. 4. 2 電気伝導度及びイオン濃度

炭素化合物以外の、他の項目に関しても今回のサンプリングを通して、地点変化、降雨による流況による変化、季節変化、などの知見を得ることができた。その中でも電気伝導度や溶存イオン濃度の季節変化が明瞭に観察された。電気伝導度は春と夏はほとんど同じ傾向を示し、上流で $90 \mu\text{S}/\text{cm}$ 、中流で $140 \mu\text{S}/\text{cm}$ 、下流で $190 \mu\text{S}/\text{cm}$ 程度であった。秋には全体的に低い値で、 $60\sim 140 \mu\text{S}/\text{cm}$ 程度であった。これは、秋に河川の流量が増加した事による希釈の効果であると考えられる。電気伝導度の値からは、秋のイオン濃度は他の季節に比べ全体的に低いことが予測できるが、イオン種個別にみると流量の増加に対し、濃度が増加するもの、低下するもの、変化しないものがあった。これは季節変化を含めた各イオンの起源と降雨時の物質流出過程(降水による地表面、河川内蓄積物質の洗いだし、雨水による希釈など)との複合結果である。

3. 5 問題点及び課題

懸濁態炭素濃度の測定の精度が低かった原因及び測定上の問題点について述べる。測定精度が低かった理由として次の事が挙げられる。1) 懸濁物は水中に不均一に存在しており、これが測定の繰り返し精度を下げる結果となる。2) さらに測定器の試料採取ニードルの径が 0.2 mm と小さく、これ以上の粒子は測定する事ができず、これも測定の精度が落ちる原因になっていると思われる。3) 第3に試料の吸引量は $25\sim 50 \mu\text{l}$ であり分析炭素量の絶対量が少ないことも大きな要因と考えられる。

1) については、できるだけ懸濁物が均一に分布するように、測定する前に超音波洗浄機により破碎を行った。超音波洗浄器による破碎の効果を調べるために破碎の時間

を、0、1、5、10分と変化させた測定を、No.3, 4, 9, 10 の地点の試料について行った。その結果、破碎の時間を長くしても測定濃度にはあまり影響がないことが分かった。本報告書の分析では、各サンプルを5分間超音波洗浄器にかけた後に測定を行った。しかし、5分間超音波洗浄器にかけても目に見える程度の懸濁物が残っており、懸濁物を均一にすることはできなかった。

2) については、より径が大きい、内径が0.5 mmの懸濁物用のチューブを使用した測定も行った。この測定も3回測定し平均を採った。しかしながら測定の繰り返し精度が劣りデータの信頼性が低かった。この測定の繰り返し精度が劣る原因として、チューブの径が0.5 mmになり、大きい懸濁物も注入できるようになったが、試料の注入量は少量のままであったために、注入溶液中の懸濁物の割合にばらつきが大きかった可能性がある。

3) に関する試料の注入量は、測定された試料の濃度によって検出部で信号がオーバースケールしないように調節され、今回の様な測定では25~50 μ lであった。これは、溶存態炭素のように均一な使用に対しては十分な量であるが、懸濁物を含む試料のように不均一なものでは、どうしても注入量中の懸濁物の量にばらつきがでてしまうとみられる。これらの対策として、注入する試料の量を大きくすることがある程度有効であるが、試料の注入（吸引）にチューブを使用しているために限界がある。そこで、懸濁物を遠心器等で濃縮した後に測定を行うのが有効であると考ええる。さらに、懸濁物のみを大量に捕集できれば炭素の測定もかなり容易になるはずである。ただし、測定できる程度の量の捕集に約半日程度かかるの欠点がある。

他に採水時の流況の問題があげられる。今回は降雨による影響を主目的にしたサンプリングではなかったが、降雨による影響を調べるためには、同じ地点で降雨前から細かい時間間隔でサンプリングを行う必要があり今後の実験手法上の課題である。

4. 結 語

北関東の久慈川において、河川水中の溶存イオンならびに溶存有機物濃度の地点変化と季節変化を調査した。主要溶存イオン濃度は、上流から下流に至るにともない漸増し、約100 kmの流下に対して2倍の増加を示した。季節変化としては、春季に最も高く、降雨の多い秋季に最も低かった。そのイオン組成は Na^+ 、 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} を主成分として、各地点、各季節でほぼ一定であった。溶存有機物濃度は主要溶存イオンと同様に、上流で低く下流で約2倍に増加した。そのレベルは1-3 mg/l であり陸水中濃度としては低いものである。溶存有機物濃度は、春季に高く秋季に低い点では溶存イオンと同じであるが、冬季も秋季と同様に最も低い値であった。降雨による流況の変化としては、溶存有機炭素の増大が観測されたことが興味深い。この溶存有機炭素の増大は、平水時の季節的変動を大きく上回った。有機物の増加分は、地表に貯留されていたものが降雨により流入したものと推定されるが、河川による有機物ならびにこれに結合した物質の輸送の観点から今後詳細に調査を行いたい。また、本研究で採取した河川水試料中の溶存有機物については、長尾ら、鈴木らが詳細な特性分析を進めており、すでに溶存有機物の分子量がほぼ1万以下であること、溶存有機物は主にフルボ酸であることが明らかにされている^{39),40)}。

以上に述べた結果は、放射性核種と移動性の錯体を形成し得る河川水中溶存有機物濃度の変動特性とその存在環境に係わる報告として有用なものである。

謝 辞

本研究を進めるにあたり有益なご意見を下さった天然バリア研究室の長尾誠也研究員ならびに環境化学研究室の新麻里子研究員に感謝の意を表します。建設省常陸工事事務所からは久慈川での試料採取にあたり多大の便宜をいただきました。東海大学工学部 田畑米穂教授、日本原子力研究所環境安全研究部 森内茂(前)部長、海洋環境研究室 小林義威室長には、本研究の機会を与えて頂いた事に感謝致します。

参考文献

- (1) Matsunaga, T., Amano, H. and Yanase, N. : Discharge of dissolved and particulate ^{137}Cs in the Kuji River, Japan, *Appl. Geochem.*, 6, 159-167 (1991).
- (2) Matsunaga, T., Amano, H., Ueno, T., Yanase, N. and Kobayashi, Y. : The role of suspended particles in the discharge of ^{210}Pb and ^7Be within the Kuji River watershed, Japan, *J. Environ. Radioactivity*, 26, 3-17 (1995).
- (3) Drever, J. I. : The geochemistry of natural waters (second edition), pp. 39-47, Prentice Hall (1988).
- (4) 筒木潔 : フミン物質 (腐植物質) の生成機構とその性質、水環境学会誌、18、252-256 (1995).
- (5) Saar R. A., and Weber J.H. : Fulvic acid:modifier of metal-ion chemistry, *Environ. Sci. Technol.*, 16, 510A-517A (1982) .
- (6) Nissenbaum A. and Swaine D.J. : Organic matter-metal interactions in Recent sediments : the role of humic substances, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 40, 817 (1975) .
- (7) Mantoura, R.F.C., Dickson, A. and Riley, J. P. : The complexation of metals with humic materials in natural waters, *Estuarine and Coastal Marine Science*, 6, 387-408 (1978) .
- (8) Saar R. A., and Weber J.H. : Lead(II) complexation by fluvic acid : how it differs from fluvic acid complexation of copper (II) and cadmium(II), *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44, 1381-1384 (1980) .
- (9) Holm, T.R. and Curtiss III C. D. : Copper complexation by natural organic matter in ground water, In Chemical Modelling of Aqueous Systems II, American Chemical Society, 509-518 (1990) .
- (10) Clark, S. B. and Choppin G. R. : Kinetics of rare earth metal binding to aquatic humic acids, *ibid*, 518-525.
- (11) Westall, J. C., Jones, J. D., Turner, G. D. and J. M. Zachara : Model for association of metal ions with heterogeneous environmental sorbents. 1. Complexation of Co(II) by leonardite humic acid as a function of pH and NaClO_4 concentration, *Environ. Sci. and Technol.*, 29, 951-959 (1995) .
- (12) Bors, J., Martens, R. and Kuhn, W. : Studies on the role of natural and anthropogenic organic substances in the mobility of radioiodine in soils, *Radiochimica Acta*,

44/45, 201-206 (1988) .

- (13) Choppin, G. R. : Humics and radionuclide migration, *ibid*, 44/45, 23-28 (1988)
- (14) Choppin, G. R. : The role of natural organics in radionuclide migration in natural aquifer systems, *ibid*, 58/59, 113-120 (1992).
- (15) Moulin, V. Caceci, M., Theyssier, M. : In *Lecture Notes in Earth Sciences*, Humic substances in the aquatic and terrestrial environments (eds. B. Allard and H. Boren), 33, 305-313 (1990)
- (16) Moulin, V. and Tits, J. : Complexation behavior of humic substances towards actinides and lanthanides studied by time-resolved laser-induced spectrofluorometry, *Radiochimica Acta*, 58/59, 121-128 (1992).
- (17) Melcom, R. L. : Geochemistry of stream fluvic and humic substances, In *Humic substances in soil, sediment, and water - Geochemistry, Isolation, and Characterization* - (eds. G.R.Aiken et al.), 181-109, John Wiley & Sons (1985).
- (18) 長尾誠也、松本潤子、坂本義昭、香西直文、田中忠夫、大貫敏彦、妹尾宗明、馬場恒孝、関根敬一、村岡進：地層中における放射性核種の挙動に及ぼす腐植物質の影響－研究の現状と環境安全研究部の将来計画－、私信 (1995) .
- (19) 菅野卓治、フミン物質の性質と核種移行への影響、私信 (1995) .
- (20) Sakamoto, Y. et al. : Influence of humic acid on sorption of neptunium(V) on soil, *Mat. Res. Soc. Proc.*, 353, 997-1004 (1995) .
- (21) Esho, R.T. and Benson-Evans, K.: Seasonal variations of dissolved matter in river Ely, South Wales, U.K. , *Limnologica*, 16, 9 , (1984) .
- (22) Part N. et al. : Seasonal change in particulate organic carbon and nitrogen in the river and drainage channels of the Ebro Delta (NE Spain) , *Verh. Internat. Verein. Limnol.* ,23, 1344 (1988) .
- (23) Yamaguti Y. Satoh H. and Aguti Y. : Seasonal change of organic carbon and nitrogen Production by Phytoplankton in the Estuary of River Tamagawa , *Marine Pollution Bulletin.*, 23, 723 (1991) .
- (24) 大久保卓也、村上昭彦、利根川における水質および流量の経年変化、用水と排水、37, 103-110 (1995a) .
- (25) 大久保卓也、村上昭彦、利根川における水質経年変化と流域環境変化の関連分析、用水と排水、37, 202-211 (1995b) .
- (26) 二宮勝幸、河川水質データの時系列解析－気象および社会因子による過去15年間の水質変化－、用水と排水、36, 107-114 (1994) .

- (27) 小林正雄、猪名川流域の流量変化による溶存成分濃度の変化について、用水と排水、21, 1331-1337 (1979) .
- (28) 酒井幸子、氏家淳雄、渡良瀬川高津戸地点における降雨時の水質の変化、用水と排水、21, 1287-1298 (1979) .
- (29) 国土庁土地局国土調査課：茨城、栃木、東京地域主要水系調査書 (1980) .
- (30) 岩生周一、木村敏雄：一般地質学, 朝倉書店, Tokyo (1973) .
- (31) 北野康：地球環境の化学、裳華堂、Tokyo (1984) .
- (32) 村田吉男、宮地重遠：光合成と物質生産、Tokyo (1975) .
- (33) 財団法人日本地図センター：土地分類図 (茨城県) (1993) .
- (34) 財団法人日本地図センター：土地分類図 (福島県) (1993) .
- (35) 国立天文台：理科年表、丸善 (1994) .
- (36) 海老瀬潜一：陰イオン物質流出動態の土地利用形態による相違: 第30回水理講演会論文集、37 (1986) .
- (37) 平田建正、村岡浩爾：山地小流域における溶存物質の降雨流出特性について: 第30回水理講演会論文集, 43 (1986) .
- (38) 飯田貞夫：やさしい陸水学、文化書房博文堂 (1993) .
- (39) 鈴木康弘、長尾誠也、中口 謙、松永 武、村岡 進：久慈川河川水中の溶存腐植物質の特徴 (1)：三次元蛍光スペクトルによる検討、日本地球化学会、1995年年会。
- (40) 長尾誠也、鈴木康弘、松永 武、天野 光：久慈川河川水中の溶存腐植物質の特徴 (2)：分子量分布による考察、日本地球化学会、1995年年会。

Tables & Figures

Tables : Table 1 ~ Table 17.2

Figures : Figure 1 ~ Figure 20.9

全体目次は、本報告冒頭に記した。

本文での参照には、本文中に頁数を示した。

Table 1 Classification of carbon compounds in river water

Carbon Compounds in River Water	Total Particulate Carbon (TPC)	Particulate Organic Carbon (POC)	
		Particulate Inorganic Carbon (PIC)	
	Total Dissolved Carbon (TDC)	Dissolved Organic Carbon (DOC)	Volatile Organic Carbon (VOC)
			Non-Volatile Organic Carbon (NVOC)
		Dissolved total inorganic carbon (DIC)	

河川中の炭素化合物は、その存在形態から溶存している溶存態炭素、懸濁物中に含まれる懸濁態炭素に分類できる。さらに、それぞれは有機炭素(Total Organic Carbon:TOC)と、無機炭素(Inorganic Carbon:IC)に分類できる。有機炭素と無機炭素を合わせて全炭素(Total Carbon:TC)と呼ぶ。有機炭素は動物や植物などの有機物に由来し、無機炭素は主に岩石や土壌などの無機物に由来する。

溶存している有機炭素は、分析の上ではさらに、有機溶媒のように揮発性のものを本報告では揮発性有機炭素(Volatile Organic Carbon:VOC)と呼び、これを通気処理によって除いたものを不揮発性有機炭素(Non-Volatile Organic Carbon:NVOC)と呼んでいる。

Table 2 Classification of chlorophyll in plants

Chlorophyll	Chlorophyte	chlorophyceae	Cryptophyceae	Diatomeae	Cyanophyceae
Chlorophyll a	◎	◎	◎	◎	◎
Chlorophyll b	○	○			
Chlorophyll c			△	△	

◎、○、△ mean an index amount of chlorophyll

Table 3 Water quality in May 1994

Point No.	Date	Time	Place	Weather	temp. (°C)	pH	cond. (μ S/cm)	ORP (mV)	SS (mg/l)
No.1	24-May	11:01	Tanakura	fine	17.0	6.8	85.8	226	5.0
No.2	24-May	12:45	Tohnoki	fine	18.1	6.8	62.0	226	6.1
No.3	24-May	1:30	Hanawa	fine	23.2	8.7	132.0	220	7.8
No.4	24-May	3:40	Uenomiya	fine	18.1	7.1	83.0	204	1.1
No.5	24-May	4:50	Daigo	fine	24.6	8.4	129.3	166	5.2
No.6	24-May	5:50	Osigawa	fine	24.1	6.9	167.3	201	4.6
No.7	24-May	6:00	Fukuroda	fine	23.6	8.4	126.5	168	7.3
No.10	25-May	9:40	Iwafune	fine	21.9	7.1	182.9	213	16.6
No.7	27-May	7:10	Fukuroda	rainy	18.5	7.3	81.2	231	151.6
No.10	27-May	4:50	Iwafune	rainy	17.9	6.8	92.4	300	304.3
No.1	28-May	8:15	Tanakura	after raining	12.7	8.4	60.3	350	39.4
No.2	28-May	9:56	Tohnoki	after raining	8.7	7.5	66.7	292	20.9
No.3	28-May	11:20	Hanawa	after raining	15.5	5.9	95.0	272	82.6
No.4	28-May	1:40	Uenomiya	after raining	13.7	7.9	62.3	417	13.2
No.5	28-May	3:20	Daigo	after raining	17.6	7.4	77.6	313	100.2
No.6	28-May	4:20	Osigawa	after raining	18.3	7.8	101.8	335	20.1
No.7	28-May	5:15	Fukuroda	after raining	17.3	7.3	86.1	274	81.9
No.10	28-May	7:05	Iwafune	after raining	18.3	7.7	95.2	293	126.4

Table 4 Concentration of dissolved and particulate carbon compounds in May 1994

Point No.	Date	Place	concentration of carbon compounds (mg CA)												
			dissolved carbon					suspended (particulate) carbon							
			total	organic	DOC	inorganic	DIC	total	organic	POC	inorganic	PIC			
DTC	DOC	DOC	DIC	DIC	PTC	POC	POC	PIC	PIC						
No.1	24-May	Tanakura	7.63	0.97	0.97	6.67									
No.2	24-May	Tohnoki	7.40	1.42	1.42	5.98									
No.3	24-May	Hanawa	11.81	2.76	2.76	9.05									
No.4	24-May	Uenomiya	8.89	1.10	1.10	7.79					0.32	0.40	0.00	0.00	
No.5	24-May	Daigo	10.48	2.27	2.27	8.21					20.14	0.19	19.95	0.00	
No.6	24-May	Osigawa	12.58	2.23	2.23	10.35					0.07	0.31	0.00	0.00	
No.7	24-May	Fukuroda	12.28	2.78	2.78	9.50					1.94	0.86	1.08	0.00	
No.10	25-May	Iwafune	14.64	4.43	4.43	10.21					1.60	0.02	1.58	0.00	
No.7	27-May	Fukuroda	13.09	4.74	4.74	8.35					1.01	1.44	0.00	0.00	
No.10	27-May	Iwafune	13.56	4.78	4.78	8.78					7.61	0.98	6.63	0.00	
No.1	28-May	Tanakura	6.50	1.58	1.58	4.93					0.00	0.38	0.00	0.00	
No.2	28-May	Tohnoki	7.02	2.57	2.57	4.45									
No.3	28-May	Hanawa	7.52	2.40	2.40	5.13					1.28	0.31	0.97	0.00	
No.4	28-May	Uenomiya	4.94	1.57	1.57	3.38					1.70	1.12	0.57	0.00	
No.5	28-May	Daigo	6.76	2.03	2.03	4.74					3.30	1.02	2.28	0.00	
No.6	28-May	Osigawa	8.71	2.85	2.85	5.86					0.60	0.61	0.00	0.00	
No.7	28-May	Fukuroda	7.29	2.41	2.41	4.88					2.33	0.24	2.10	0.00	
No.10	28-May	Iwafune	8.19	3.29	3.29	4.90					3.41	1.19	2.22	0.00	

Table 5.1 Concentration of major cations and anions in May 1994

Point No.	Date	Place	Cl	NO ₃	SO ₄	Na	K	Ca	Mg
No.1	24-May	Tanakura	2.9	1.5	11.1	2.6	0.4	7.9	1.8
No.2	24-May	Tohnoki	4.1	1.2	3.8	3.0	1.0	4.7	0.9
No.3	24-May	Hanawa	9.5	2.8	13.6	7.0	6.3	14.0	2.3
No.4	24-May	Uenomiya	3.2	1.6	6.3	3.9	0.8	10.4	1.5
No.5	24-May	Daigo	8.5	2.7	14.4	8.5	2.5	14.9	2.5
No.6	24-May	Osigawa	9.9	2.1	28.7	14.8	1.8	16.2	3.7
No.7	24-May	Fukuroda	7.1	2.4	14.4	7.7	1.7	15.2	1.7
No.10	25-May	Iwafunc	11.3	3.3	27.8	11.3	5.2	18.0	4.1
No.7	27-May	Fukuroda	4.2	3.8	10.2	0.6	7.4	8.4	1.7
No.10	27-May	Iwafunc	4.8	3.8	13.1	0.7	10.1	7.9	2.0
No.1	28-May	Tanakura	4.1	3.2	7.4	2.4	3.1	5.3	1.4
No.2	28-May	Tohnoki	4.6	1.6	3.6	4.0	3.8	4.8	1.0
No.3	28-May	Hanawa	5.6	3.4	10.7	2.9	4.0	8.6	1.8
No.4	28-May	Uenomiya	4.2	4.1	5.7	2.6	2.5	6.6	1.0
No.5	28-May	Daigo	3.8	3.8	10.1	3.3	2.0	8.7	1.7
No.6	28-May	Osigawa	5.4	4.8	13.6	6.1	2.9	9.2	2.3
No.7	28-May	Fukuroda	3.8	4.0	10.7	4.3	1.9	8.8	1.8
No.10	28-May	Iwafunc	4.0	4.6	14.6	5.9	3.4	11.1	2.3

Table 5.2 Concentration of trace elements in May 1994

Point No.	Date	Place	Fe	Mn	Pb	Si	Sr	Ba
No.1	24-May	Tanakura	0.02	0.01	0.014	4.36	0.051	0.0043
No.2	24-May	Tohnoki	0.02	ND	0.015	6.38	0.037	0.0046
No.3	24-May	Hanawa	0.05	0.02	ND	6.27	0.075	0.0081
No.4	24-May	Uenomiya	ND	ND	ND	6.12	0.071	0.0062
No.5	24-May	Daigo	0.04	0.01	0.017	5.73	0.078	0.0075
No.6	24-May	Osigawa	0.04	0.03	0.02	4.66	0.091	0.011
No.7	24-May	Fukuroda	0.03	0.01	0.012	5.48	0.079	0.011
No.10	25-May	Iwafune	0.11	0.06	0.011	6.33	0.098	0.016
No.7	27-May	Fukuroda	0.06	0.01	0.052	5.28	0.046	0.011
No.10	27-May	Iwafune	0.09	0.04	0.014	7.93	0.042	0.0074
No.1	28-May	Tanakura	0.01	0.01	0.0056	4.68	0.039	0.0029
No.2	28-May	Tohnoki	0.10	0.01	0.029	6.43	0.04	0.01
No.3	28-May	Hanawa	0.03	0.02	0.012	5.54	0.048	0.0077
No.4	28-May	Uenomiya	0.01	ND	0.0083	5.17	0.048	0.0066
No.5	28-May	Daigo	0.06	0.01	0.011	5.58	0.047	0.0052
No.6	28-May	Osigawa	0.04	0.01	0.025	7.03	0.054	0.0097
No.7	28-May	Fukuroda	0.04	0.01	ND	5.79	0.049	ND
No.10	28-May	Iwafune	0.04	0.02	ND	6.51	0.051	0.001

Table 6 Water quality in June 1994

Point No.	Date	Time	Place	Weather	temp. (°C)	pH	cond. (μ S/cm)	ORP (mV)	DO (ppm)	SS (mg/l)
No.10	24-Jun	12:00	Iwafune	fine	21.9	7.78	187	216	6.8	10.6
No.10	24-Jun	15:00	Iwafune	fine	23.7	7.76	177.8	225	7.1	10.0
No.10	24-Jun	18:00	Iwafune	fine	22.9	7.82	173.2	246	7.2	8.4

Table 7 Concentration of dissolved and particulate carbon compounds in June 1994

Point No.	Date	Place	concentration of carbon compounds (mg C/l)					
			dissolved carbon			suspended (particulate) carbon		
			total	organic	inorganic	total	organic	inorganic
			DTC	DOC	DIC	PTC	POC	PIC
No.10	24-Jun	Iwafune	14.72	3.23	11.49	0.00	0.00	0.00
No.10	24-Jun	Iwafune	14.20	2.84	11.36	0.39	0.00	0.39
No.10	24-Jun	Iwafune	14.43	3.33	11.10	0.34	0.00	0.34

Table 8.1 Concentration of major cations and anions in June 1994

Point No.	Date	Place	(ppm)									
			Cl	NO ₃	SO ₄	HCO ₃	Na	K	Ca	Mg		
No.10	24-Jun	Iwafune	11.6	7.0	21.9	66.0	11.8	5.5	17.6	3.9		
No.10	24-Jun	Iwafune	10.1	11.4	21.7	66.0	11.2	4.0	16.3	3.8		
No.10	24-Jun	Iwafune	9.1	12.6	21.6	66.0	11.5	4.6	22.9	7.8		

Table 8.2 Concentration of trace elements in June 1994

Point No.	Date	Place	Fe	Mn	Pb	Si	Ba	Sr
No.10	24-Jun	Iwafune	0.15	0.04	ND	4.98	0.0054	0.097
No.10	24-Jun	Iwafune	0.16	0.03	ND	5.03	0.004	0.096
No.10	24-Jun	Iwafune	2.27	0.06	0.01	5.05	0.0047	0.1

Table 9 Water quality in July 1994

Point No.	Date	Time	Place	Weather	temp. (°C)	pH	cond. (μ S/cm)	ORP (mV)	DO (ppm)	SS (mg/l)
No.1	25-Jul	11:30	Tanakura	fine	27.1	7.98	91.3	233	7.0	4.0
No.2	25-Jul	16:27	Tohnoki	fine	24.4	7.90	63.9	178	5.9	32.9
No.3	25-Jul	18:29	Hanawa	fine	29.1	8.07	120.3	207	6.8	4.1
No.4	26-Jul	9:45	Uenomiya	cloudy	19.3	6.89	83.8	-	6.9	1.8
No.5	26-Jul	11:30	Daigo	fine	27.4	8.99	122.7	166.0	7.4	4.5
No.6	26-Jul	14:05	Osigawa	fine	27.6	7.52	138.1	190.0	6.5	6.7
No.7	26-Jul	15:30	Fukuroda	fine	30.9	9.34	128.4	147.0	6.0	3.7
No.8	26-Jul	17:05	Sagarifuji	fine	29.3	8.60	135.8	172.0	5.9	3.8
No.9	26-Jul	19:20	Tomioka	fine	28.7	7.51	159.6	192.0	4.5	5.6
No.10	27-Jul	11:00	Iwafune	fine	28.6	7.64	168.6	204.0	6.3	6.7

Table 10 Concentration of dissolved and particulate carbon compounds in July 1994

Point No.	Date	Place	concentration of carbon compounds (mg C/l)											
			dissolved carbon					suspended (particulate) carbon						
			total	organic	inorganic	DOC	DIC	total	organic	inorganic	POC	PIC		
No.1	25-Jul	Tanakura	9.00	1.53	7.46	1.53	7.46	2.09	1.53	0.55				
No.2	25-Jul	Tohnoki	8.25	2.31	5.94	2.31	5.94	1.39	2.31	0.00				
No.3	25-Jul	Hanawa	12.81	2.81	10.00	2.81	10.00	2.40	2.81	0.00				
No.4	26-Jul	Uenomiya	8.06	1.38	6.67	1.38	6.67	1.29	1.38	0.00				
No.5	26-Jul	Daigo	11.20	1.83	9.37	1.83	9.37	1.71	1.83	0.00				
No.6	26-Jul	Osigawa	12.49	1.73	10.77	1.73	10.77	2.12	1.73	0.40				
No.7	26-Jul	Fukuroda	10.61	3.08	7.53	3.08	7.53	1.13	3.08	0.00				
No.8	26-Jul	Sagarifuji	11.07	1.57	9.50	1.57	9.50	3.11	1.57	1.54				
No.9	26-Jul	Tomioka	12.97	2.13	10.84	2.13	10.84	4.73	2.13	2.60				
No.10	27-Jul	Iwafune	13.90	3.15	10.75	3.15	10.75	2.27	3.15	0.00				

Table 11.1 Concentration of major cations and anions in July 1994
(ppm)

Point No.	Date	Place	Cl	NO ₃	SO ₄	HCO ₃	Na	K	Ca	Mg
No.1	25-Jul	Tanakura	4.7	3.0	12.4	42.1	4.0	1.1	11.7	2.6
No.2	25-Jul	Tohnoki	3.0	9.8	3.9	33.0	6.1	4.2	7.2	1.3
No.3	25-Jul	Hanawa	4.9	25.4	9.9	57.8	6.8	2.0	16.1	2.4
No.4	26-Jul	Uenomiya	2.3	10.8	6.0	37.1	3.6	0.9	10.2	1.4
No.5	26-Jul	Daigo	6.2	3.8	10.6	57.8	6.8	1.6	16.1	2.5
No.6	26-Jul	Osigawa	6.5	3.2	15.7	59.4	10.2	2.0	15.5	3.3
No.7	26-Jul	Fukuroda	6.9	18.5	12.0	63.5	8.0	2.0	15.1	2.7
No.8	26-Jul	Sagarifuji	6.6	1.8	13.8	60.2	9.2	2.5	16.5	3.0
No.9	26-Jul	Tomioka	6.1	3.7	22.2	63.5	11.3	2.1	17.4	3.5
No.10	27-Jul	Iwafune	8.8	21.1	22.5	66.0	11.5	2.7	17.9	4.0

Table 11.2 Concentration of trace elements in July 1994

Point No.	Date	Place	Fe	Mn	Pb	Si	Sr	Ba
No.1	25-Jul	Tanakura	0.02	0.0021	ND	6.605	0.0757	0.0018
No.2	25-Jul	Tohnoki	0.05	0.0019	ND	6.635	0.0618	0.0053
No.3	25-Jul	Hanawa	0.06	0.0141	ND	7.017	0.0773	0.0045
No.4	26-Jul	Uenomiya	ND	ND	0.0095	6.635	0.0618	0.0053
No.5	26-Jul	Daigo	0.04	0.0021	ND	6.005	0.0790	0.0014
No.6	26-Jul	Osigawa	0.01	0.0156	ND	6.783	0.0882	0.0051
No.7	26-Jul	Fukuroda	0.03	0.0019	ND	5.912	0.0824	0.0025
No.8	26-Jul	Sagarifuji	0.10	0.0003	ND	6.261	0.0837	0.0027
No.9	26-Jul	Tomioka	0.04	0.0052	ND	7.137	0.0893	0.0063
No.10	27-Jul	Iwafune	0.06	0.0297	0.0051	7.073	0.0958	0.0103

Table 12 Water quality in October 1994

Point No.	Date	Time	Place	Weather	temp. (°C)	pH	cond. (μ S/cm)	ORP (mV)	DO (ppm)	SS (mg/l)
No.1	30-Oct	11:11	Tanakura	cloudy	13.9	8.30	60.8	275	-	3.6
No.2	30-Oct	13:50	Tohnoki	fine	17.3	7.70	38.9	126	-	11.6
No.3	30-Oct	15:37	Hanawa	cloudy	15.7	8.40	73.4	239	-	2
No.4	31-Oct	6:40	Uenomiya	cloudy	12.9	7.39	59.5	267	-	0.6
No.5	31-Oct	8:26	Daigo	cloudy	14.2	8.10	79.8	211	-	0
No.6	31-Oct	9:59	Osigawa	fine	15.5	7.98	95.3	203	-	6.7
No.7	31-Oct	11:28	Fukuroda	cloudy	15.5	8.97	81.3	227	-	3.7
No.8	31-Oct	13:15	Sagarifuji	fine	16.6	8.77	90.3	202	-	9.9
No.9	31-Oct	15:10	Tomioka	cloudy	18.0	7.83	101.0	248	-	7.6
No.10	30-Oct	7:40	Iwafune	cloudy	16.9	7.16	134.9	123	-	5

Table 13 Concentration of dissolved and particulate carbon compounds in October 1994

Point No.	Date	Place	concentration of carbon compounds (mg C/l)											
			dissolved carbon					suspended (particulate) carbon						
			total	organic	DOC	DIC	total	organic	inorganic	DOC	POC	PTC		
No.1	30-Oct	Tanakura	6.35	0.91	5.43	0.00	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
No.2	30-Oct	Tohnoki	5.78	1.35	4.43	0.72	0.22	0.50	0.72	0.22	0.50	0.72	0.22	0.50
No.3	30-Oct	Hanawa	7.62	1.26	6.36	0.45	0.07	0.38	0.45	0.07	0.38	0.45	0.07	0.38
No.4	31-Oct	Uenomiya	6.80	0.71	6.09	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00
No.5	31-Oct	Daigo	8.01	1.11	6.90	0.18	0.22	0.00	0.18	0.22	0.00	0.18	0.22	0.00
No.6	31-Oct	Osigawa	9.15	1.26	7.88	1.49	0.12	1.38	1.49	0.12	1.38	1.49	0.12	1.38
No.7	31-Oct	Fukuroda	8.97	1.39	7.59	0.00	0.14	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.14	0.00
No.8	31-Oct	Sagarifuji	8.76	1.37	7.39	0.45	0.00	0.45	0.45	0.00	0.45	0.45	0.00	0.45
No.9	31-Oct	Tomioka	9.82	1.68	8.14	0.44	0.00	0.44	0.44	0.00	0.44	0.44	0.00	0.44
No.10	30-Oct	Iwafune	10.39	1.70	8.70	1.38	0.28	1.10	1.38	0.28	1.10	1.38	0.28	1.10

Table 14.1 Concentration of major cations and anions in October 1994 (ppm)

Point No.	Date	Place	Cl	NO ₃	SO ₄	Na	K	NH ₄	Ca	Mg
No.1	30-Oct	Tanakura	2.59	10.73	6.48	3.04	2.81	0.00	6.74	1.84
No.2	30-Oct	Tohnoki	3.54	3.67	2.83	3.80	2.87	0.00	4.28	0.93
No.3	30-Oct	Hanawa	3.55	3.93	5.73	4.82	4.33	0.00	8.86	1.91
No.4	31-Oct	Uenomiya	3.87	6.31	4.91	3.54	3.27	0.00	9.70	1.45
No.5	31-Oct	Daigo	4.49	3.97	7.07	5.19	4.52	0.00	9.86	2.09
No.6	31-Oct	Osigawa	4.57	10.86	11.27	7.40	5.35	0.00	11.22	2.70
No.7	31-Oct	Fukuroda	4.51	2.61	7.47	5.69	4.93	0.00	9.63	6.71
No.8	31-Oct	Sagarifuji	4.76	10.98	9.55	5.36	4.67	0.00	10.66	2.26
No.9	31-Oct	Tomioka	5.49	4.12	11.90	6.38	5.32	0.00	11.06	2.42
No.10	30-Oct	Iwafune	6.23	5.32	18.55	8.80	7.47	0.00	13.62	3.67

Table 14.2 Concentration of trace elements in October 1994

Point No.	Date	Place	Fe	Mn	Pb	Si	Sr	Ba
No.1	30-Oct	Tanakura	0.00	0.00	0.02	6.031	0.047	0.01
No.2	30-Oct	Tohnoki	0.00	0.00	0.01	7.661	0.035	0.01
No.3	30-Oct	Hanawa	0.00	0.00	0.01	7.678	0.050	0.01
No.4	31-Oct	Uenomiya	0.00	0.00	0.00	6.476	0.057	0.01
No.5	31-Oct	Daigo	0.00	0.00	0.00	6.831	0.056	0.01
No.6	31-Oct	Osigawa	0.00	0.00	0.02	6.772	0.063	0.01
No.7	31-Oct	Fukuroda	0.00	0.00	0.01	6.706	0.056	0.01
No.8	31-Oct	Sagarifuji	0.00	0.00	0.00	6.212	0.059	0.01
No.9	31-Oct	Tomioka	0.00	0.00	0.04	6.431	0.059	0.01
No.10	30-Oct	Iwafune	0.00	0.00	0.00	7.902	0.075	0.02

Table 15 Water quality in February 1995

Point No.	Date	Time	Place	Weather	temp. (°C)	pH	cond. (μ S/cm)	ORP (mV)	DO (ppm)	SS (mg/l)
No.1	21-Feb	9:45	Tanakura	fine	1.5	7.26	77.9	-	-	4.4
No.2	21-Feb	12:15	Tohnoki	fine	1.6	7.32	55.6	-	-	11.5
No.3	21-Feb	13:50	Hanawa	fine	5.5	7.92	97.8	-	-	14.1
No.4	21-Feb	15:50	Uenomiya	fine	4.6	7.60	89.3	-	-	6.2
No.5	21-Feb	17:25	Daigo	fine	4.8	8.94	105.9	-	-	12.5
No.6	22-Feb	7:30	Osigawa	fine	2.7	7.21	149.7	-	-	8.2
No.7	22-Feb	10:40	Fukuroda	cloudy	2.9	8.34	114.4	-	-	9.6
No.8	22-Feb	12:35	Sagarifuji	fine	5.3	8.69	125.5	-	-	9.4
No.9	22-Feb	14:35	Tomioka	fine	8.2	7.72	134.0	-	-	5.5
No.10	22-Feb	16:10	Iwafune	cloudy	6.6	7.57	167.5	-	-	23.6

"-": not measured

Table 16 Concentration of dissolved and particulate carbon compounds in February 1995

Point No.	Date	Place	concentration of carbon compounds (mg C/l)											
			dissolved carbon			suspended (particulate) carbon			total					
			total	organic	inorganic	total	organic	inorganic	DOC	DIC	POC	PTC		
No.1	21-Feb	Tanakura	6.33	1.01	5.32	0.05	0.00	0.05	0.00	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00
No.2	21-Feb	Tohnoki	5.38	0.78	4.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
No.3	21-Feb	Hanawa	8.43	1.29	7.14	0.00	0.21	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
No.4	21-Feb	Uenomiya	7.94	0.95	6.99	0.54	0.50	0.04	0.50	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
No.5	21-Feb	Daigo	8.93	1.52	7.41	0.00	0.27	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
No.6	22-Feb	Osigawa	9.81	1.20	8.62	0.00	0.13	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
No.7	22-Feb	Fukuroda	9.20	1.46	7.74	0.00	0.23	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
No.8	22-Feb	Sagarifuji	9.74	1.63	8.11	0.00	0.12	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
No.9	22-Feb	Tomioka	9.97	1.33	8.65	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
No.10	22-Feb	Iwafune	11.44	1.63	9.81	0.13	0.71	0.00	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Table 17.1 Concentration of major cations and anions in February 1995
(ppm)

Point No.	Date	Place	Cl	NO ₃	SO ₄	Na	K	NH ₄	Ca	Mg
No.1	21-Feb	Tanakura	1.82	3.05	8.63	3.69	0.81	0.00	8.9	2.0
No.2	21-Feb	Tohnoki	3.91	2.73	2.74	4.05	0.65	0.00	5.5	1.1
No.3	21-Feb	Hanawa	4.18	7.87	7.50	6.73	1.29	0.00	10.0	1.8
No.4	21-Feb	Uenomiya	2.25	2.88	7.17	3.62	0.79	0.00	10.9	1.6
No.5	21-Feb	Daigo	4.64	4.25	8.62	7.08	1.37	0.00	11.4	1.9
No.6	22-Feb	Osigawa	8.42	14.93	19.52	11.98	1.96	0.00	14.0	2.9
No.7	22-Feb	Fukuroda	5.06	7.88	9.49	7.91	1.30	0.00	11.9	2.0
No.8	22-Feb	Sagarifuji	5.98	3.57	11.39	9.06	1.49	0.00	12.6	2.3
No.9	22-Feb	Tomioka	7.66	3.41	13.74	8.22	1.33	0.00	13.8	2.7
No.10	22-Feb	Iwafune	7.31	9.76	19.09	10.33	1.83	0.00	16.3	3.5

Table 17.2 Concentration of trace elements in February 1995

Point No.	Date	Place	Fe	Mn	Pb	Si	Sr	Ba
No.1	21-Feb	Tanakura	0.018	0.002	0.031	5.9	0.092	0.008
No.2	21-Feb	Tohnoki	0.028	0.007	0.034	9.4	0.163	0.007
No.3	21-Feb	Hanawa	0.029	0.013	0.047	8.2	0.302	0.007
No.4	21-Feb	Uenomiya	0.000	0.000	0.000	5.9	0.069	0.002
No.5	21-Feb	Daigo	0.023	0.006	0.022	7.3	0.076	0.115
No.6	22-Feb	Osigawa	0.010	0.006	0.029	6.1	0.060	0.016
No.7	22-Feb	Fukuroda	0.020	0.010	0.026	7.2	0.000	0.009
No.8	22-Feb	Sagarifuji	0.019	0.003	0.001	6.3	0.118	0.012
No.9	22-Feb	Tomioka	0.012	0.005	0.032	6.4	0.065	0.011
No.10	22-Feb	Iwafune	0.054	0.041	0.000	7.1	0.314	0.012

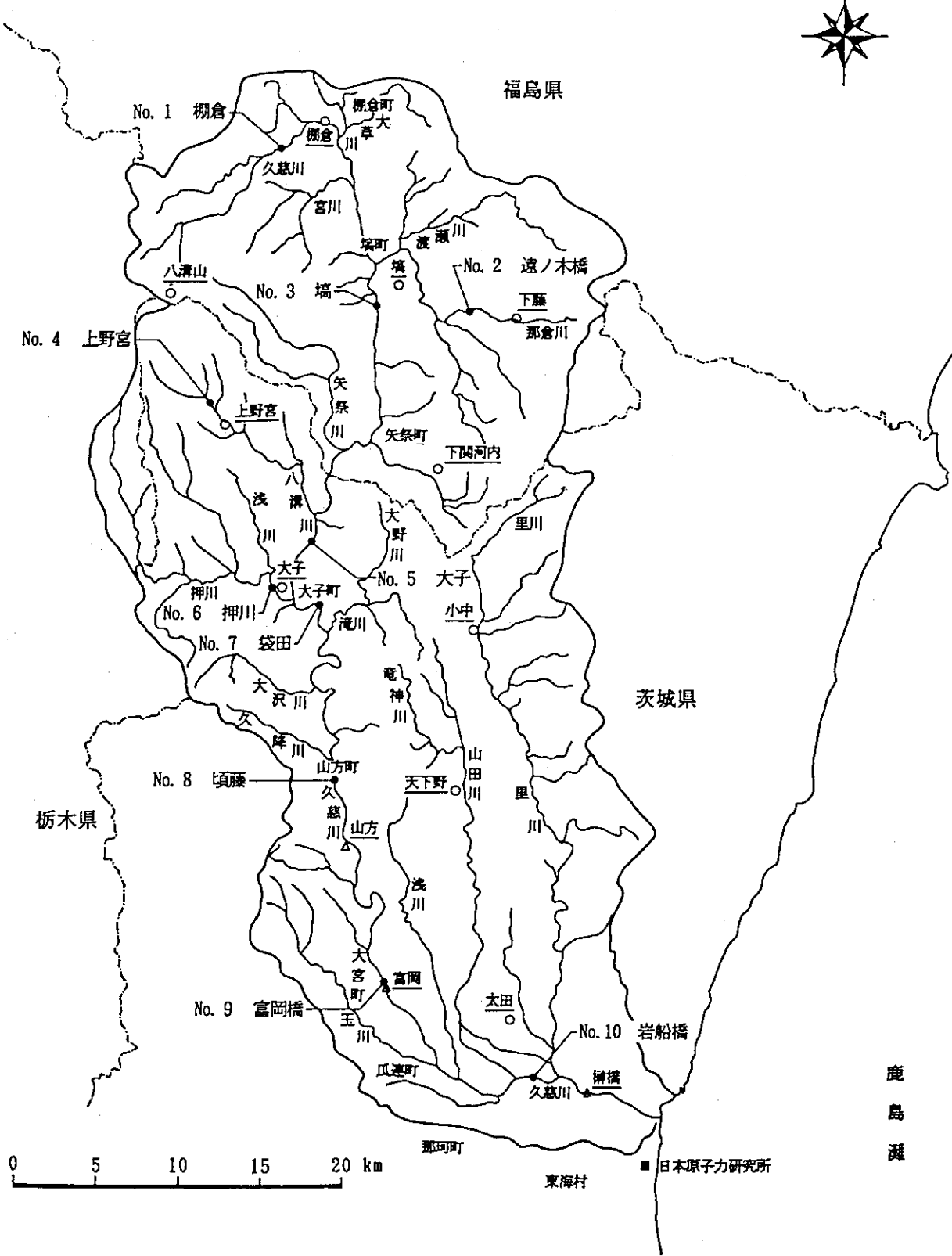
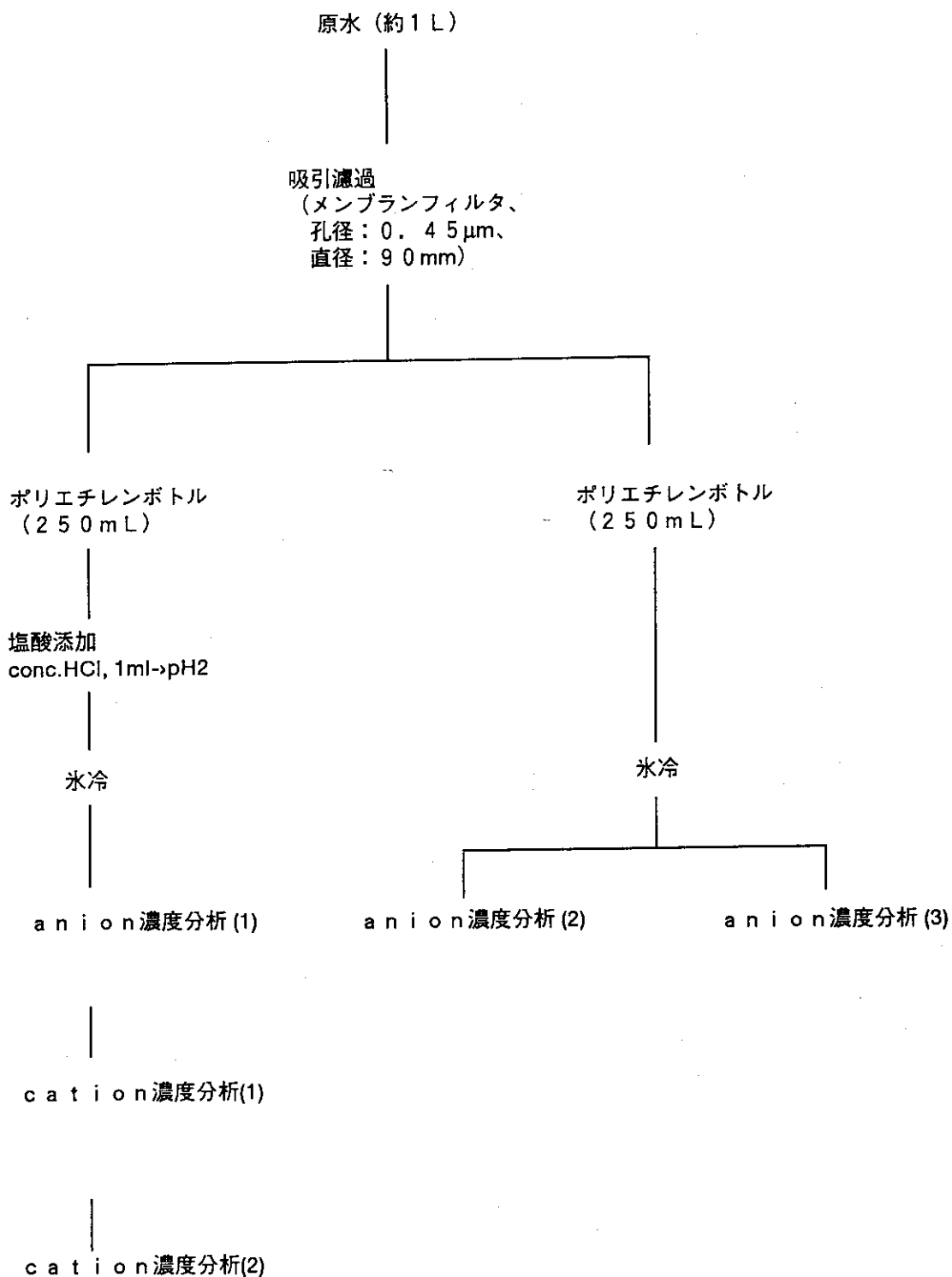


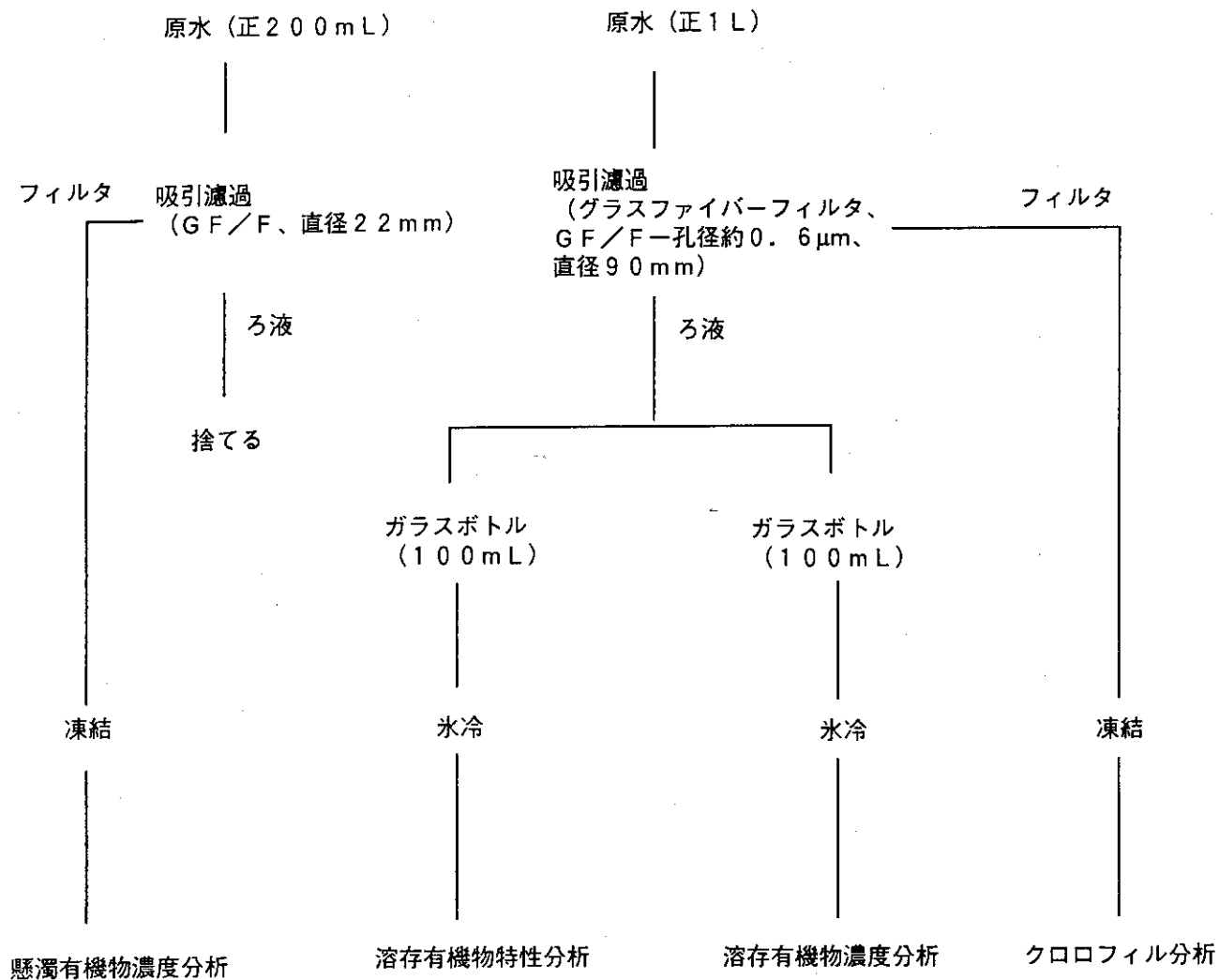
Fig.1 Kuji river watershed

- Sampling site, ○ Monitoring point of precipitation,
- △ Monitoring point of flow rate

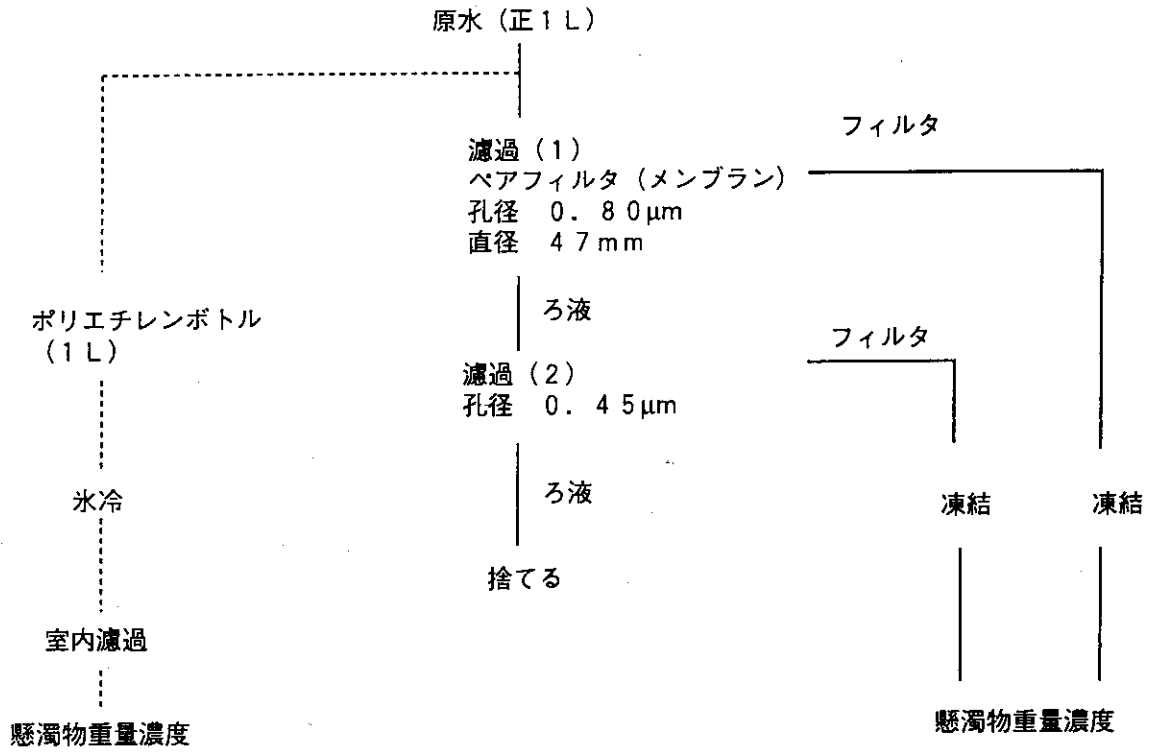


分析フローシート: (1) 主要溶存イオン濃度

Fig.2 Procedure for analysis



分析フローシート：(2) 溶存有機物濃度
(3) 懸濁有機物濃度
(4) クロロフィル濃度



分析フローシート：(5) 懸濁物重量濃度

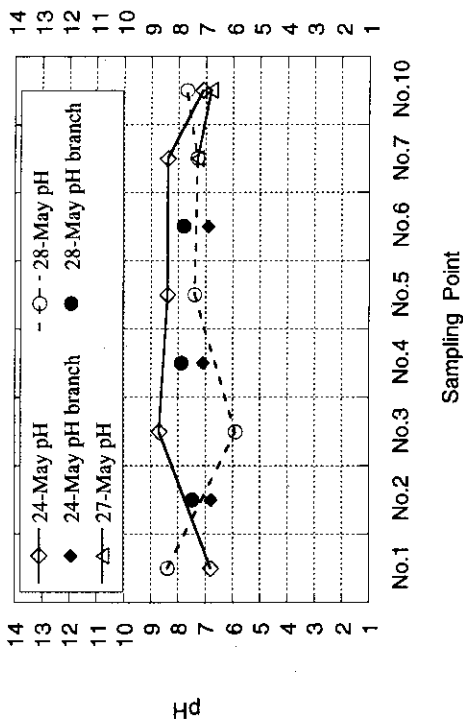


Fig. 3.1 pH in May 1994

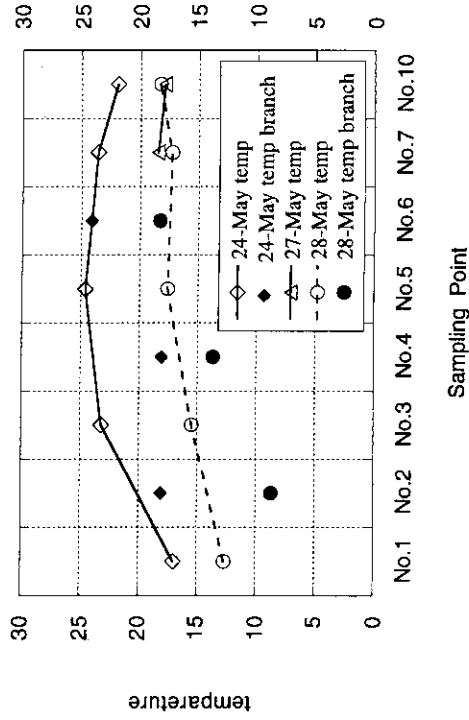


Fig. 3.2 Temperature in May 1994

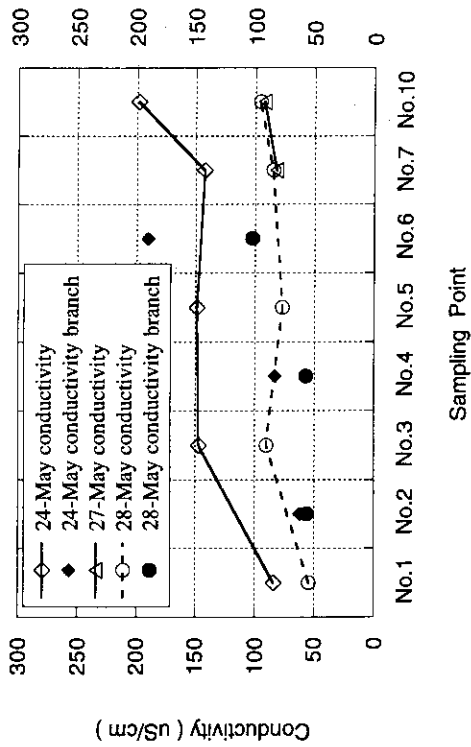


Fig. 3.3 Conductivity in May 1994

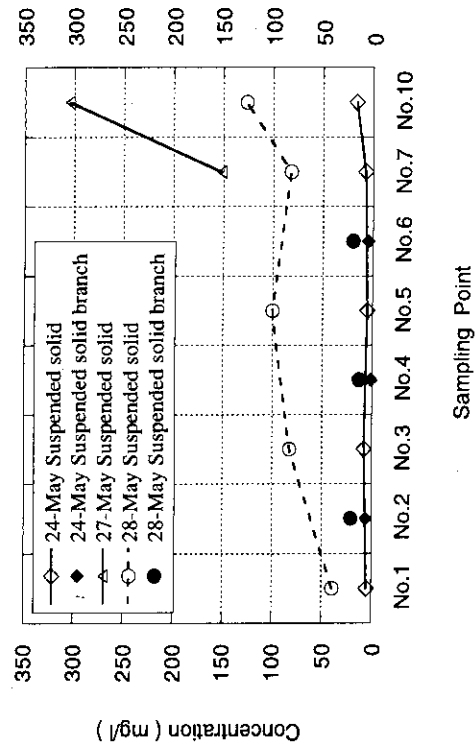


Fig. 3.4 Suspended solid in May 1994

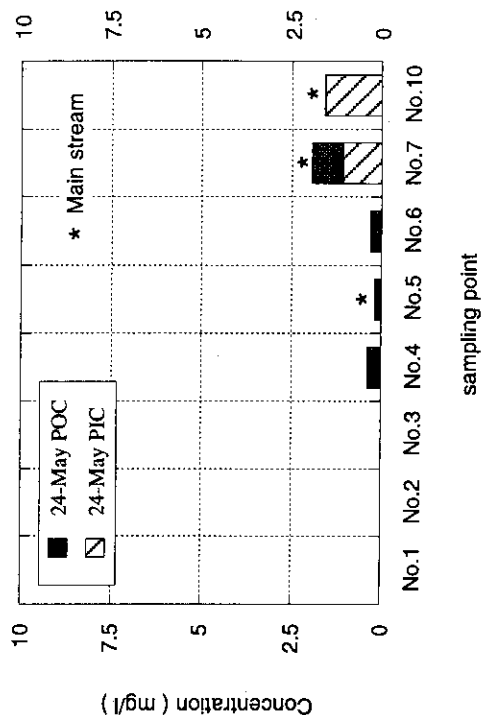


Fig.4.2 Concentration of particulate carbon in May 1994

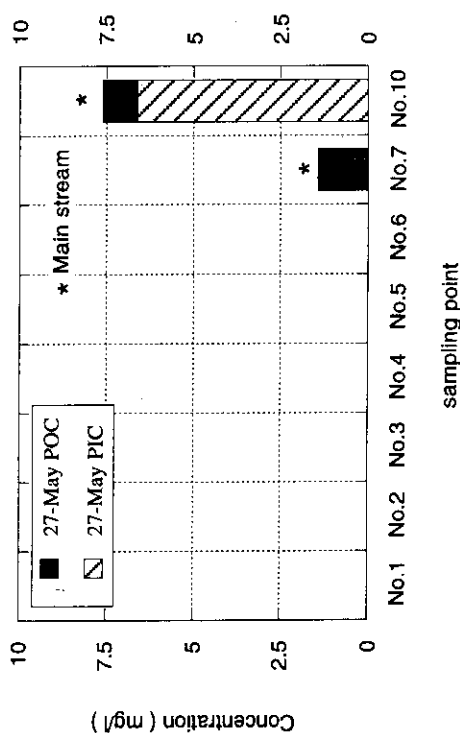


Fig.4.4 Concentration of particulate carbon in May 1994

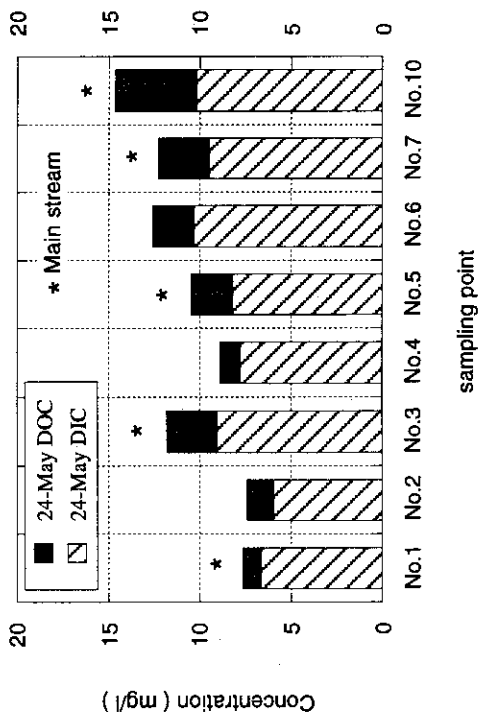


Fig.4.1 Concentration of dissolved carbon in May 1994

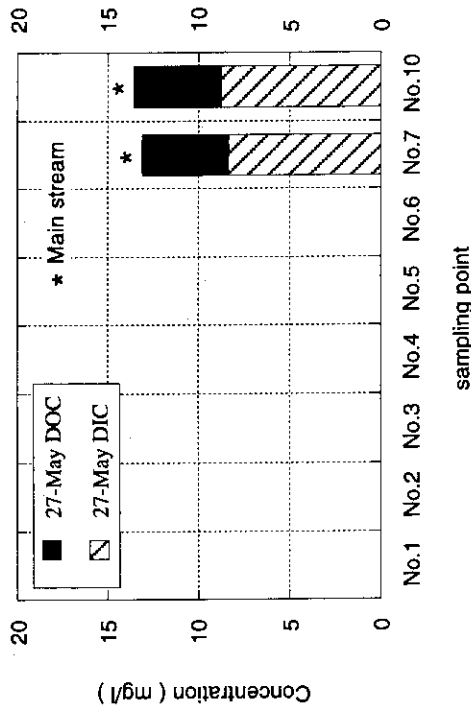


Fig.4.3 Concentration of dissolved carbon in May 1994

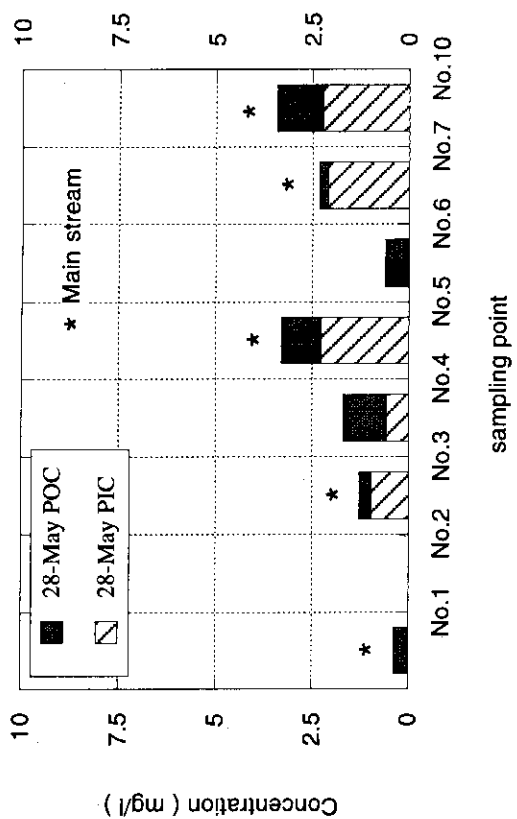


Fig.4.6 Concentration of particulate carbon in May 1994

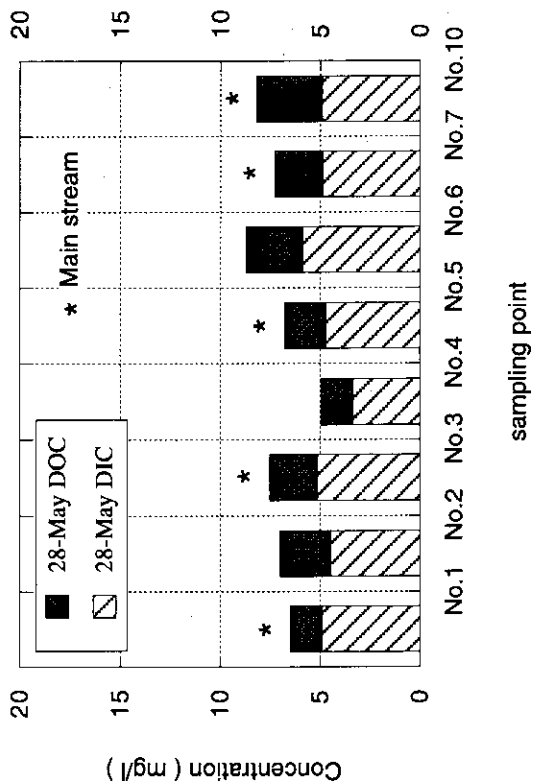


Fig.4.5 Concentration of dissolved carbon in May 1994

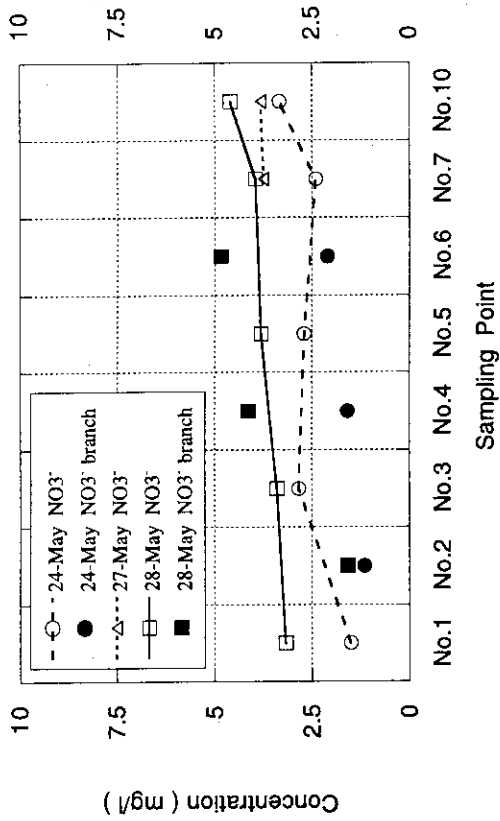


Fig. 5.2 Concentration of NO₃⁻ in May 1994

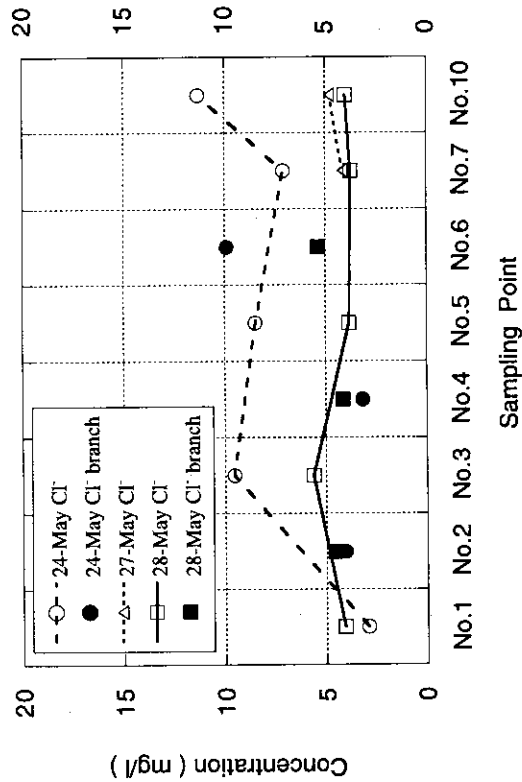


Fig. 5.1 Concentration of Cl⁻ in May 1994

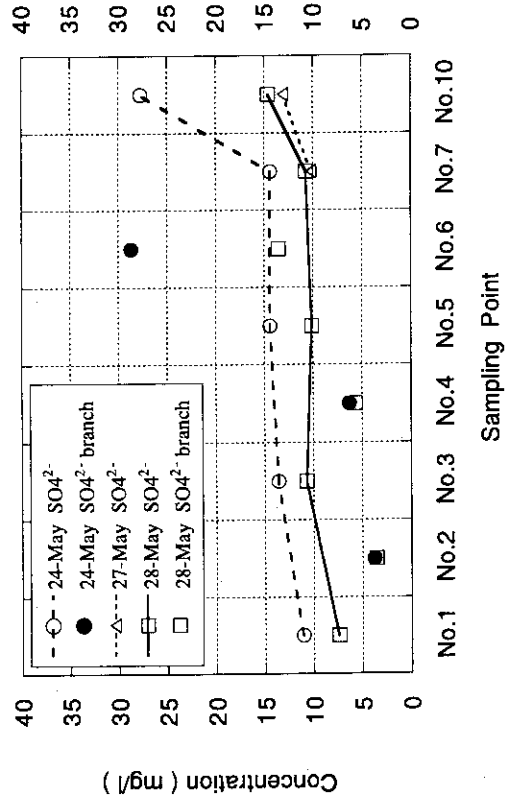


Fig. 5.3 Concentration of SO₄²⁻ in May 1994

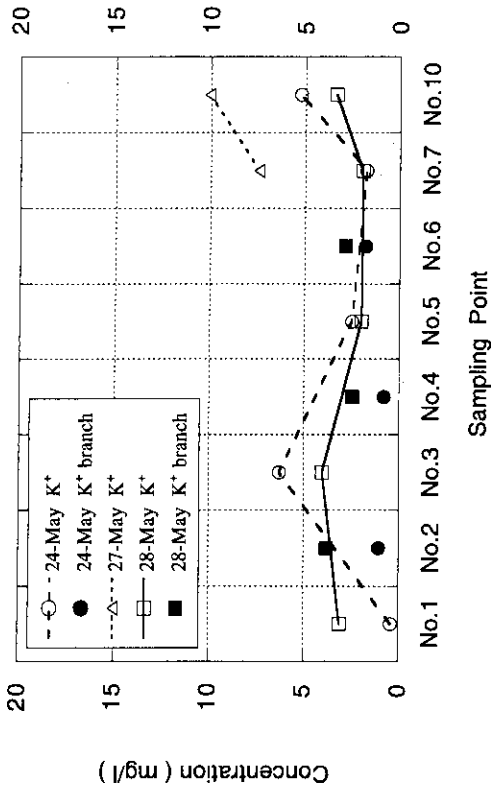


Fig.5.5 Concentration of K⁺ in May 1994

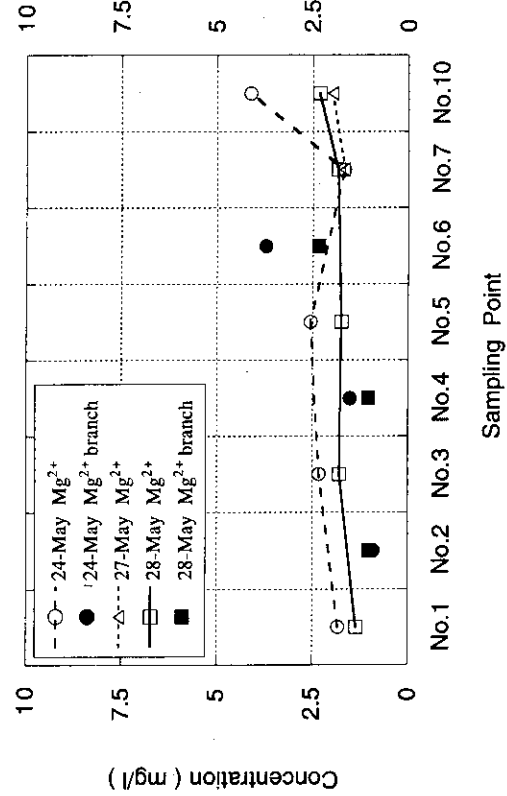


Fig.5.7 Concentration of Mg²⁺ in May 1994

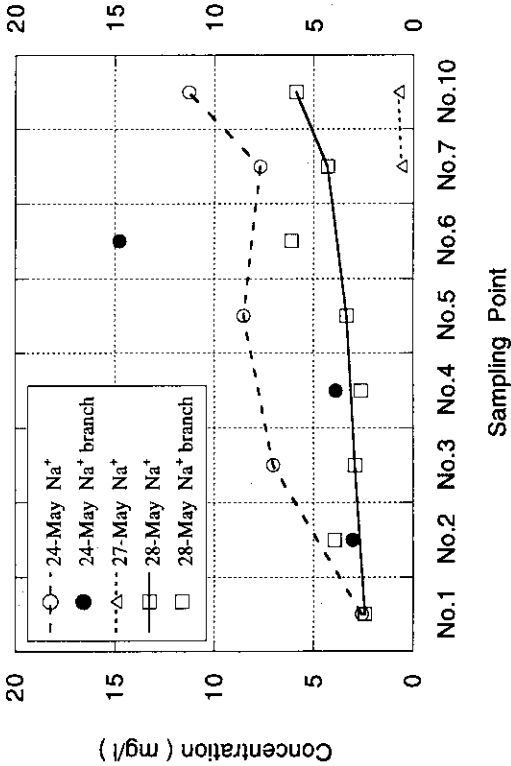


Fig.5.4 Concentration of Na⁺ in May 1994

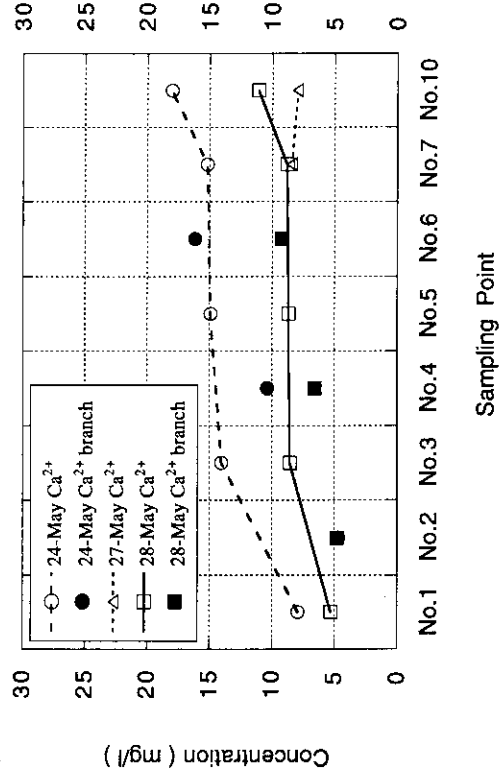


Fig.5.6 Concentration of Ca²⁺ in May 1994

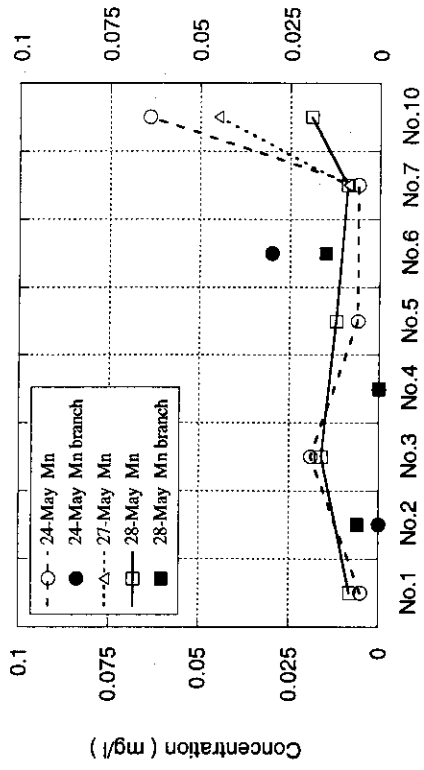


Fig. 5.8 Concentration of Fe in May 1994

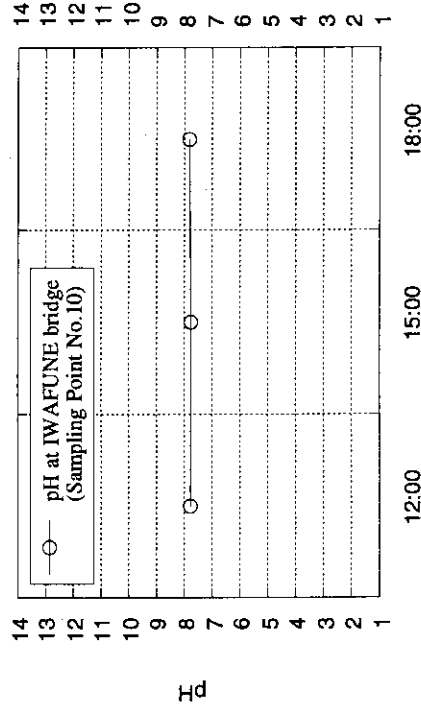


Fig. 6.1 pH in June 1994

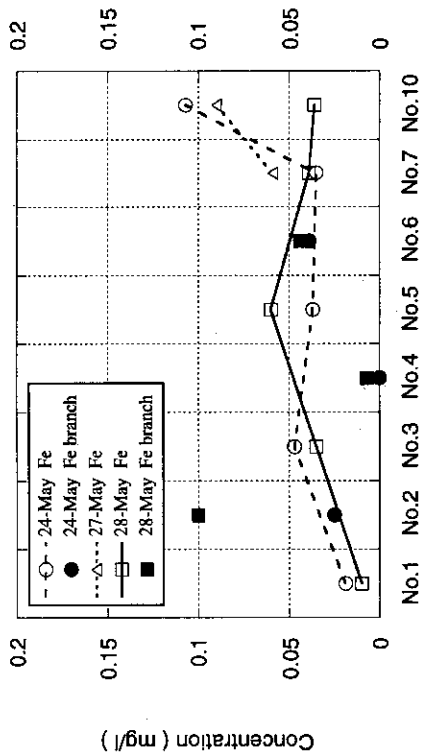


Fig. 5.9 Concentration of Mn in May 1994

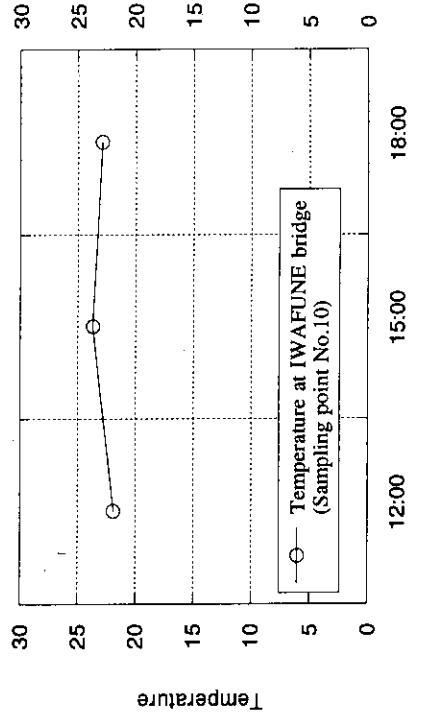


Fig. 6.2 Temperature in June 1994

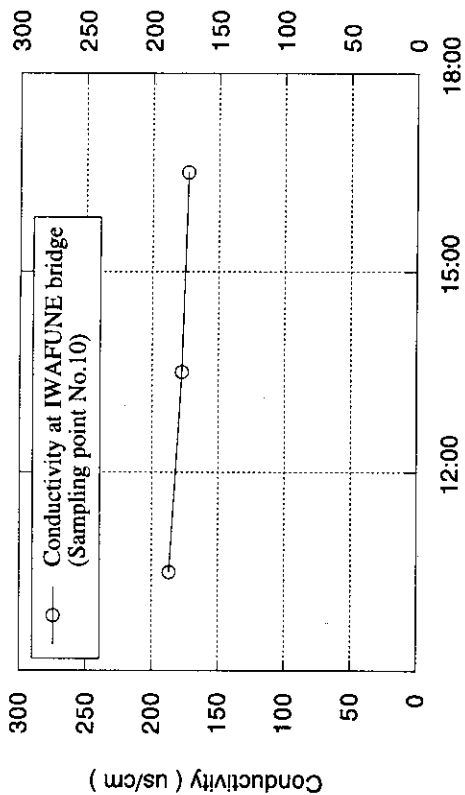


Fig. 6.3 Conductivity in June 1994
Sampling time (June 24, 1994)

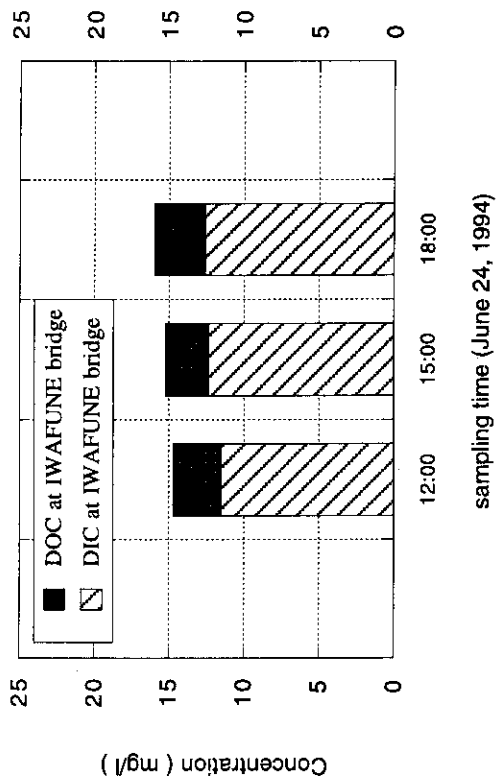


Fig. 7.1 Concentration of dissolved carbon
in June 1994
sampling time (June 24, 1994)

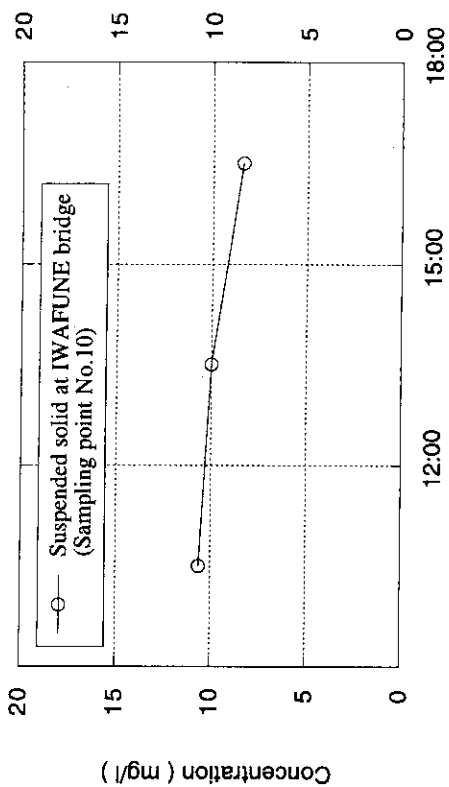


Fig. 6.4 Concentration of suspended solid in June 1994
Sampling time (June 24, 1994)

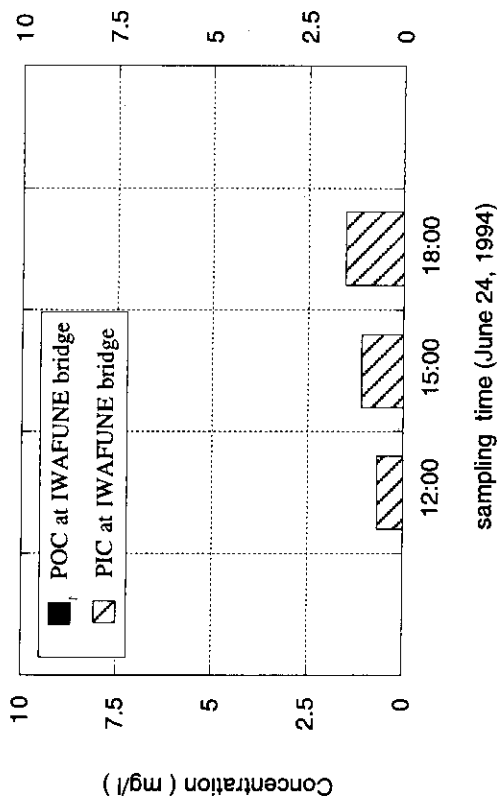


Fig. 7.2 Concentration of particulate carbon
in June 1994
sampling time (June 24, 1994)

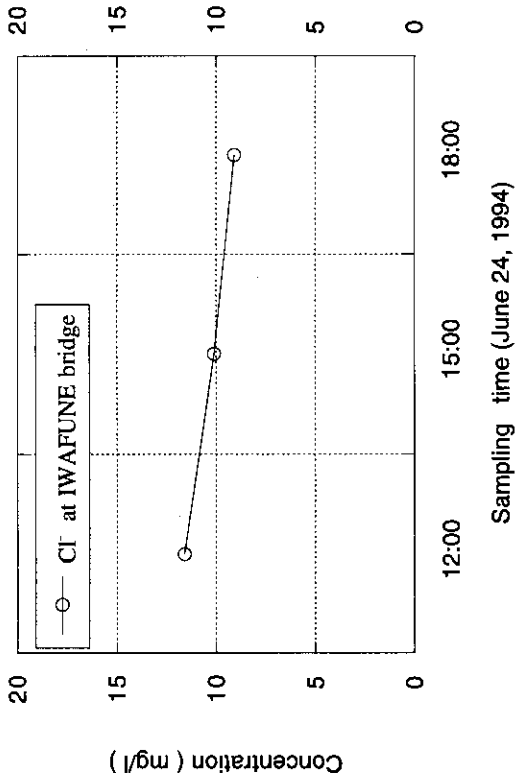


Fig. 8.1 Concentration of Cl⁻ in June 1994

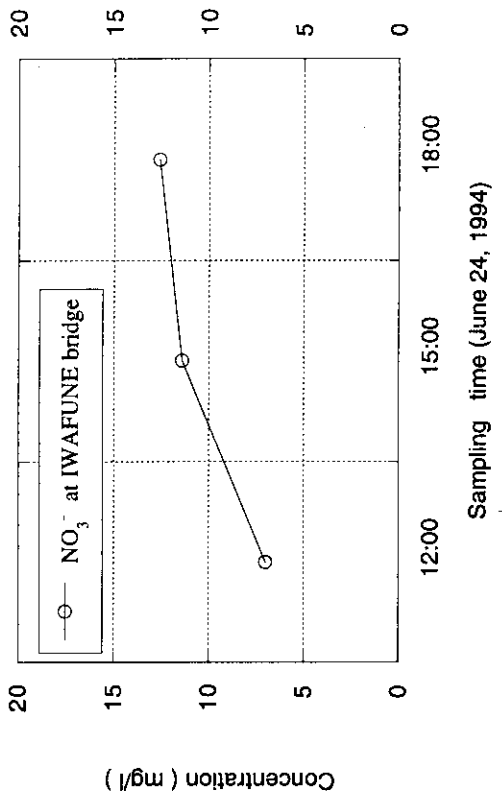


Fig. 8.2 Concentration of NO₃⁻ in June 1994

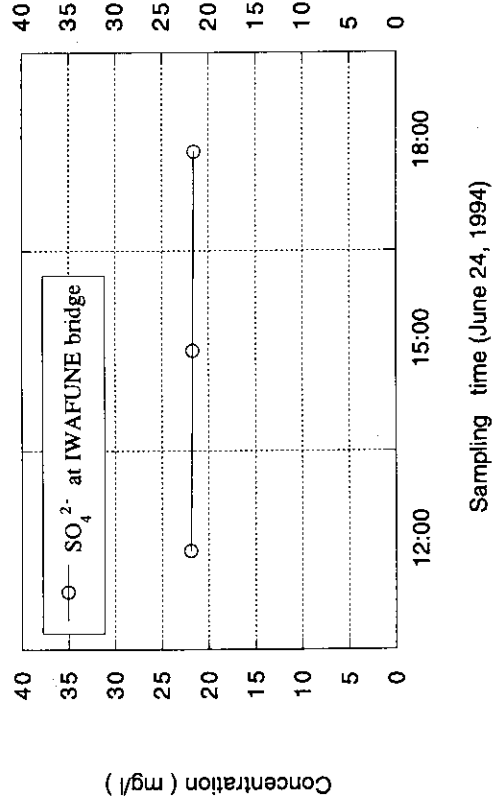


Fig. 8.3 Concentration of SO₄²⁻ in June 1994

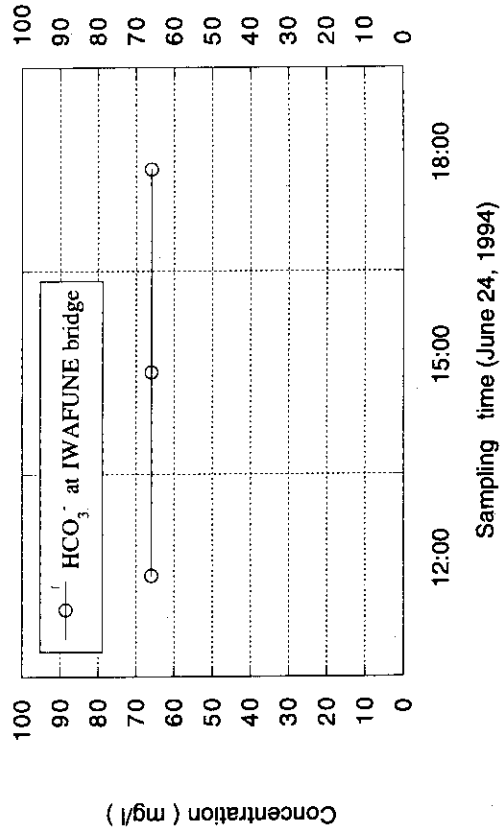


Fig. 8.4 Concentration of HCO₃⁻ in June 1994

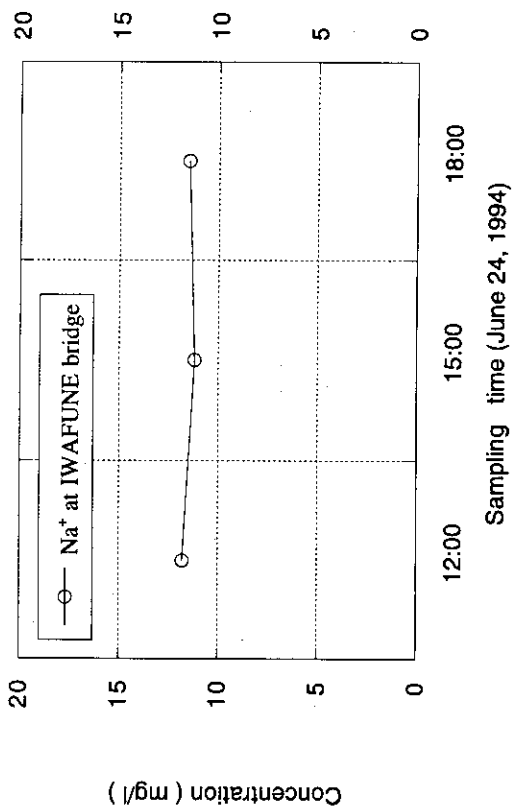


Fig.8.5 Concentration of Na⁺ in June 1994

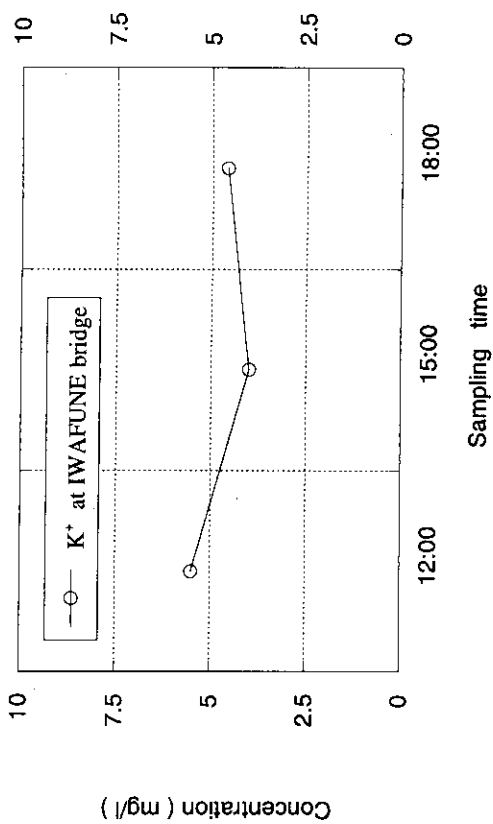


Fig.8.6 Concentration of K⁺ in June 1994

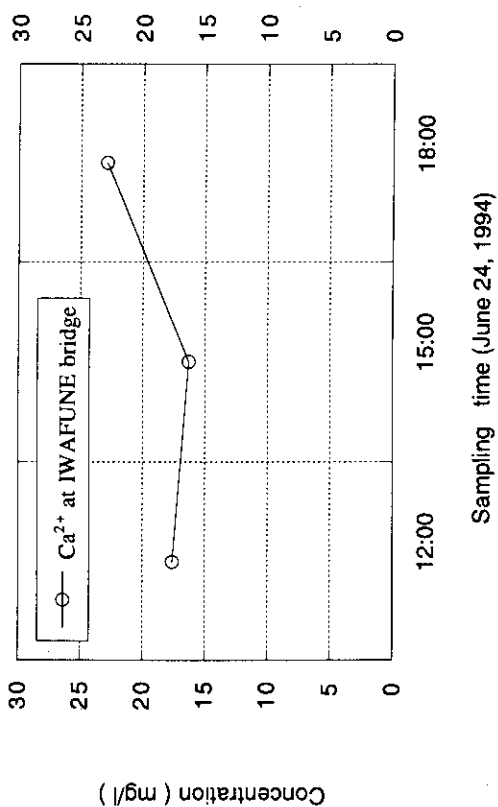


Fig.8.7 Concentration of Ca²⁺ in June 1994

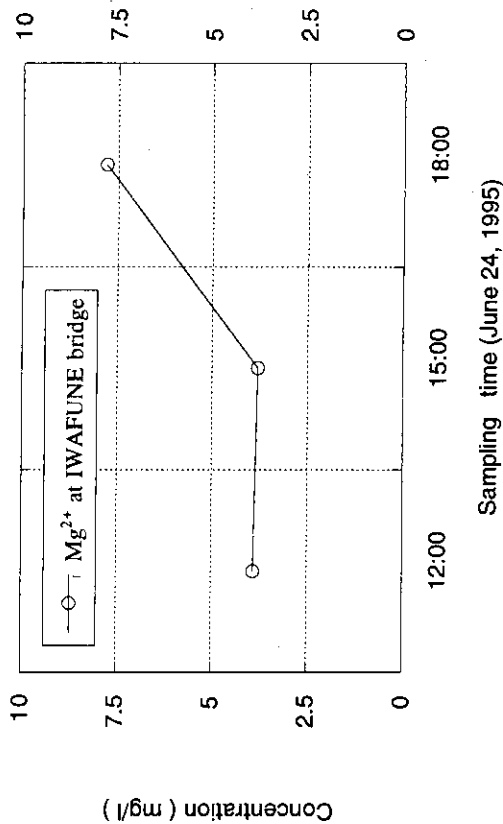


Fig.8.8 Concentration of Mg²⁺ in June 1994

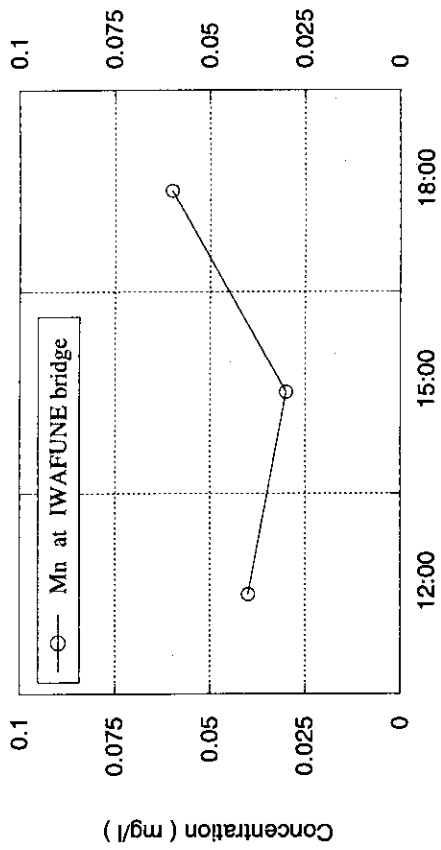


Fig. 8.10 Concentration of Mn in June 1994

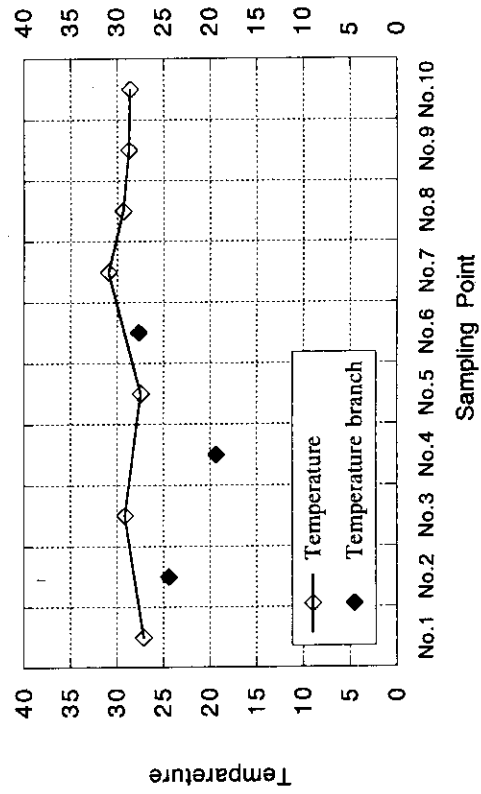


Fig. 9.2 Temperature in July 1994

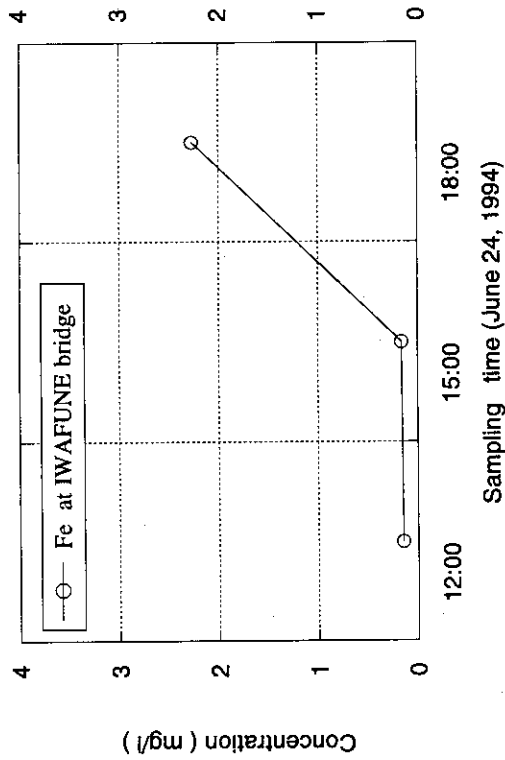


Fig. 8.9 Concentration of Fe in June 1994

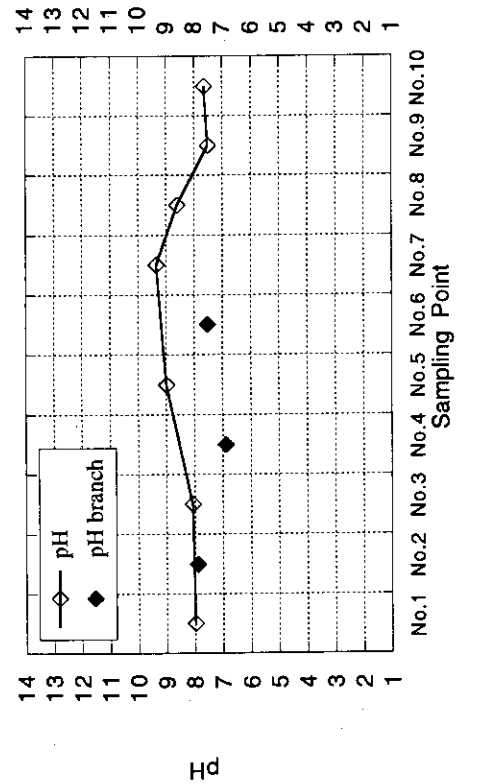


Fig. 9.1 pH in July 1994

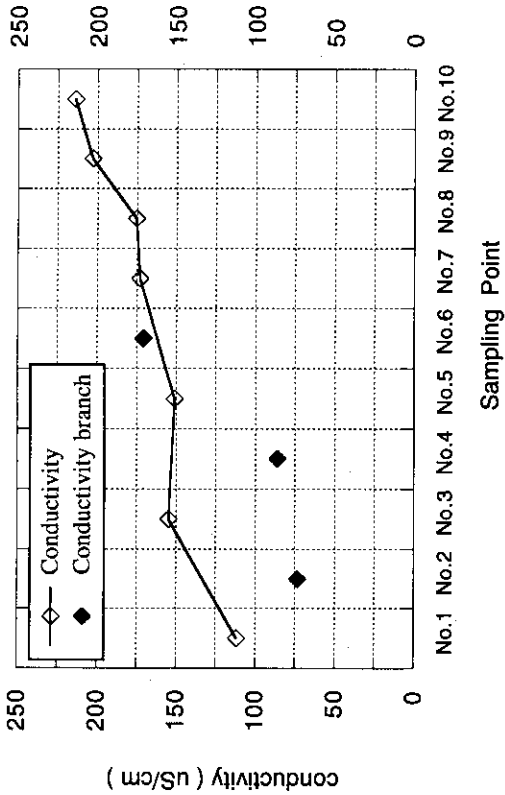


Fig.9.3 Conductivity in July 1994

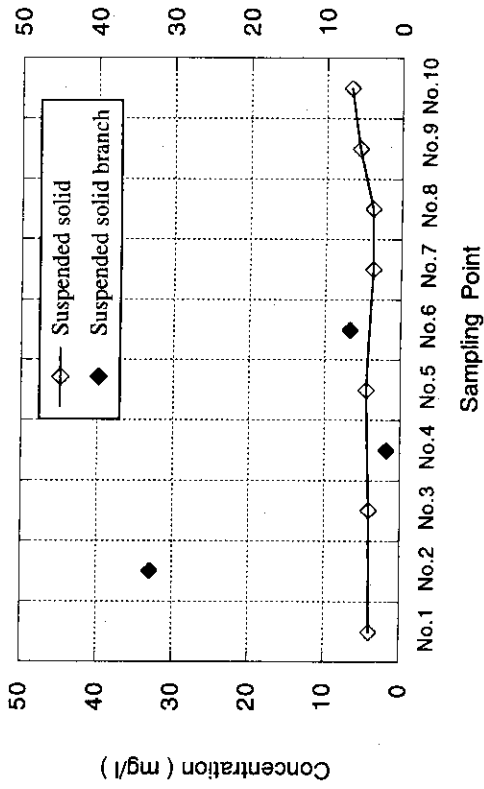


Fig.9.4 Concentration of suspended solid in July 1994

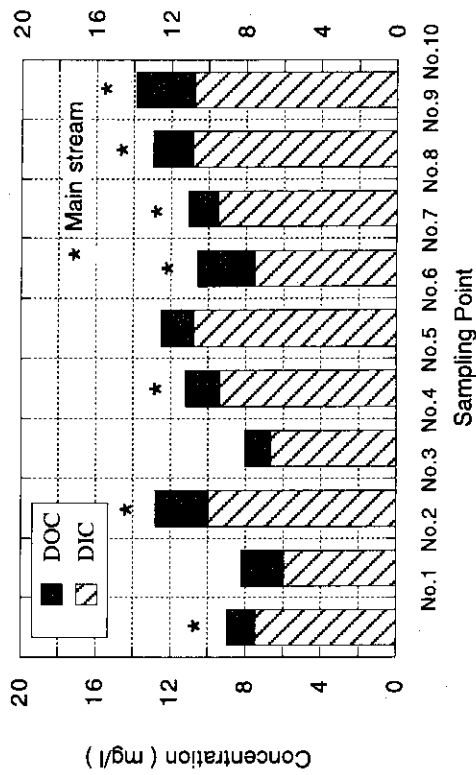


Fig.10.1 Concentration of dissolved carbon in July 1994

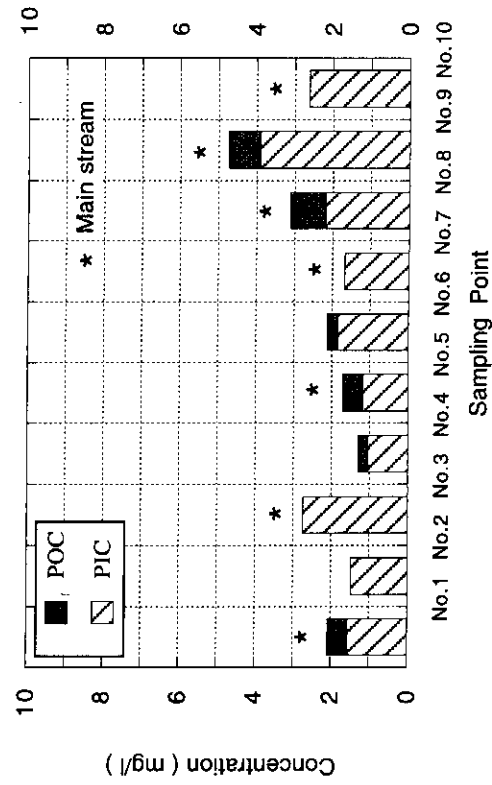


Fig.10.2 Concentration of particulate carbon in July 1994

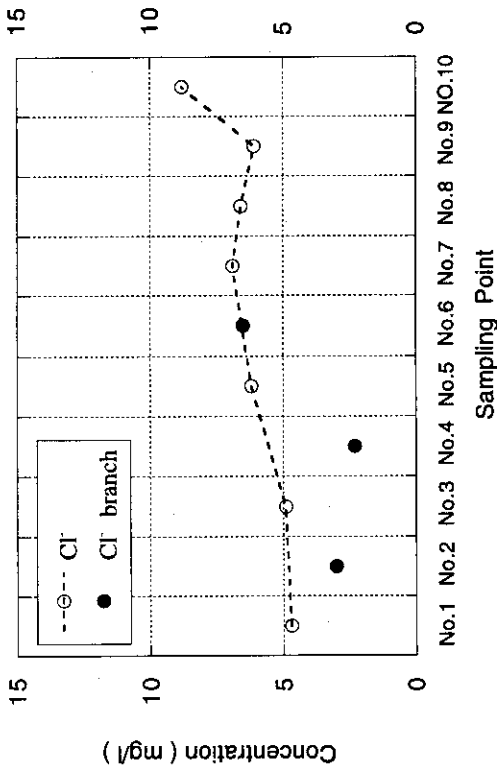


Fig.11.1 Concentration of Cl⁻ in July 1994

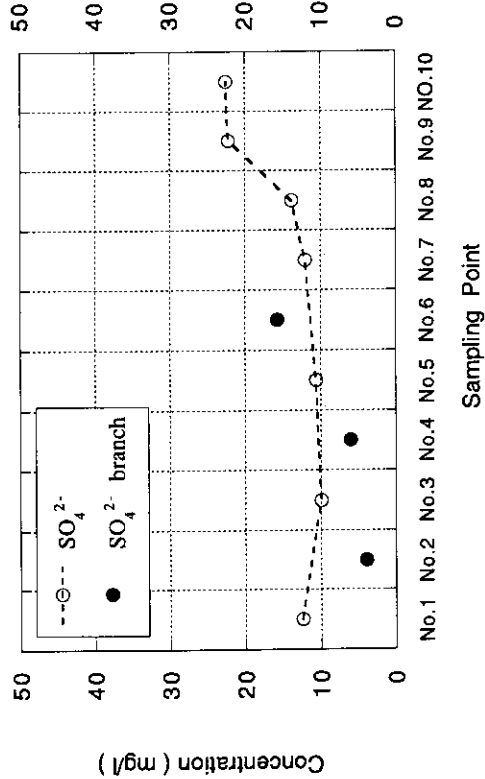


Fig.11.3 Concentration of SO₄²⁻ in July 1994

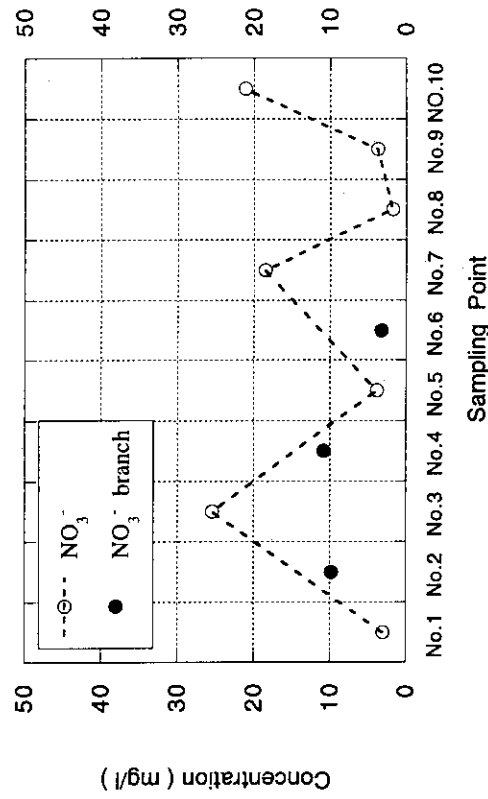


Fig.11.2 Concentration of NO₃⁻ in July 1994

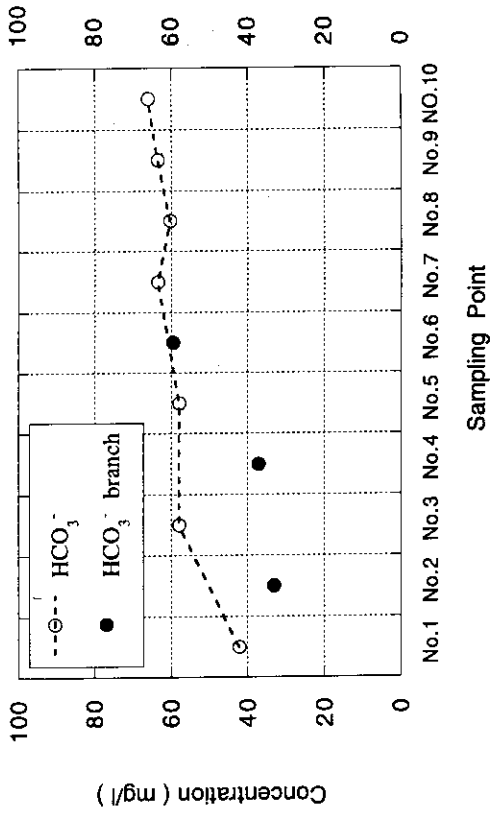


Fig.11.4 Concentration of HCO₃⁻ in July 1994

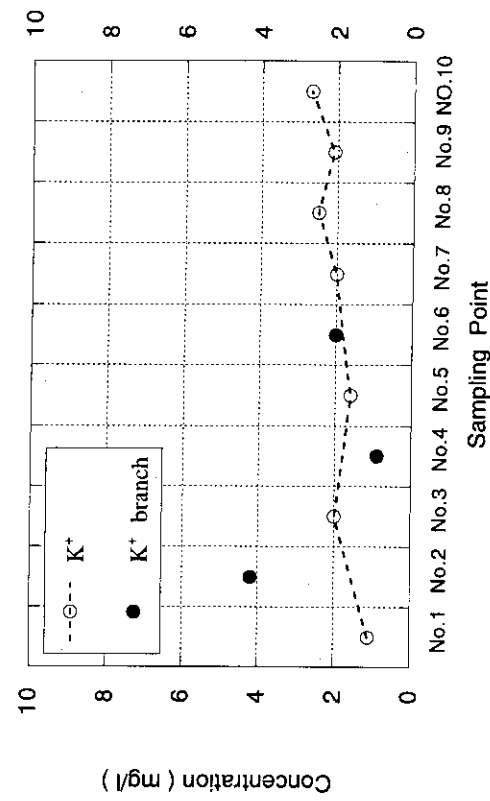


Fig.11.6 Concentration of K⁺ in July 1994

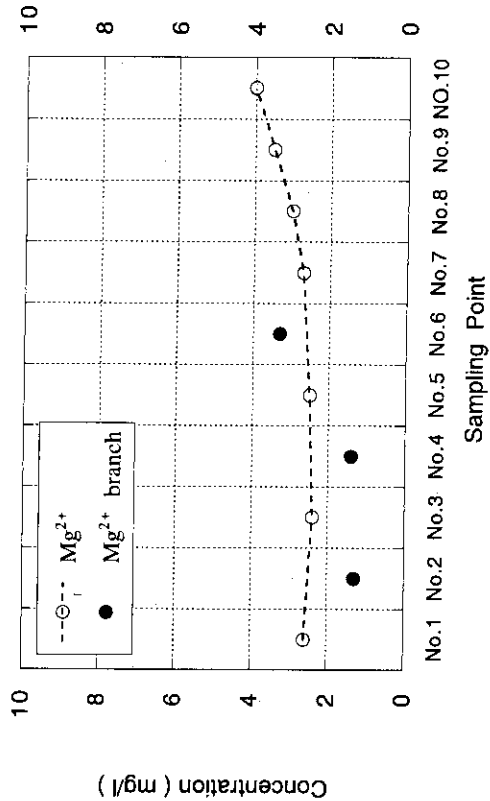


Fig.11.8 Concentration of Mg²⁺ in July 1994

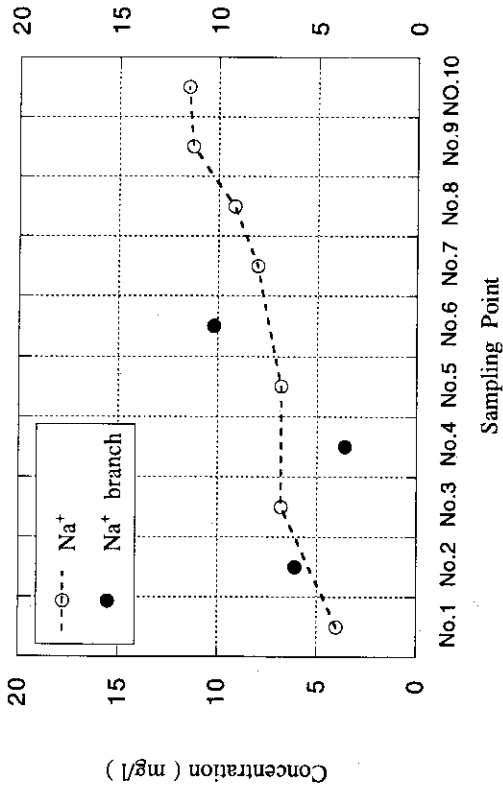


Fig.11.5 Concentration of Na⁺ in July 1994

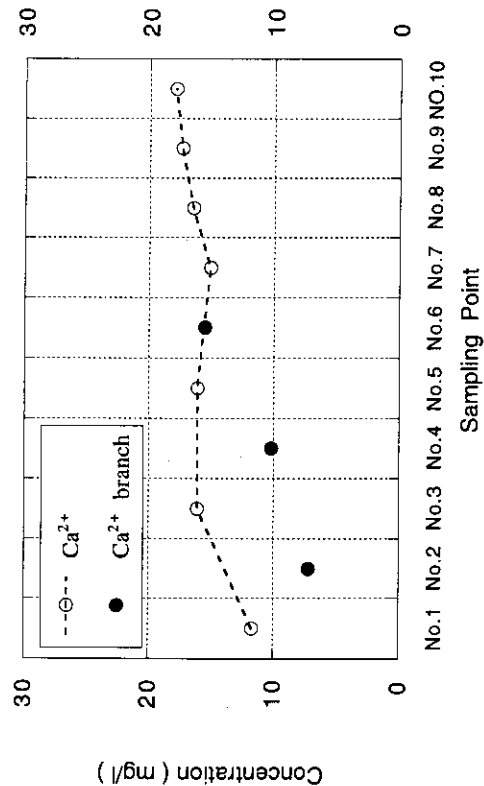


Fig.11.7 Concentration of Ca²⁺ in July 1994

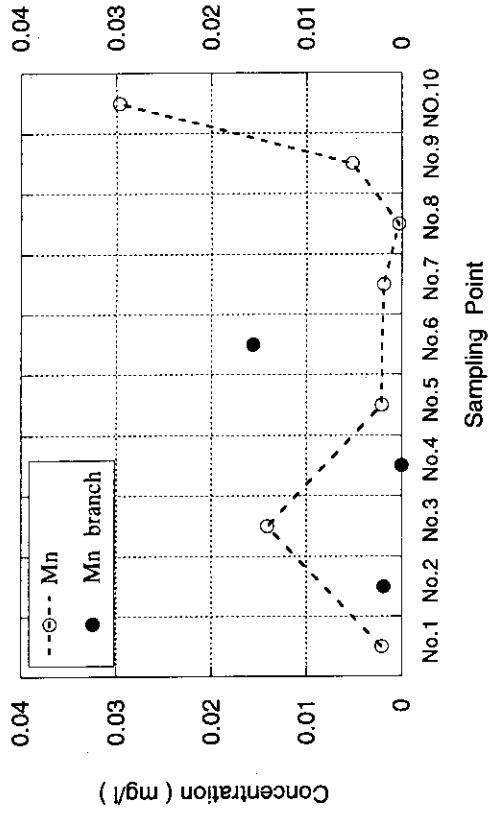


Fig.11.10 Concentration of Mn in July 1994

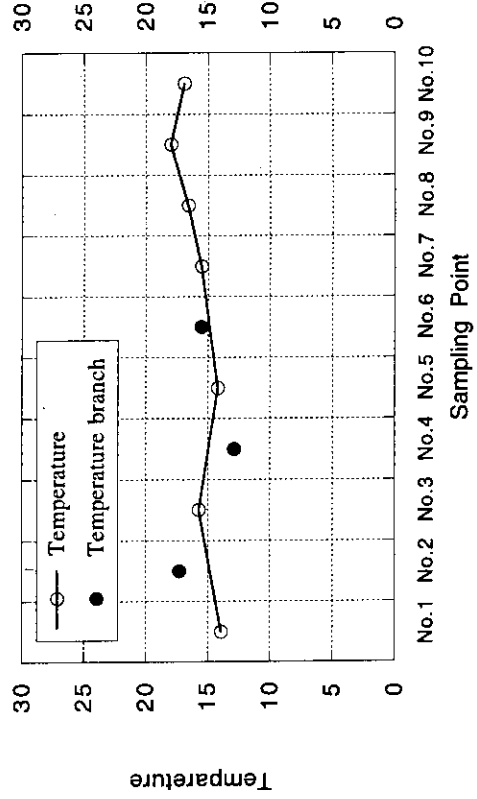


Fig.12.2 Temperature in October 1994

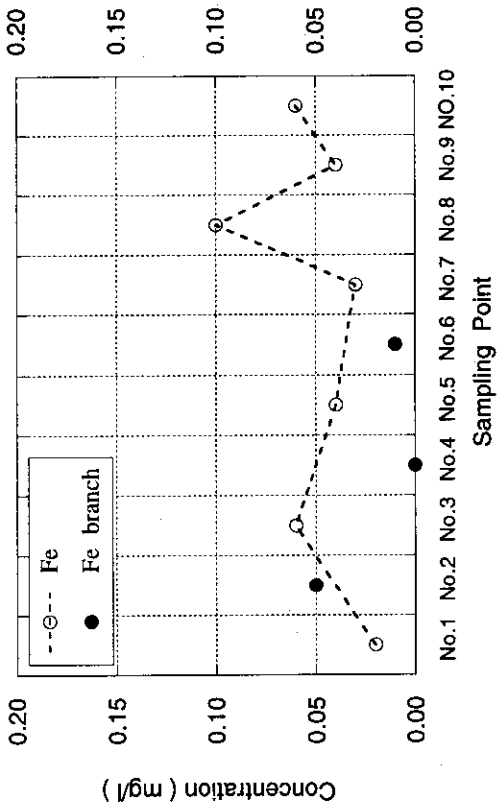


Fig.11.9 Concentration of Fe in July 1994

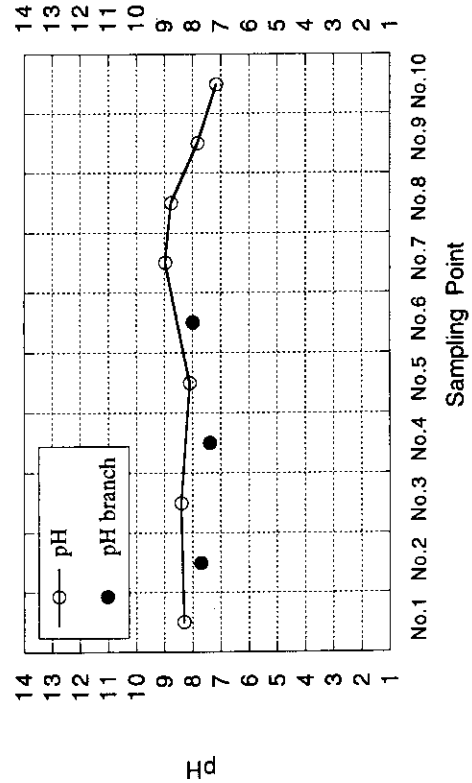


Fig.12.1 pH in October 1994

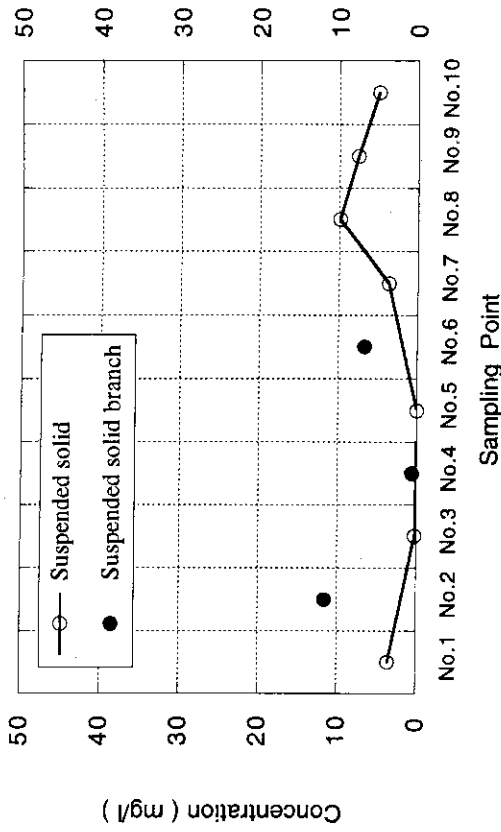


Fig.12.4 Concentration of suspended solid in October 1994

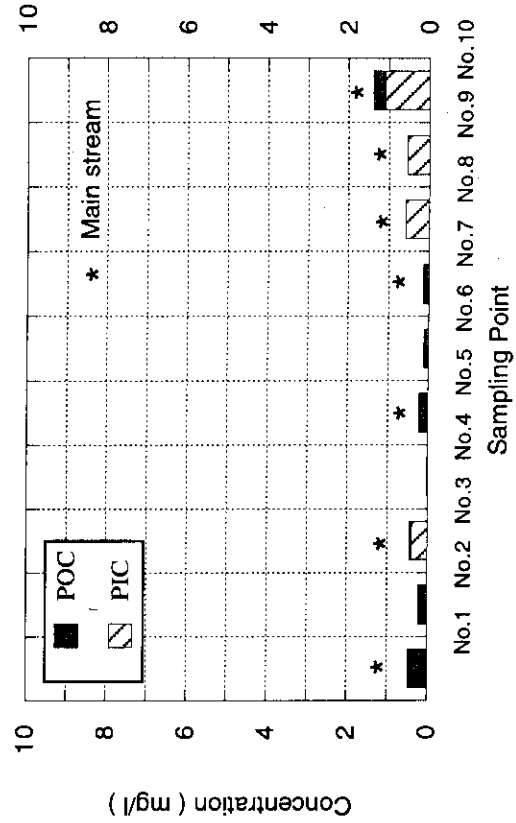


Fig.13.2 Concentration of particulate carbon in October 1994

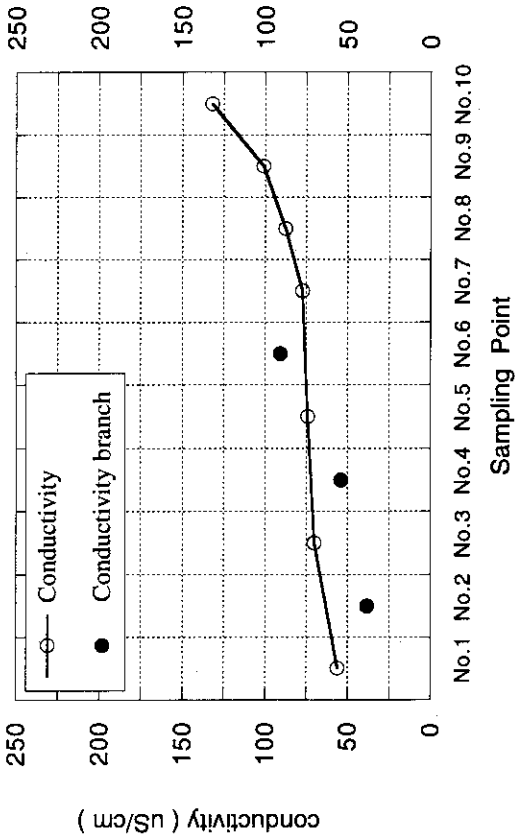


Fig.12.3 Conductivity in October 1994

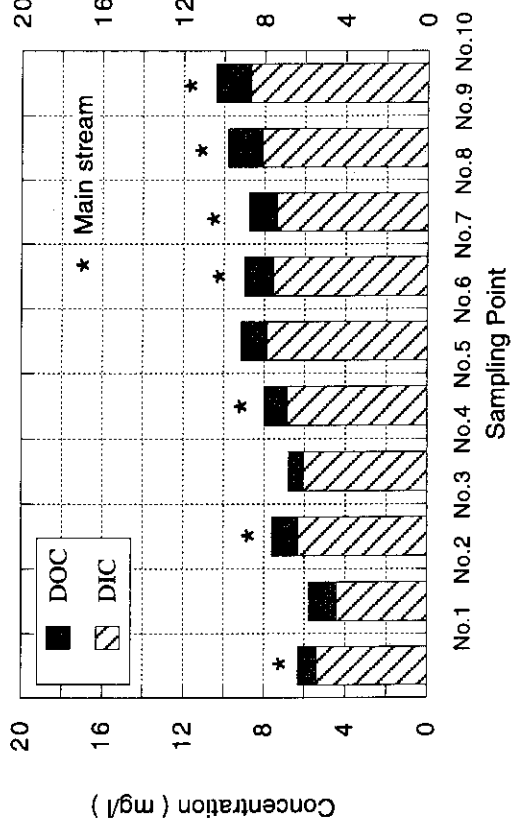


Fig.13.1 Concentration of dissolved carbon in October 1994

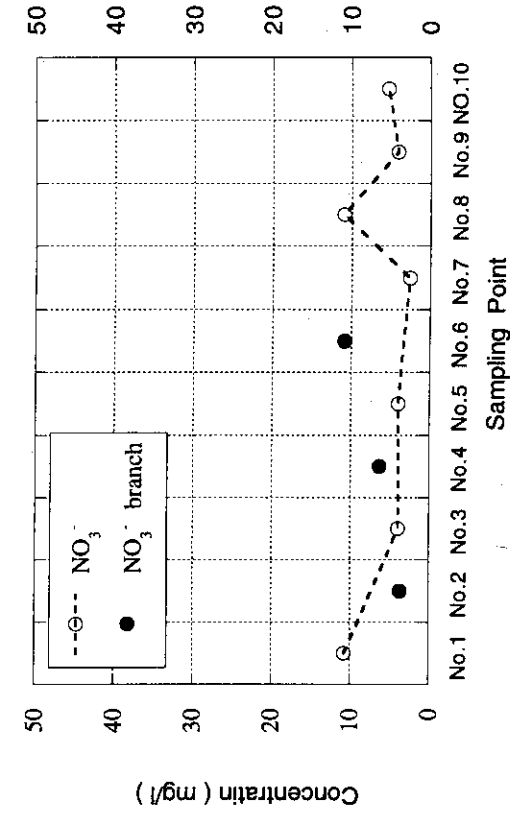


Fig.14.2 Concentration of NO₃⁻ in October 1994

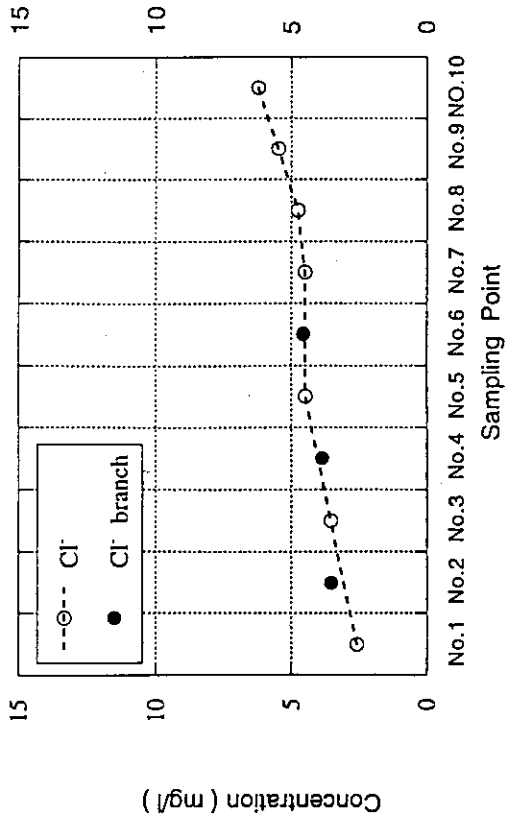


Fig.14.1 Concentration of Cl⁻ in October 1994

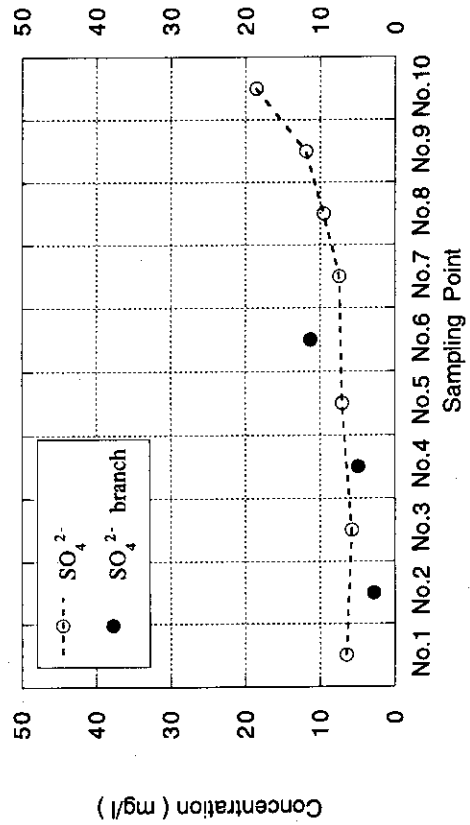


Fig.14.3 Concentration of SO₄²⁻ in October 1994

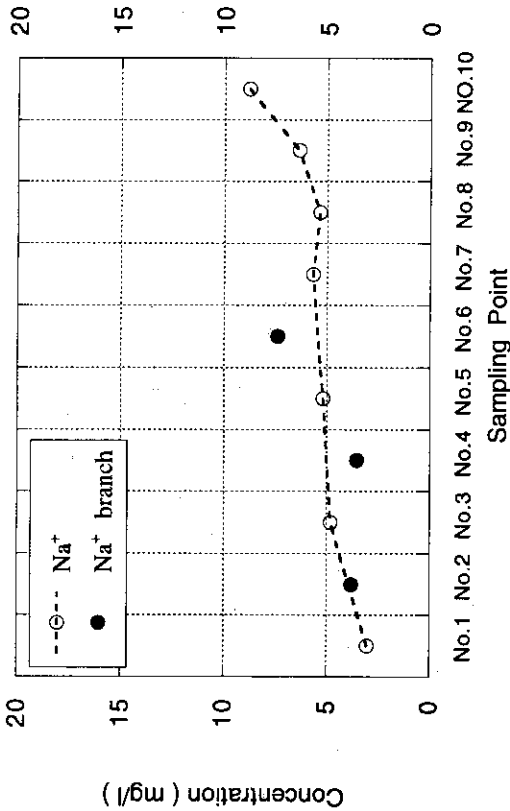


Fig.14.4 Concentration of Na⁺ in October 1994

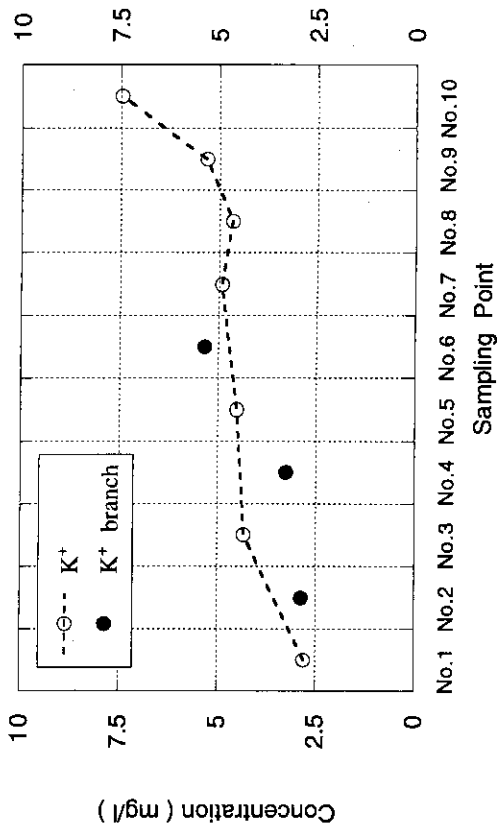


Fig.14.5 Concentration of K⁺ in October 1994

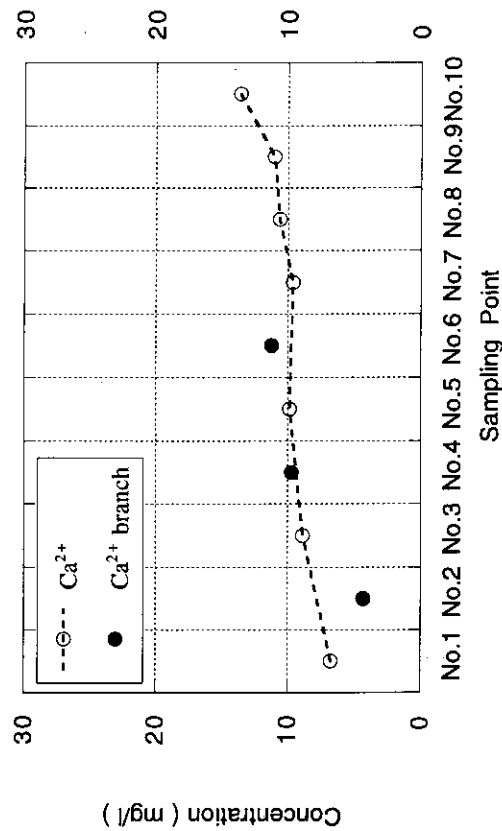


Fig.14.6 Concentration of Ca²⁺ in October 1994

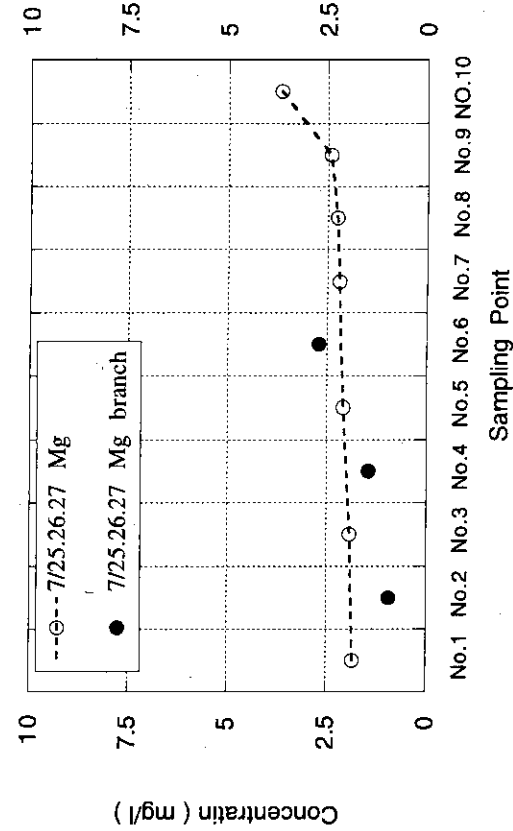


Fig.14.7 Concentration of Mg²⁺ in October 1994

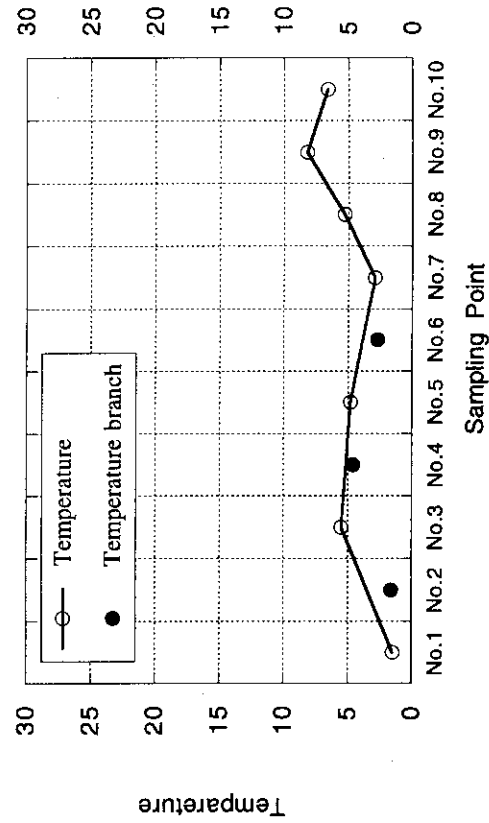


Fig.15.2 Temperature in February 1995

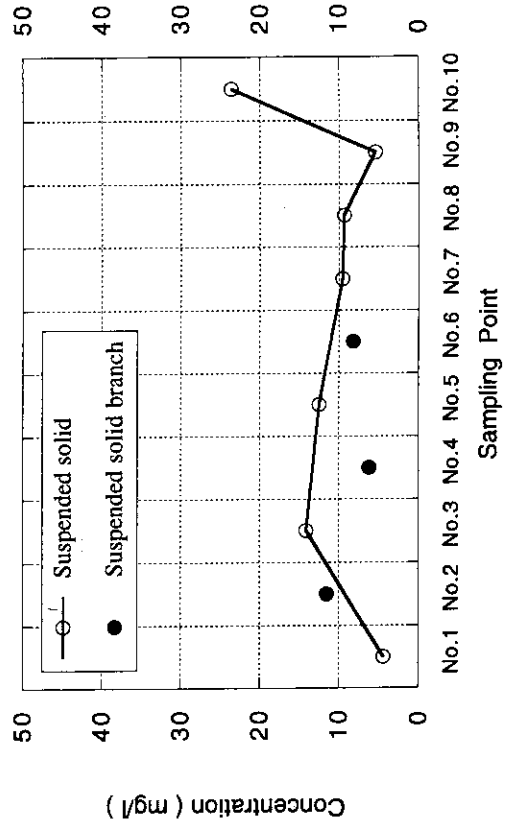


Fig.15.4 Concentration of suspended solid in February 1995

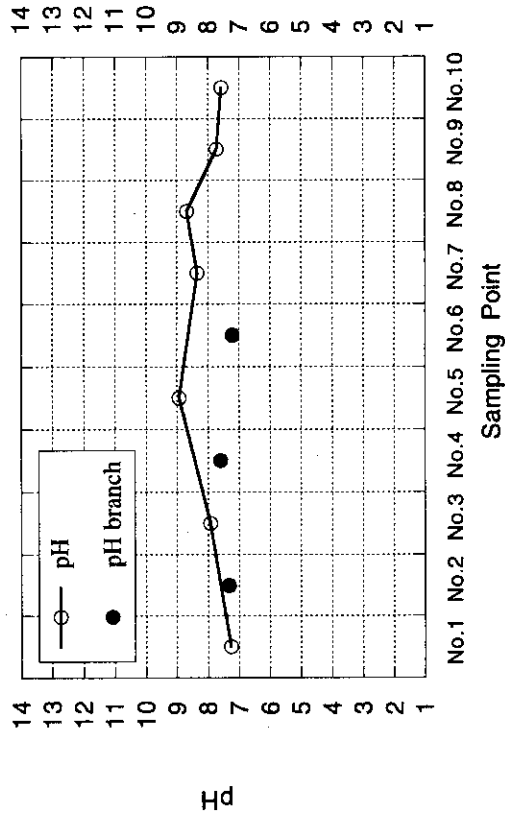


Fig.15.1 pH in February 1995

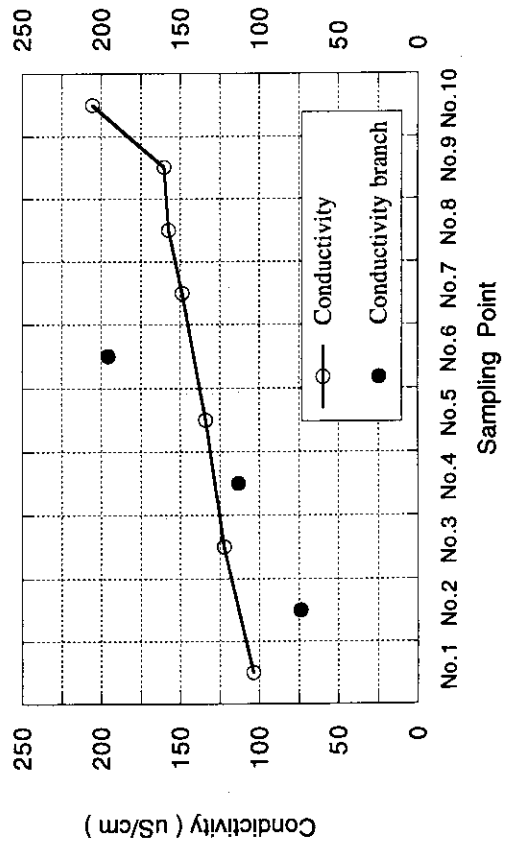


Fig.15.3 Conductivity in February 1995

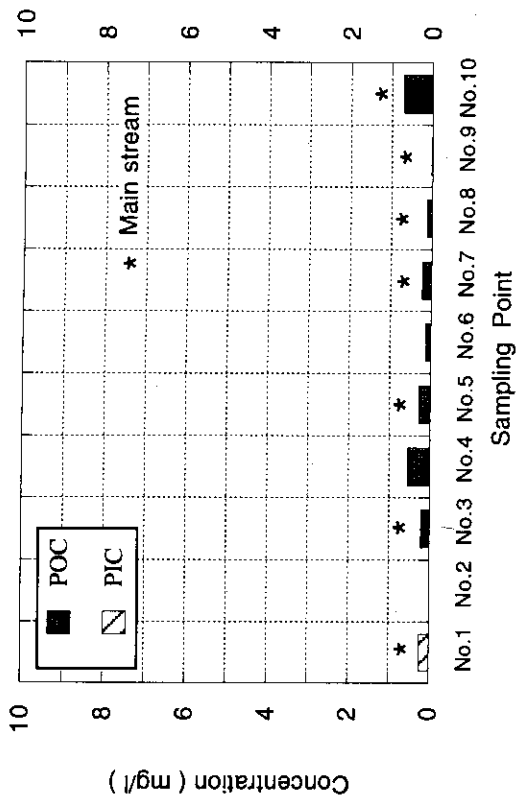


Fig.16.2 Concentration of particulate carbon in February 1995

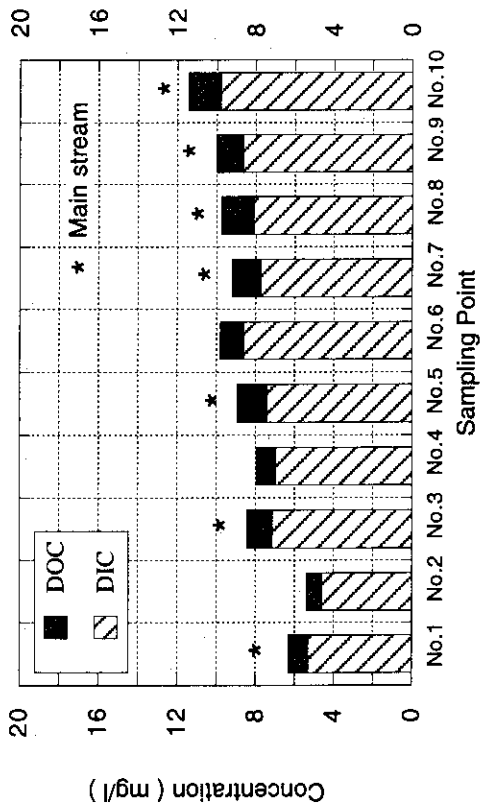


Fig.16.1 Concentration of dissolved carbon in February 1995

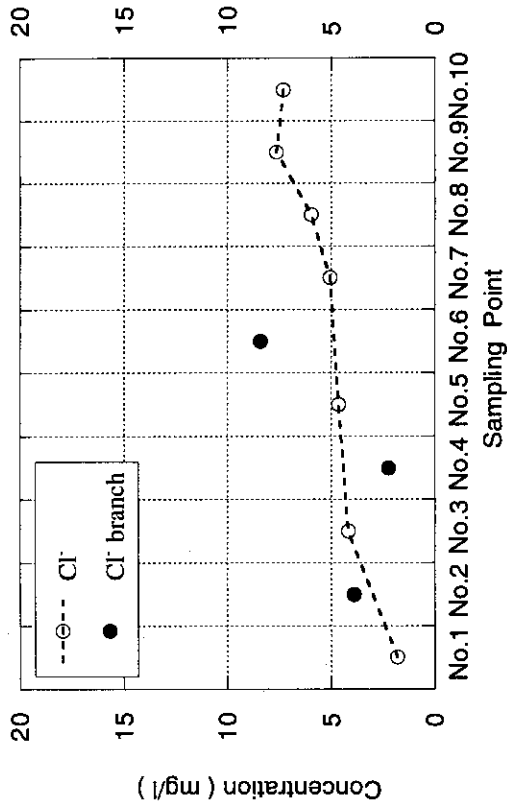


Fig.17.1 Spatial variation of concentration of Cl⁻ in February 1995

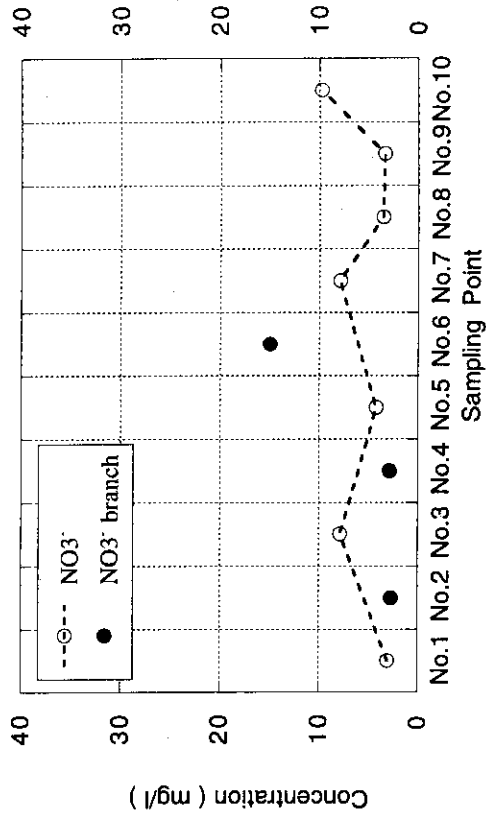


Fig.17.2 Spatial variation of concentration of NO₃⁻ in February 1995

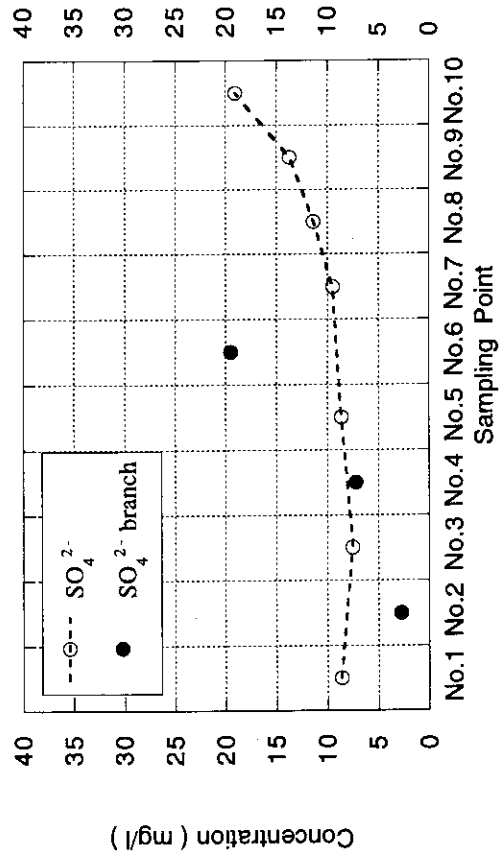


Fig.17.3 Spatial variation of concentration of SO₄²⁻ in February 1995

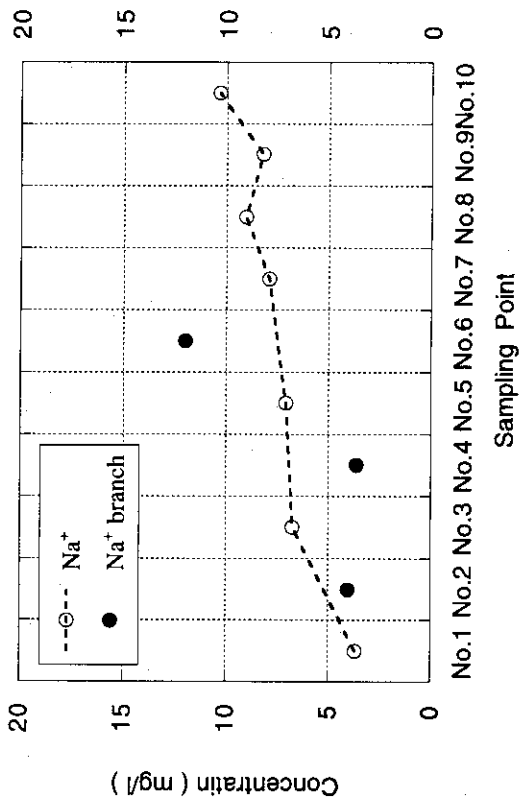


Fig.17.4 Concentration of Na⁺ in February 1995

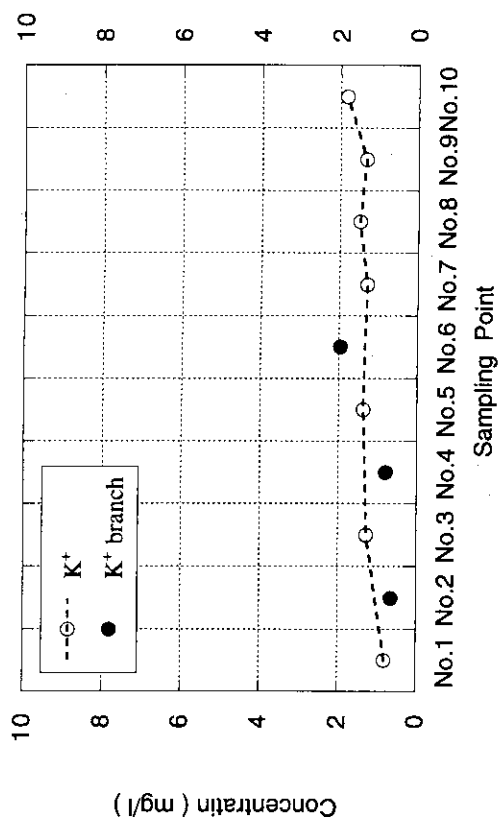


Fig.17.5 Concentration of K⁺ in February 1995

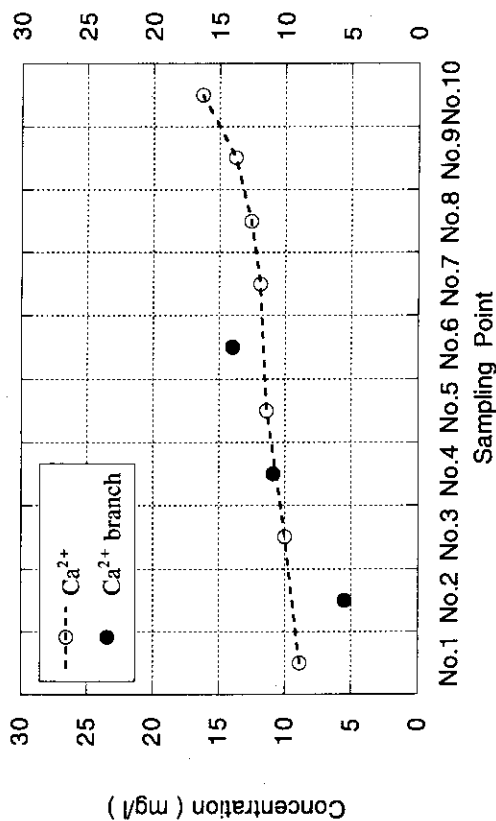


Fig.17.6 Concentration of Ca²⁺ in February 1995

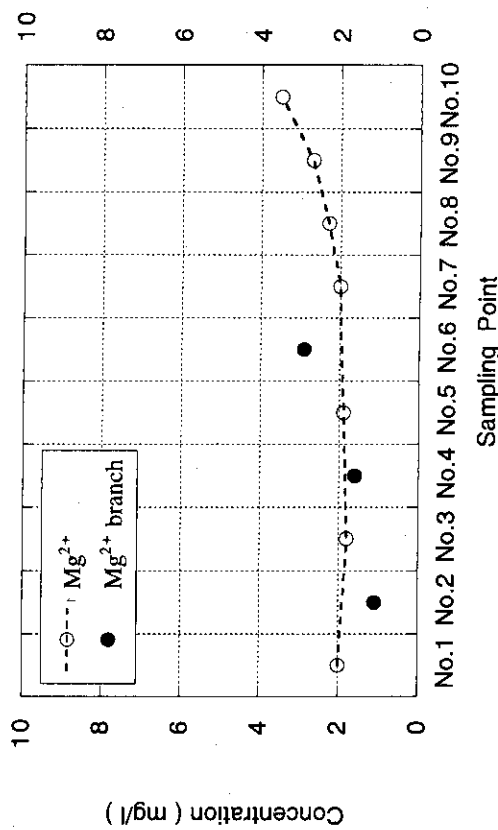


Fig.17.7 Concentration of Mg²⁺ in February 1995

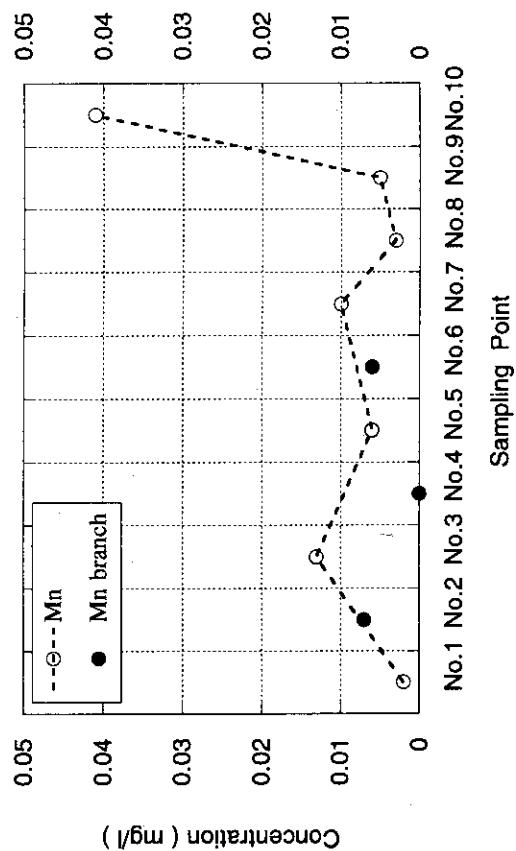


Fig.17.9 Concentration of Mn in February 1995

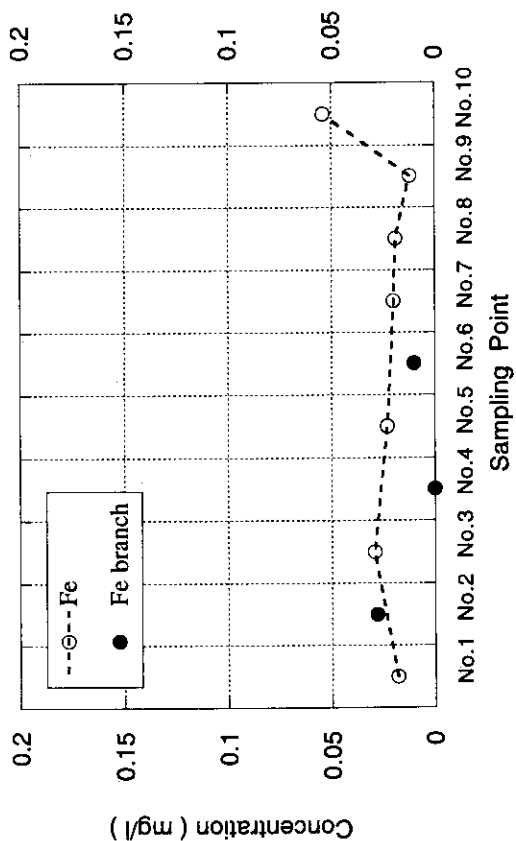


Fig.17.8 Concentration of Fe in February 1995

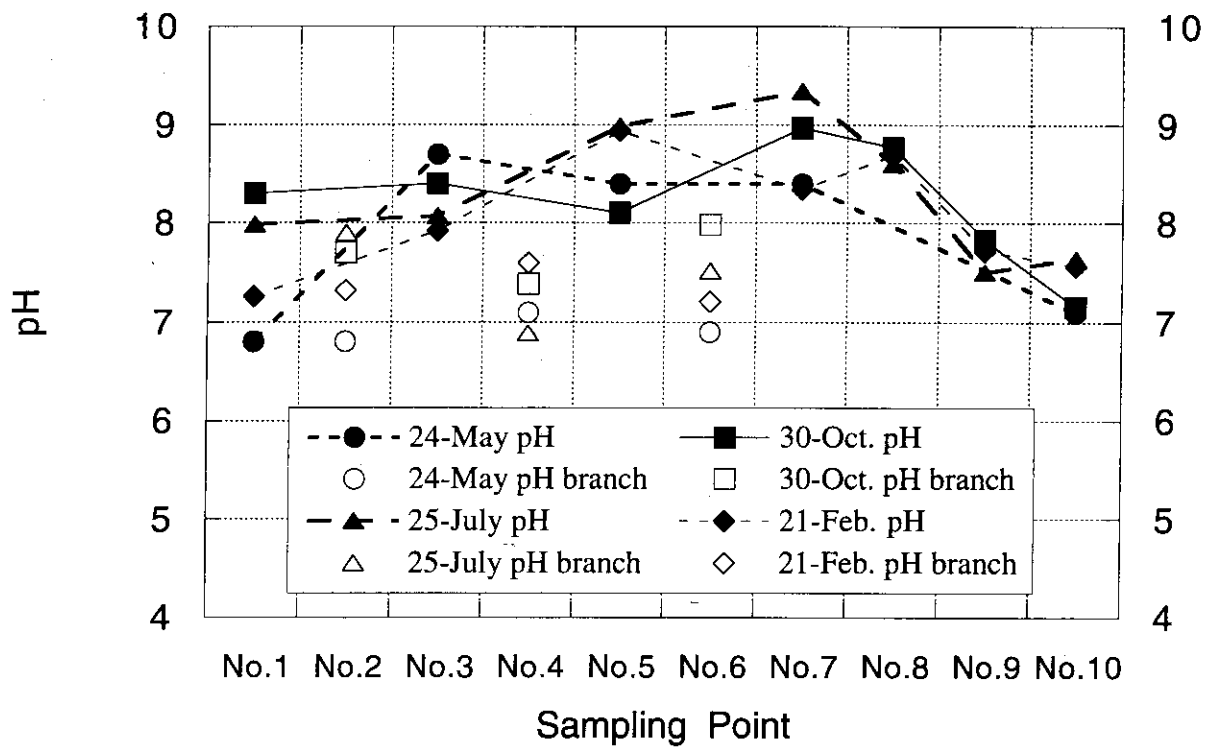


Fig.18.1 Seasonal variation of pH

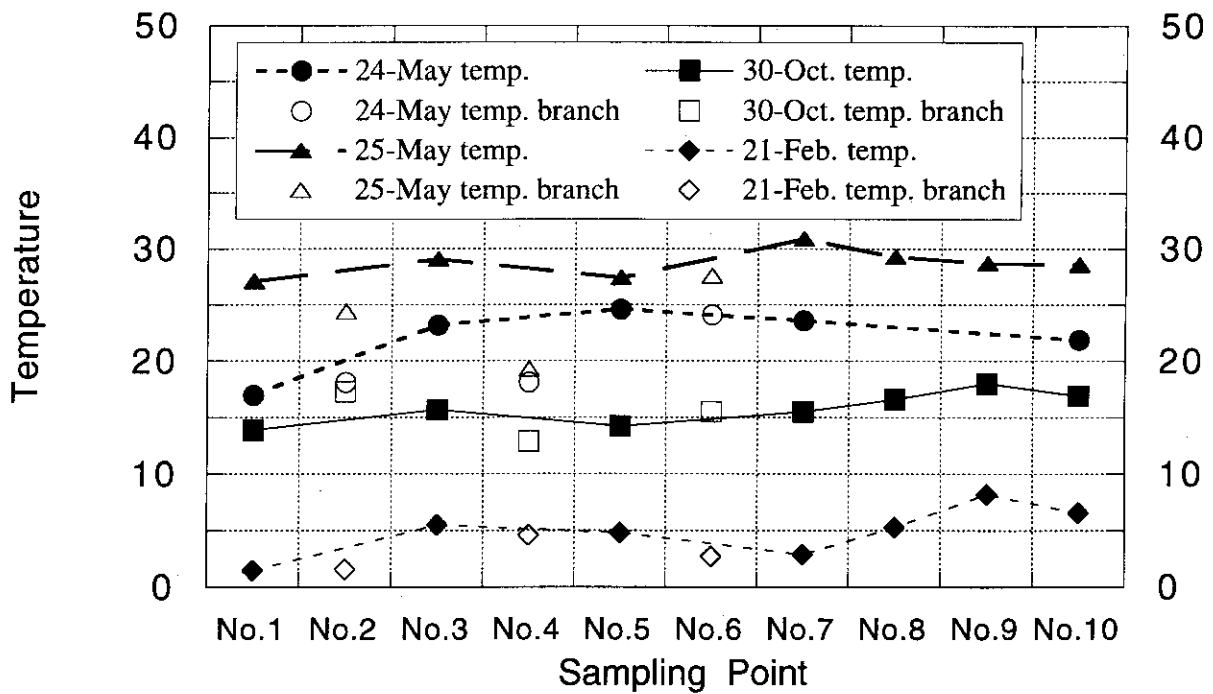


Fig.18.2 Seasonal variation of Temperature

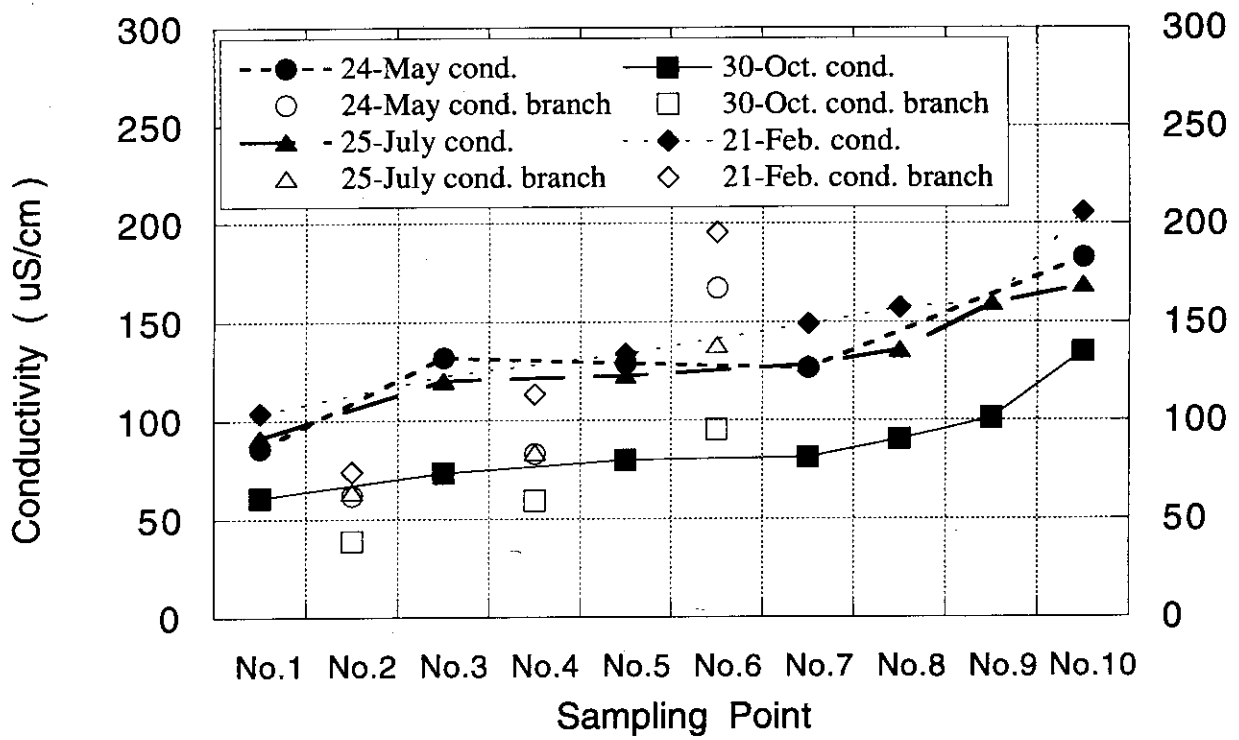


Fig.18.3 Seasonal variation of Conductivity

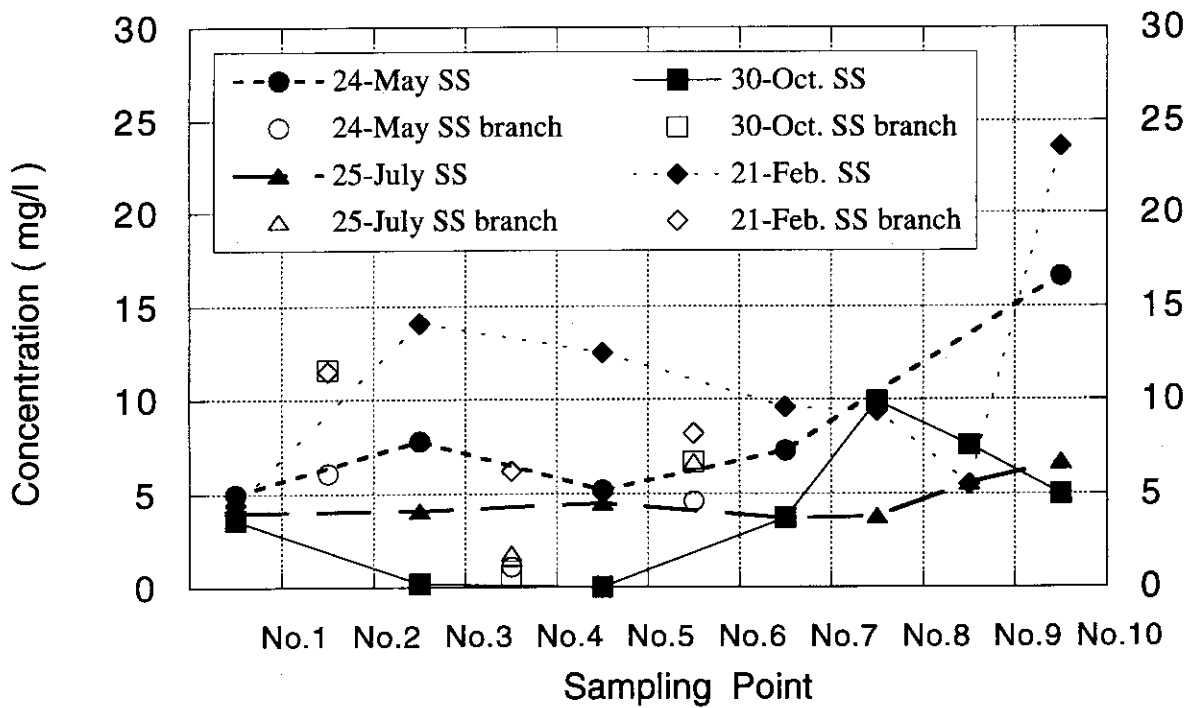


Fig.18.4 Seasonal variation of concentration of suspended solid

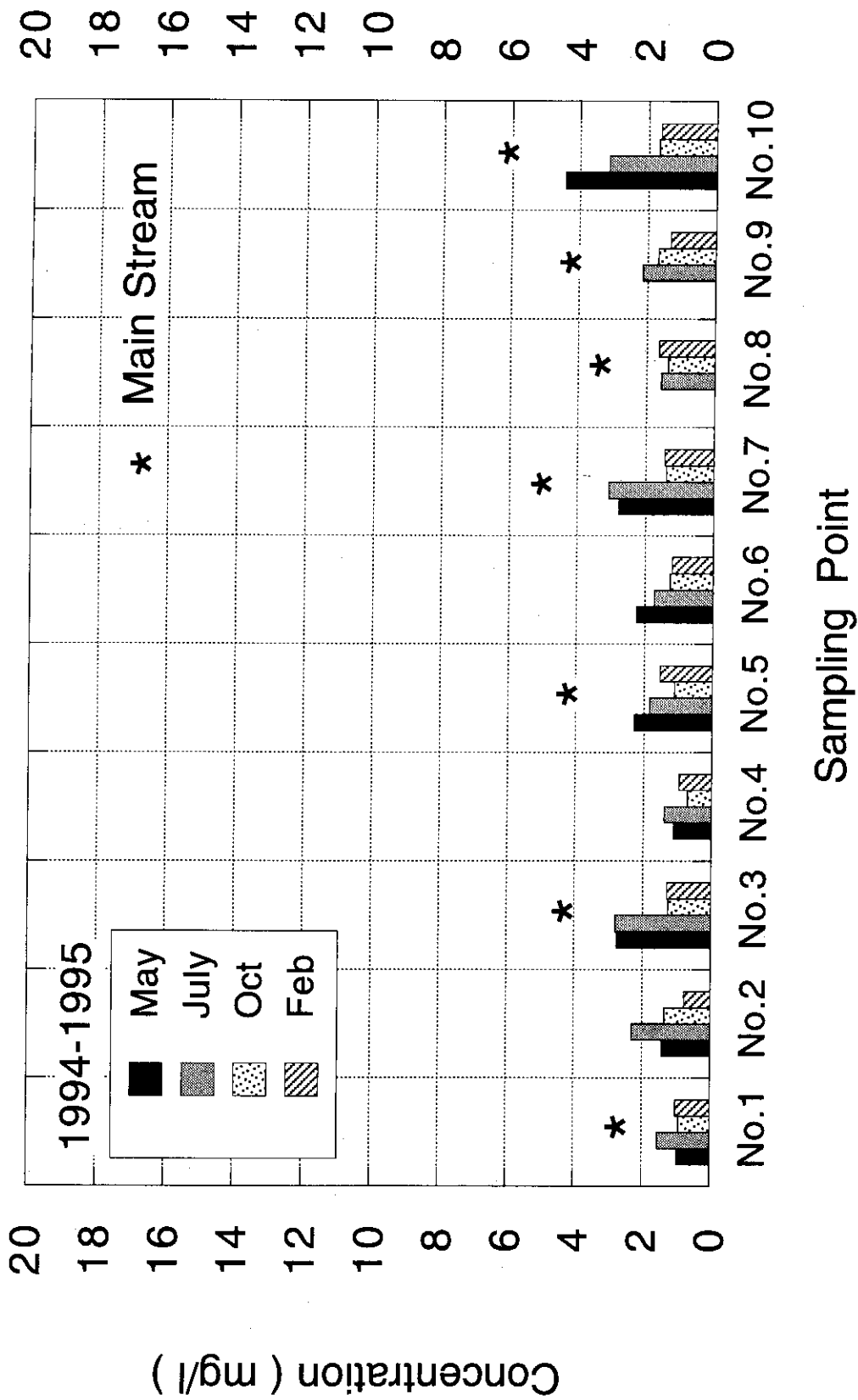


Fig.19.1 Seasonal variation of dissolved organic carbon

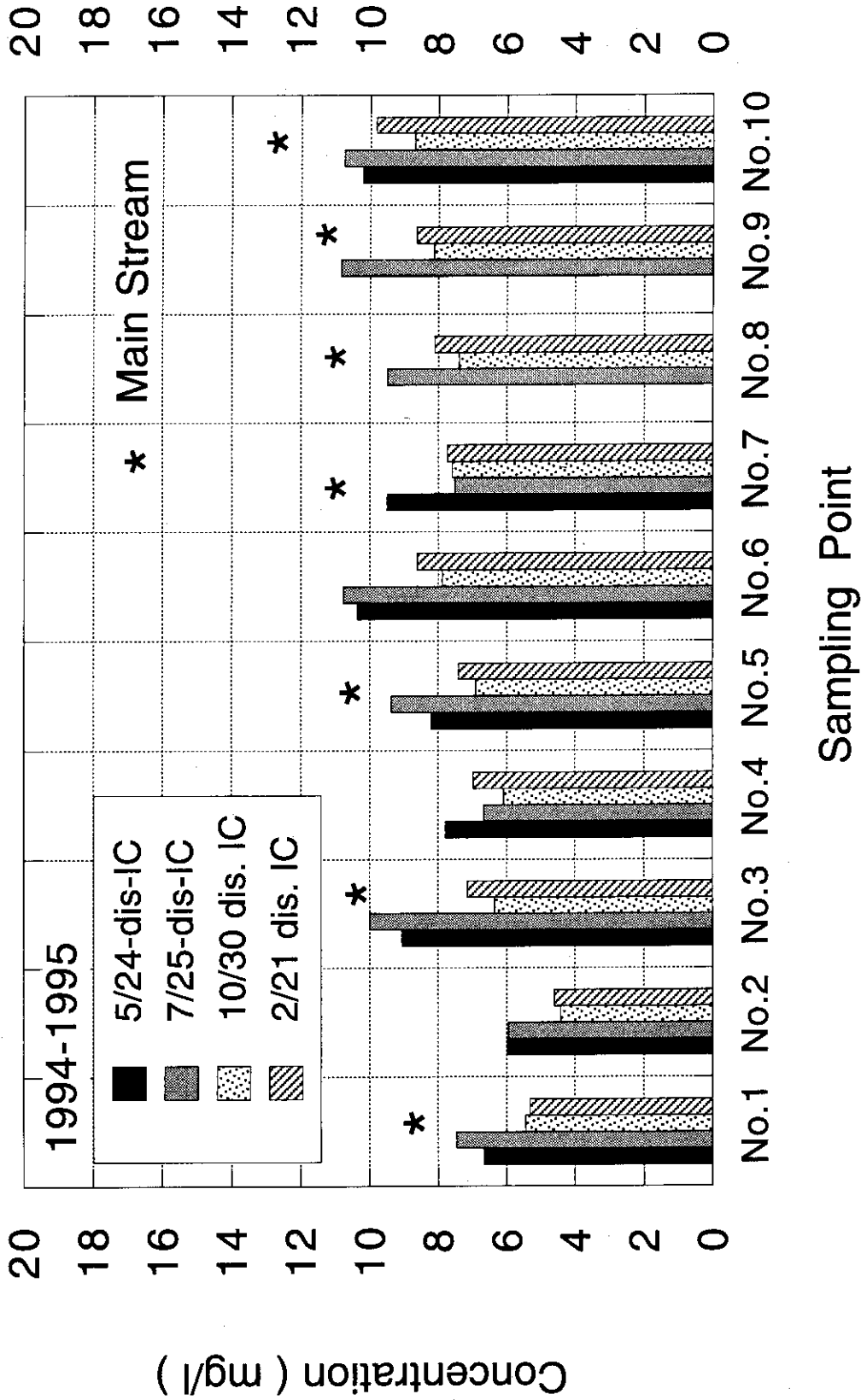


Fig.19.2 Seasonal variation of dissolved inorganic carbon

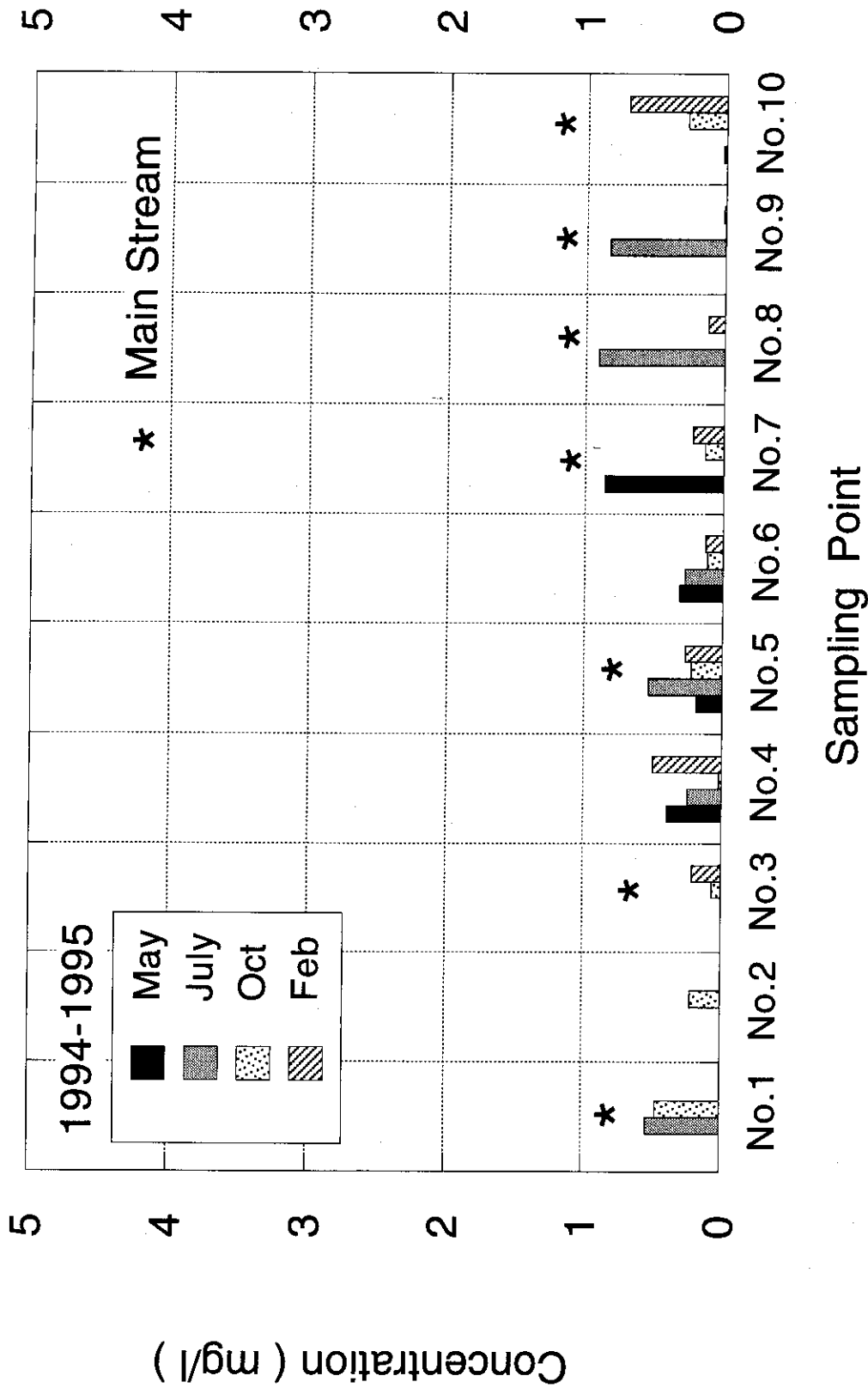


Fig.19.3 Seasonal variation of particulate organic carbon

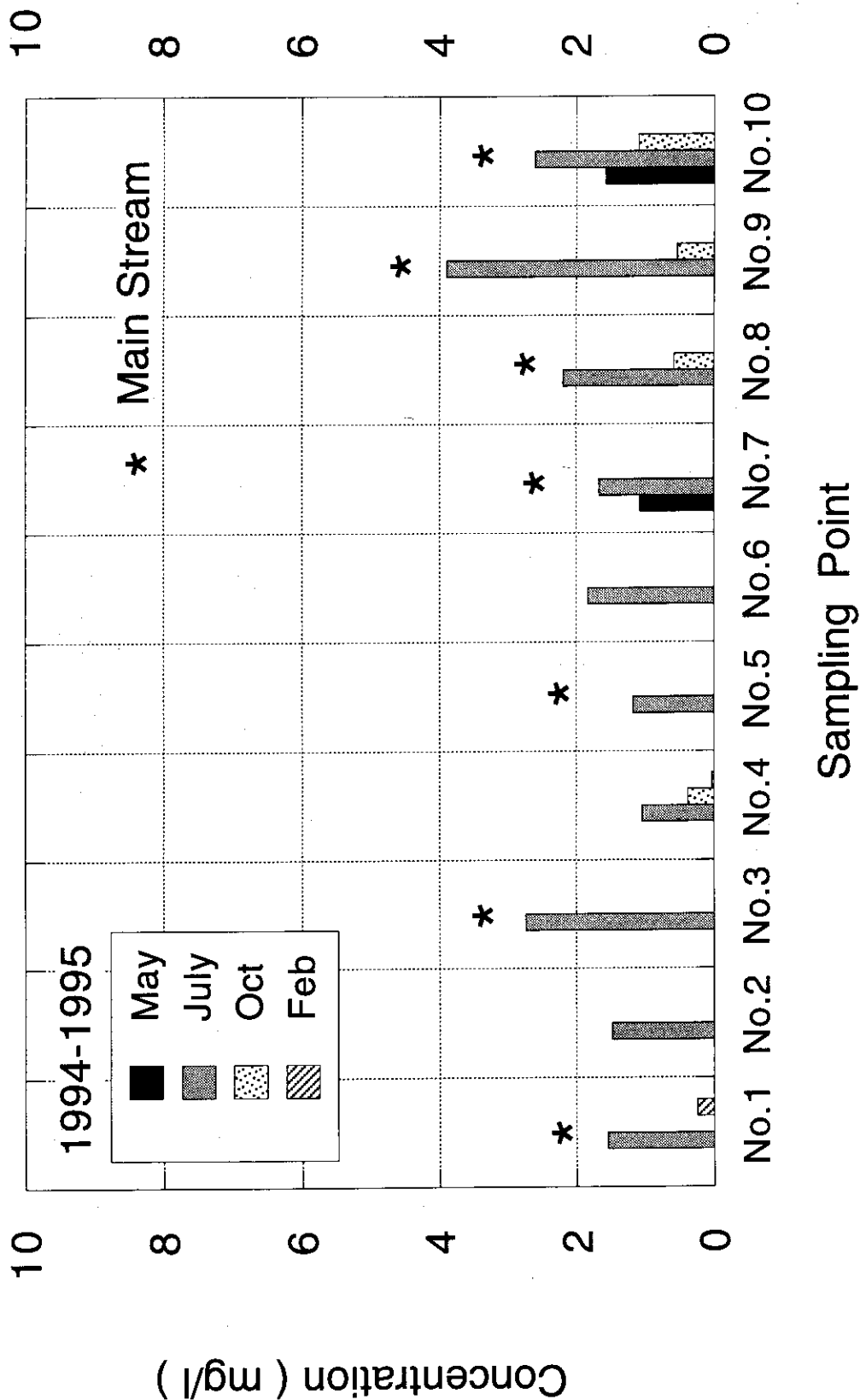


Fig.19.4 Seasonal variation of particulate inorganic carbon

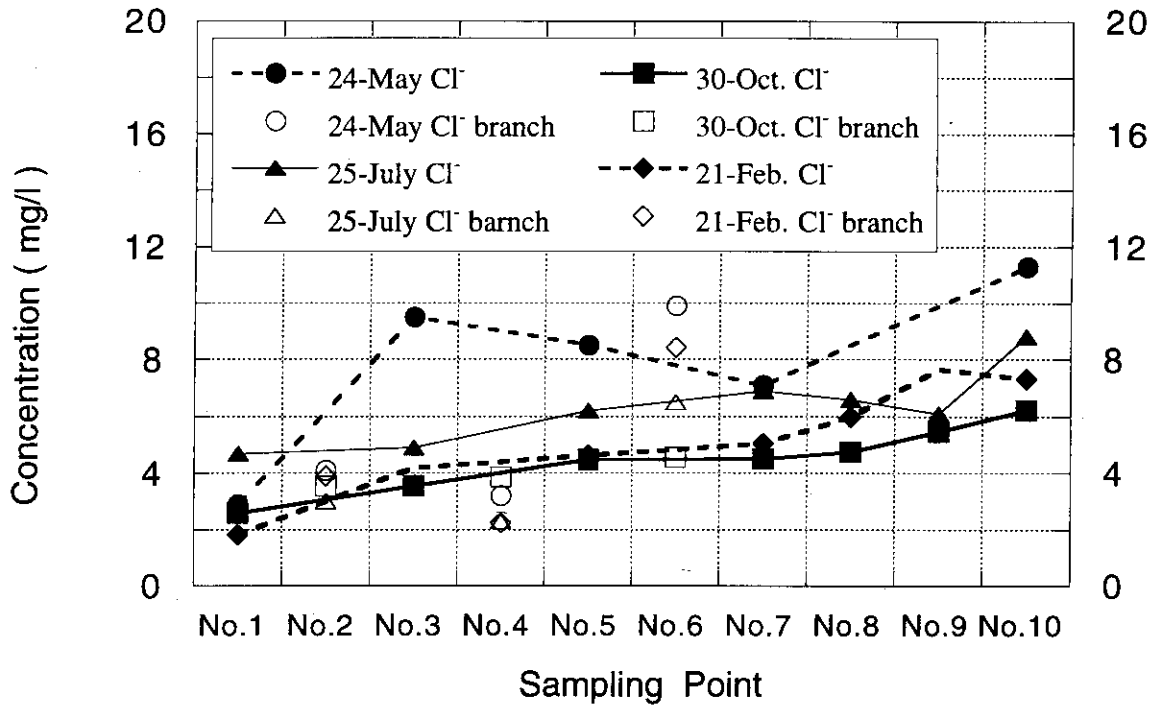


Fig.20.1 Seasonal variation of concentration of Cl^-

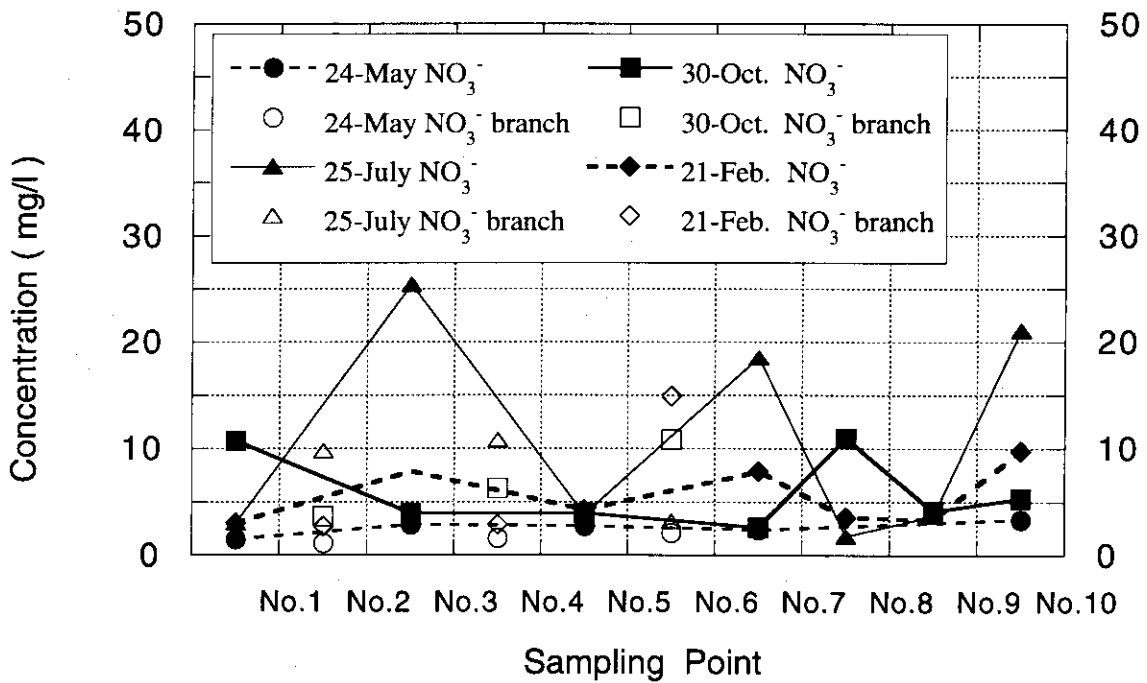


Fig.20.2 Seasonal variation of concentration of NO_3^-

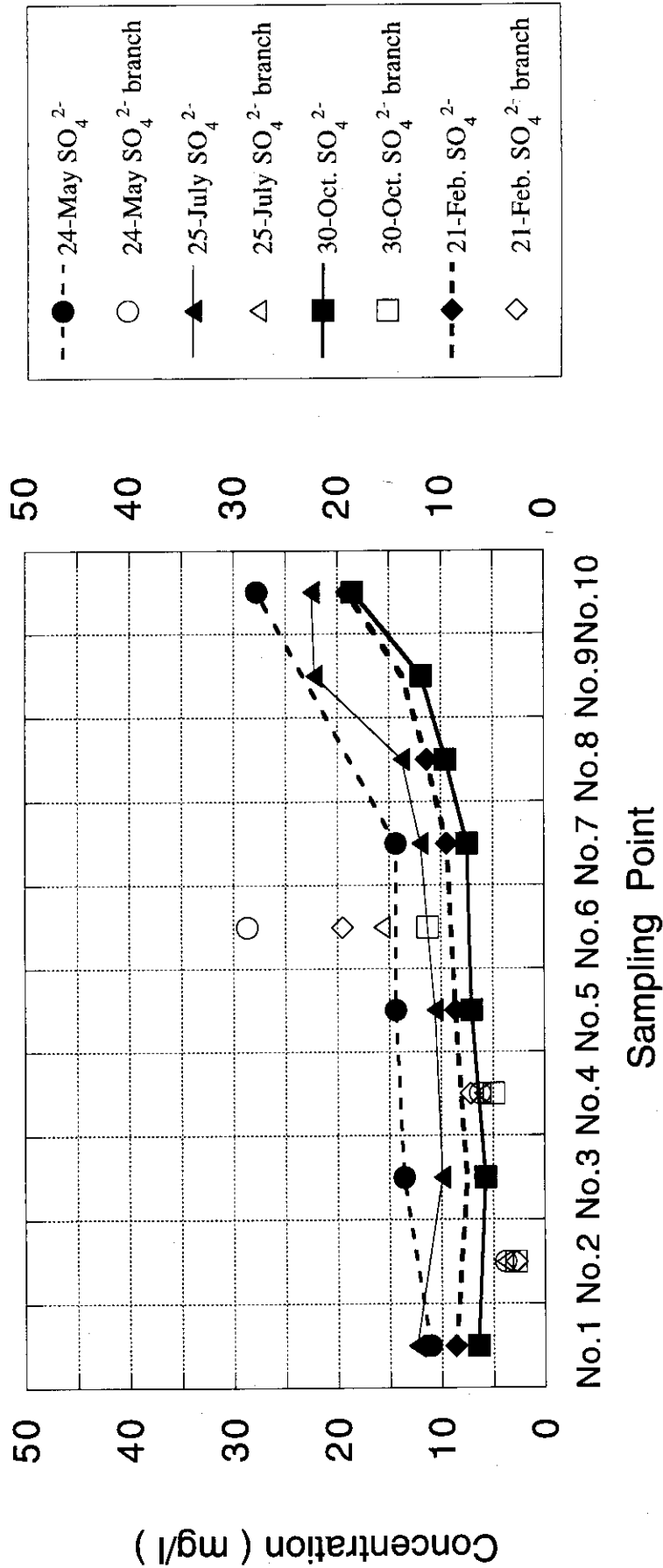


Fig.20.3 Seasonal variation of concentration of SO₄²⁻

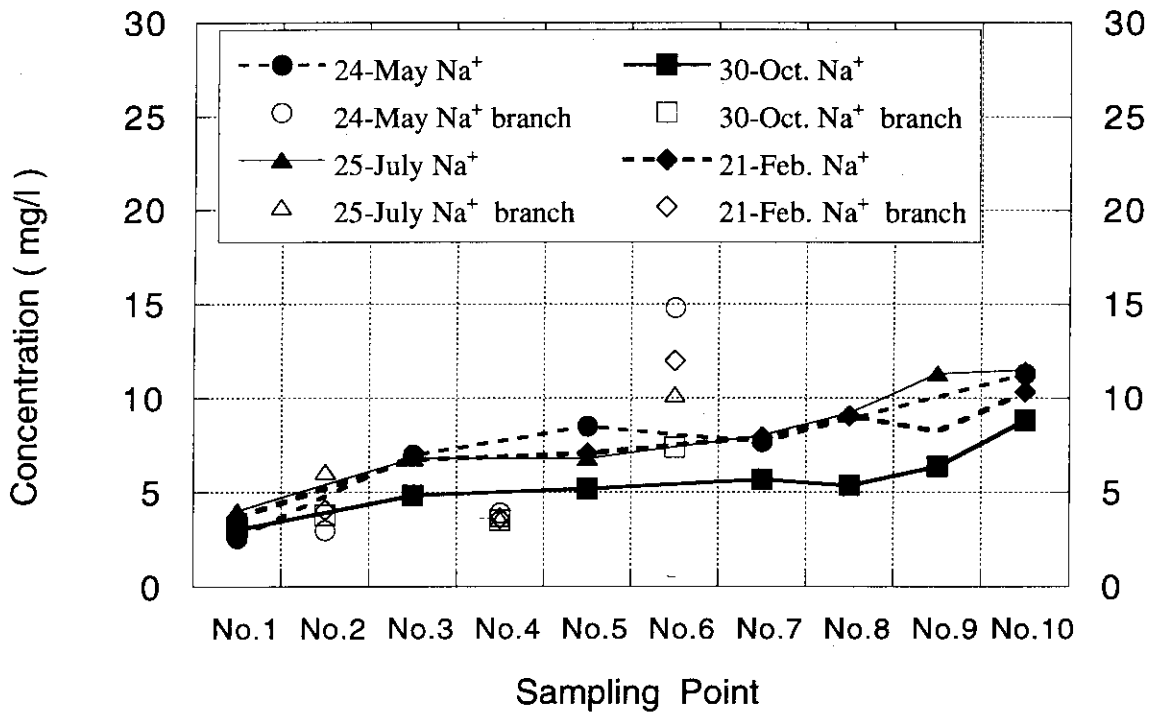


Fig.20.4 Seasonal variation of concentration of Na⁺

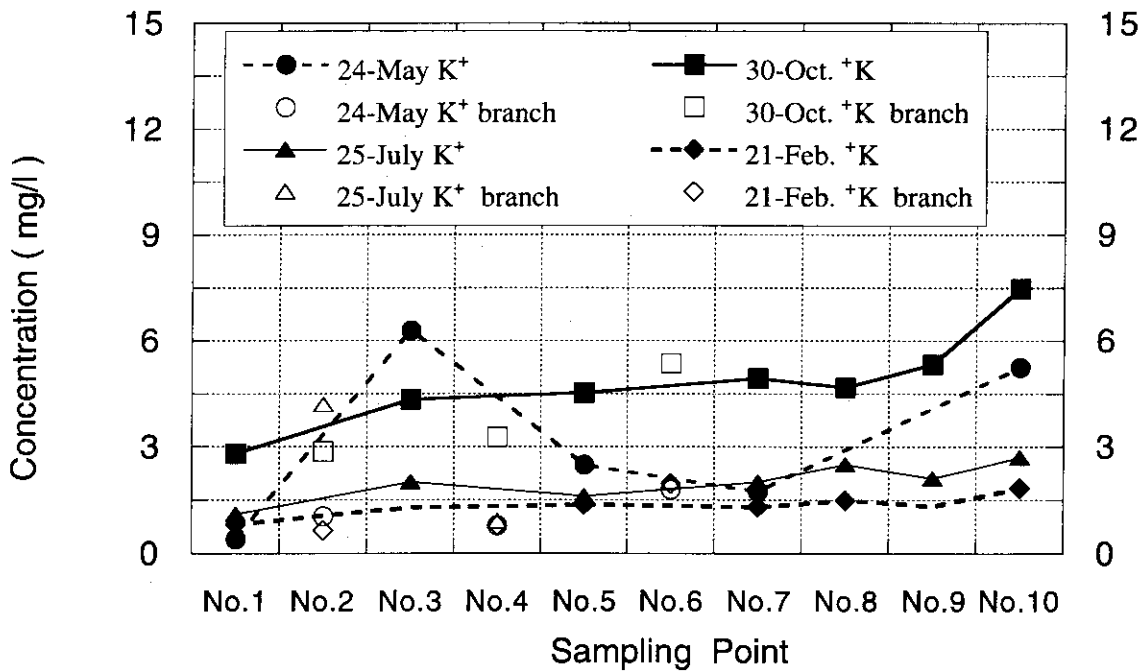


Fig.20.5 Seasonal variation of concentration of K⁺

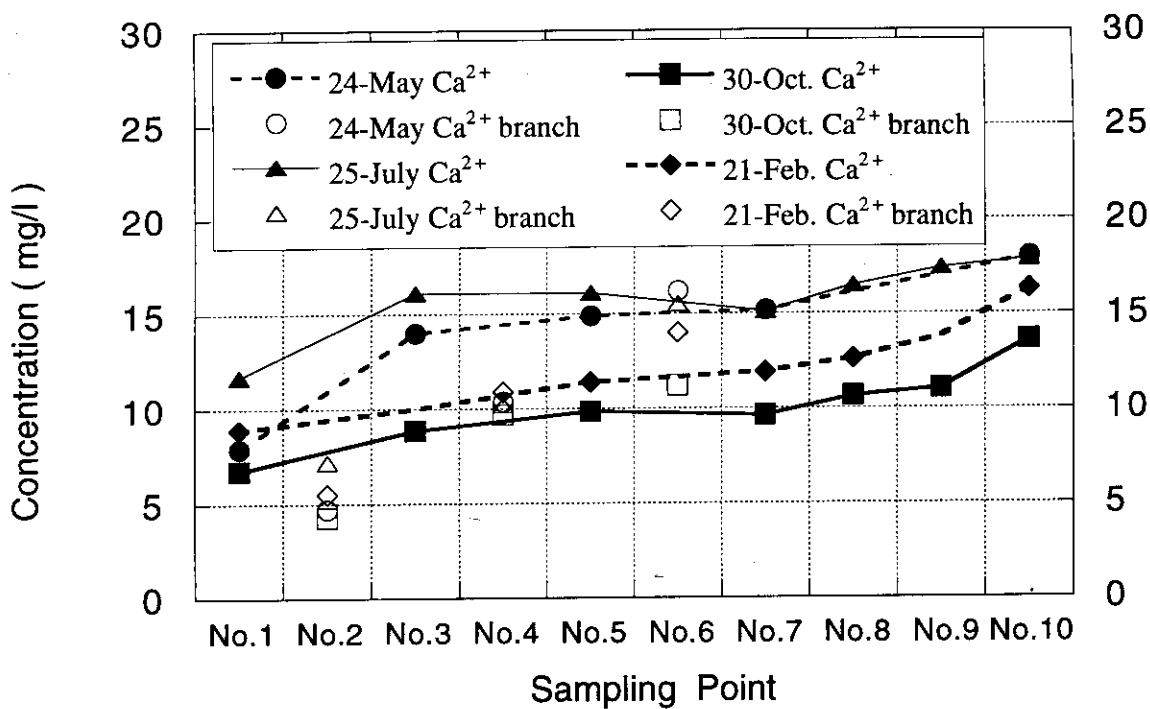


Fig.20.6 Seasonal variation of concentration of Ca^{2+}

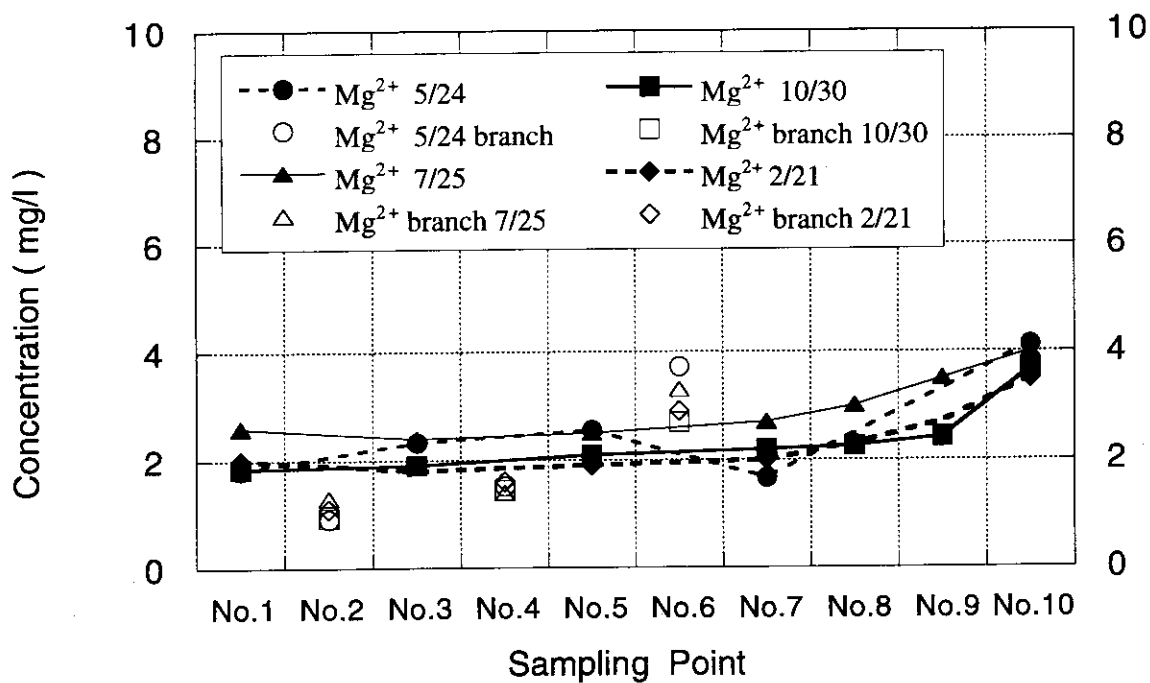


Fig.20.7 Seasonal variation of concentration of Mg^{2+}

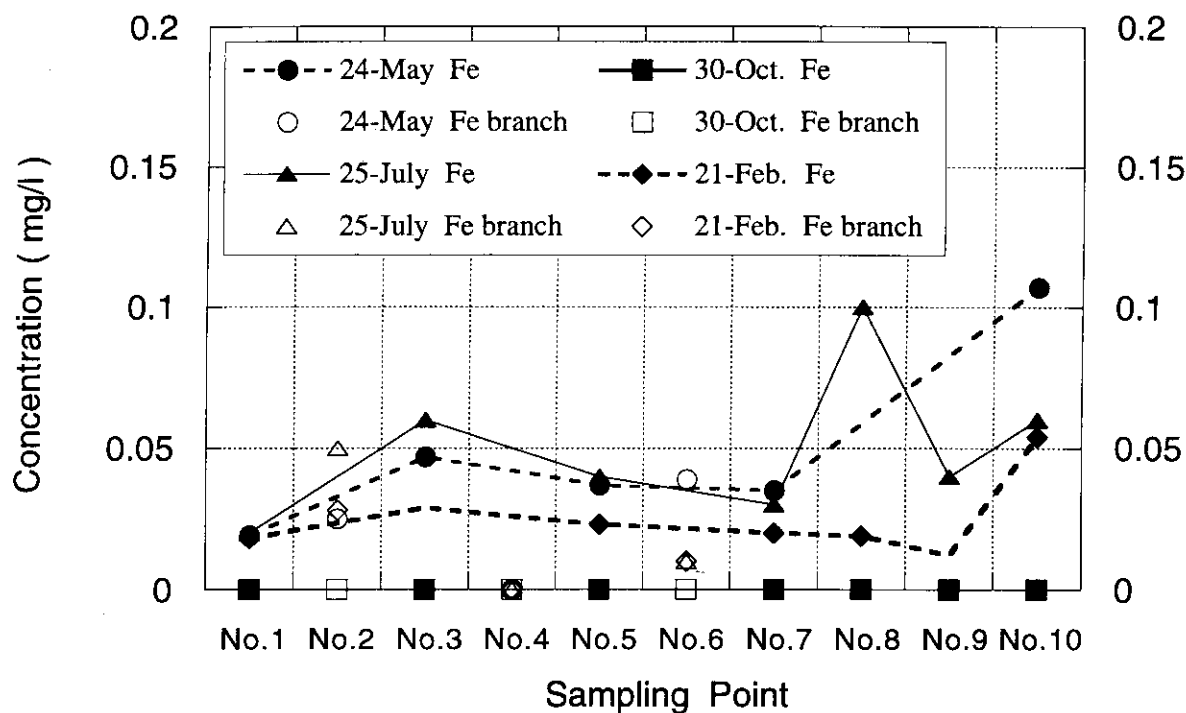


Fig.20.8 Seasonal variation of concentration of Fe

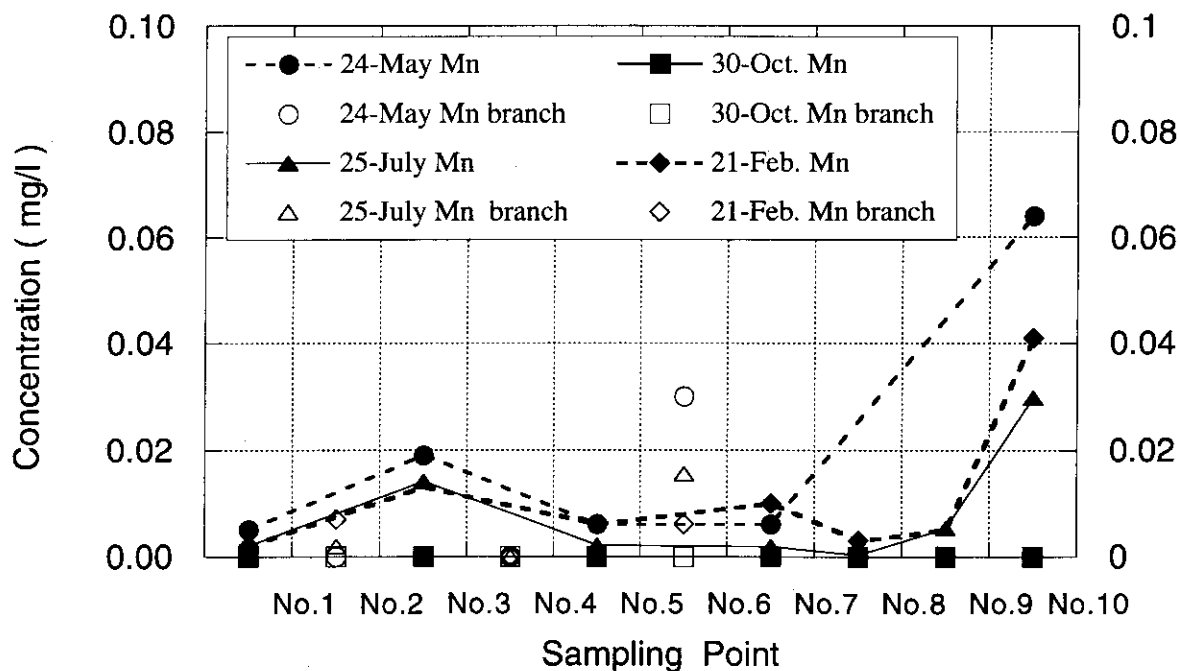


Fig.20.9 Seasonal variation of concentration of Mn