

茨城県中部域の源流部における浅層地下水・地表水の水質変動

金井 豊* 上岡 晃* 金沢康夫*** 関 陽児**
濱崎聡志** 月村勝宏** 中嶋輝允**

Yutaka KANAI, Hikari KAMIOKA, Yasuo KANAZAWA, Yoji SEKI, Satoshi HAMASAKI, Katsuhiko TSUKIMURA and Terumasa NAKAJIMA (1999) Variation of water quality of sub-surface and surface waters at the river-head in central Ibaraki Prefecture. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 50 (9), p. 591-610, 10 figs., 4 tables.

Abstract: In order to understand the water-rock interaction and relationship between geology and water quality, the sub-surface and surface waters at water source in central Ibaraki Prefecture were investigated monthly during '97~'98. The average compositions of percolated waters near the top of mountains and hills show that the water qualities in the granite area, sandstone and green tuff areas, and chert and shale areas, belong to middle type, calcium carbonate type, and non-carbonate type, respectively. As rain belongs to the non-carbonate type, it is suggested that the water quality in the granite area increases in alkalinity and alkali ions during percolation through the surface materials. Monthly variations of water quality in sandstone and green tuff areas are larger than those in granite and chert areas, and seemed to be caused by calcium and bicarbonate ions. This fact suggests that calcium carbonate may play an important role in early process of interaction between water and surface materials. Sulfate concentration is high in shale area, and its variation may be caused by the oxidation of pyrite. The monthly water quality of the surface and sub-surface waters in the surveyed area were highly influenced by the flow rate as reaction time is short and less component was dissolved, while water temperature showed less influence. This effect may be explained by the dilution of the percolated water by rain.

要 旨

地表物質や基盤を構成する地質と水質との関わりを明らかにするため、源頭水のような浅層地下水や地表水を毎月1回茨城県中部域の源流部において定点測定を行い、'97~'98の1年間にわたる水質を調査した。その結果、各地質毎の平均的水質は、花崗岩地域の水が中間型、砂岩・グリーンタフ地域の水が炭酸カルシウム型に、チャートや泥質岩地域の水が非炭酸カルシウム型に分類された。雨水は非炭酸カルシウム型であることから、浸透に伴い重炭酸濃度の増加、花崗岩地域でのアルカリ金属イオンの溶解反応などが起こっているものと考えられる。年間を通じての水質調査結果から、年変化する水質の成分や組成は採取地点によって異なり、その場ごとの水質形成機構が重要であることを示唆していた。砂岩地域・グリーンタフ地域の水質変化は、花崗岩地域やチャート地域と比較して重炭酸イオンとカルシウムイオンの変動が大きめであり、地表浅部においては炭酸カルシウムが大きく関与していると考えられた。泥質岩地域の水

は硫酸イオンが多く、黄鉄鉱の酸化により変動しているものと考えられた。環境因子の一つである水温と強い相関を有する成分は、試料によってばらつきがあった。浅層地下水の場合反応時間が短く溶解変化が小さいために水量による影響が大きい傾向があった。これは、雨水による流量の増大とともに希釈がおり、溶存成分濃度の低下として重炭酸濃度の低下/pHの低下が観測されたと考えられた。

1. はじめに

地下水は周りの環境、例えばその水を涵養する岩体や構成物質によって様々な水質を呈している。著者らは、地表物質や基盤を構成する地質と水質との関わりを明らかにしようとして、種々の水質調査を行ってきた(金井ほか, 1998)。その結果、岩体や構成物質によって様々な水質となることが明らかになったが、これらは元来共通の天水から形成され、それが地下に浸透する過程で地層構成物質との相互作用によって、天水とはかなり組成の異なる水になると考えられる。

*地殻化学部 (Geochemistry Department, GSJ)

**資源エネルギー地質部 (Mineral and Fuel Resources Department, GSJ)

***地質情報センター (Geological Information center, GSJ)

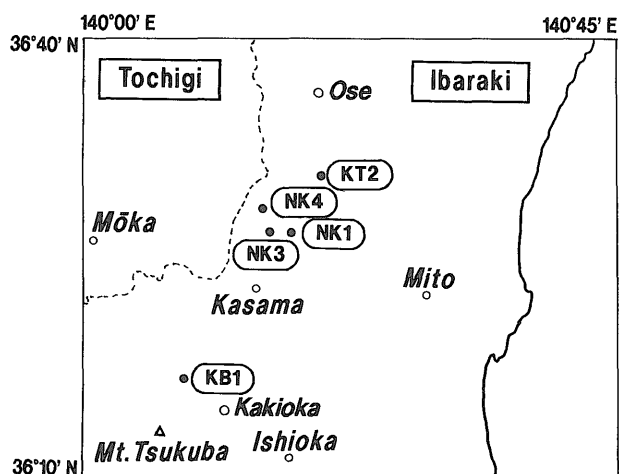
Keywords: water geochemistry, sub-surface water, surface water, riverhead, central Ibaraki, monthly variation

地表面には、深部は硬い基盤であっても、土壌や風化物が覆っている。そして、天水が最初に接触するのは樹木の後にこの土壌・風化帯である。土壌・風化帯は気圏と岩石圏との遷移的な接触帯にあり、深部の未風化帯とはかなり異なった環境である。地下における水質形成にはこの遷移帯が重要な働きをすると考え、著者らはこのような水質形成過程を解明する上で、フィールドでの調査、特に浅層地下水の水質変化を明らかにすることが不可欠と考えている。そして、このような浅層水の採水法を幾つか検討し、山頂近くの斜面あるいは源流部のような源頭での採取法を提案した(金井ほか, 1998)。

水と岩石との研究は数多くあるが、関(1998)が指摘するように表層土壌から風化帯にかけての研究はあまり行われておらず、これまで源頭水、浅層地下水の水質についての報告やその変動について研究例はほとんどないのが実状である(加藤・飯沢, 1976; 佐々木ほか, 1991; 鈴木, 1996)。そこで、茨城県中部域の山間部をモデルフィールドとして浅層地下水や地表水を毎月1回定点測定を行い、1年間にわたる水質変動を明らかにして、地質以外にどのような影響を受けて変動するのかについて検討した。本報告ではこの結果と若干の考察を報告する。なお、本研究は、国立機関原子力試験研究「高レベル放射性廃棄物地層処分に係る地層物質による地下水質変化に関する地球化学的研究」の研究の一部として行われた。試料の採取を快く許可して下さった採石場の管理者並びに関係者に厚く感謝する次第である。

2. 試料および分析方法

調査地域の地質概略については、前報(金井ほか,



第1図 調査地域と試料採取地点。黒丸が採取地点。小瀬・笠間・柿岡・筑波山は気象観測点となっている。
Fig. 1 Outline of surveyed area. Closed circles are sampling locations. Ose, Kasama, Kakioka and Mt. Tsukuba have meteorological stations.

1998) で既に述べた。今回の試料採取地点を第1図に示した。これらの採取地点で1997年7月から1998年6月までの一年間、毎月原則として20日前後に調査と試料採取を行った。一部表流水の試料もあるが、野外におけるその場での浸透地下水を採取する方法として、前報で提案した源頭付近での水採取法を採用した。これは集水域の小さな山頂付近で浸みだしてくる水を採取するものである。個々の採取地点に関しては以下の通りである(第2図)。

KB1-1,3,4 (第2図A): KB1-1は加波山の一部である足尾山西斜面にある花崗岩採掘跡の湧き水で、尾根との標高差は約20mである。花崗岩は風化が進み、マサ化している。KB1-3はさらに東側奥に入った谷間の表流水(沢水)で尾根近くである。KB1-4は尾根近くの急な斜面の表層を削って採取した源頭水で、尾根との標高差は約50mである。断面の表層10cmほどを腐植土が覆っている。

KT2-1 (第2図B): 東茨城郡桂村の第三系グリーンタフの堆積層からしみ出る源頭水である。地表面で段差を形成しているところからしみ出ており、頂上との標高差は約30mである。この近くでは、グリーンタフの上位20cmほどがれき混じりで、更に上位20cmを腐植土が覆っているのが観察された。

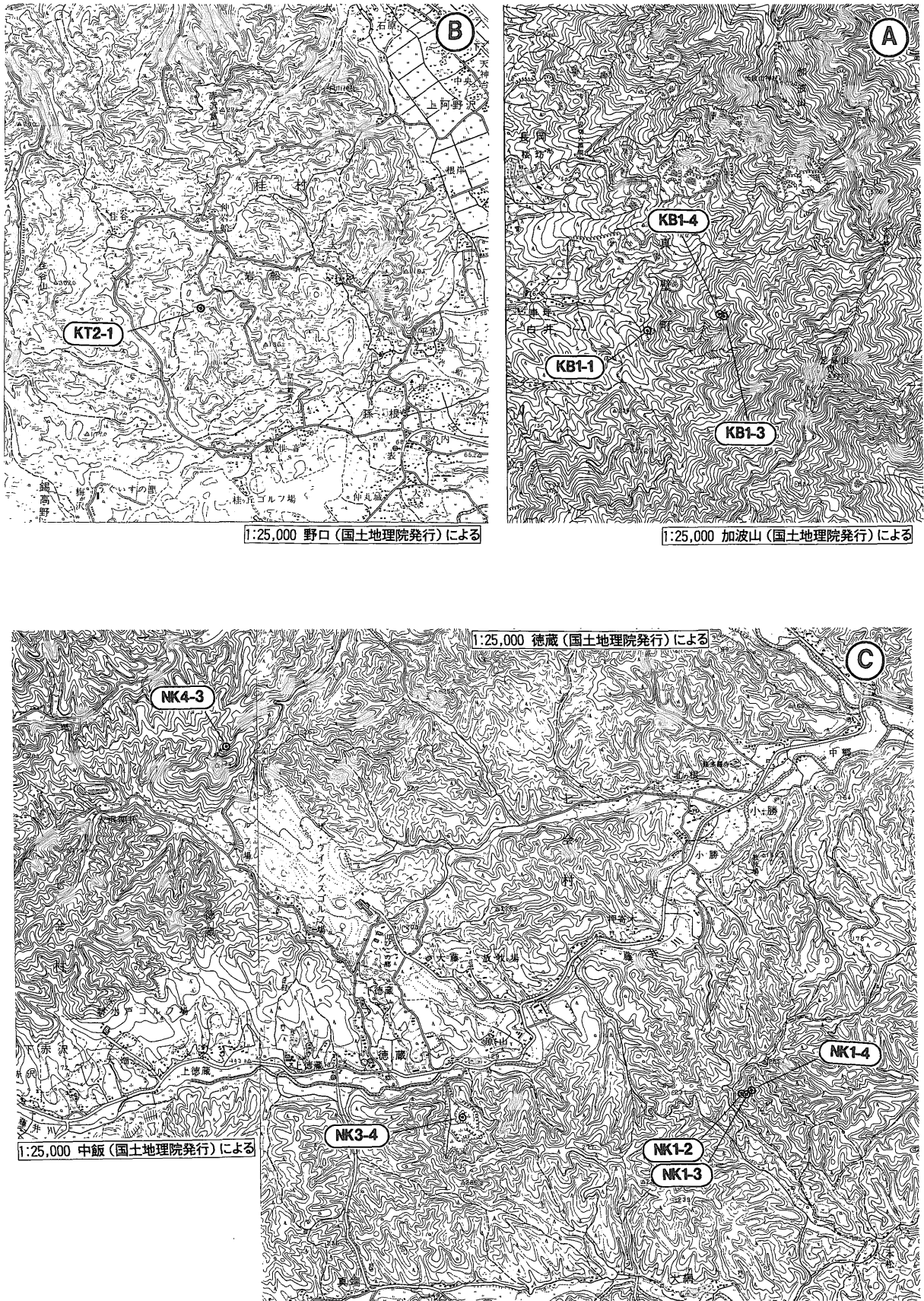
NK1-2,3,4 (第2図C): 七会村にある八溝層群の砂岩堆積層の表流水(沢水)である。NK1-2は、尾根との標高差約65mの箇所から採取され源頭水に近い。NK1-3は、NK1-2よりも更に約40mほど下りた箇所から採取した。NK1-4は、NK1-3付近の隣の沢水(本流)で、合流点から約10m程上流で採取した。

NK3-4 (第2図C): 泥質岩採石場の割れ目を流れる裂か水で、一部空気と接しながら流れている。採取地点は採石場頂部から約100m下位の所である。採石山は砂岩、チャート、カルサイト等を挟むが、主として硫化物と炭質物を多く含む頁岩からなる。ここでは採石作業の進行とともに、水の通路及び流量が変化しており、採水場所もそれに伴い移動せざるを得なかった。

NK4-3 (第2図C): 七会村八瓶山付近のチャート岩盤から流れ出る源頭水で、頂上から約80m程度下がったところで採取した。チャート礫が分布しており、周囲の表層は5-10cm程度の腐植土が覆っている。

水質の分析法は、前報とほぼ同様である。すなわち、水素イオン濃度(pH)・酸化還元電位(Eh)・電気伝導率・溶存酸素濃度の測定には各種計器を用い、重碳酸・炭酸イオン濃度は希硫酸による滴定法による。陰イオン濃度はイオンクロマトグラフィーで、陽イオンは現地での0.45 μ mのメンブランフィルターで懸濁物を濾過した後塩酸を加え、実験室に持ち帰ってから原子吸光法で、また、シリカおよび全鉄、マンガンはアルゴン誘導結合プラズマ発光分光法(ICP)で定量した。水量は、一定時

茨城県中部域の源流部における水質変動 (金井 ほか)



第2図 試料採取地点.
Fig. 2 Location of samples.

間ビニール袋で水を受けその量から計算して求めた。

3. 結果と考察

3.1 各地点における平均的水質

1997年1月および1997年7月から1998年6月までの一年間の測定結果をまとめて第1表に示す。また、その平均値と標準偏差値を第2表に示す。

まず始めに、約一年間の平均値でそれぞれの水質を検討する。それぞれの観測点での平均水質をキータイヤグラムとヘキサダイヤグラムにプロットした図を第3, 4図に示す。なお、文献値による雨水・河川水・海水(データは半谷, 1960; 原, 1992; 岡本ほか, 1992による)も示してある。キータイヤグラムでは、陰・陽イオンの組成比を比較するため、溶存イオン量の大小には関係しない。水質はキータイヤグラム上の位置によって、炭酸カルシウム型($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ または $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ を主とするタイプ)、非炭酸カルシウム型(CaCl_2 または CaSO_4 を主とするタイプ)、非炭酸ナトリウム型(NaCl を主とするタイプ)、炭酸ナトリウム型($\text{Na}(\text{HCO}_3)_2$ を主とするタイプ)、中間型等に分類される(地質調査所, 1978)。これらの図から、花崗岩に関係するもの(KB1-1,3,4)は中間型に、砂岩に関係する試料(NK1-2,3,4)は炭酸カルシウム型にそれぞれまとまって分布しており、このようにして得られた試料では種類別にグループを作っていることが分かる。調査された泥質岩地域の水(NK3-4)は非炭酸カルシウム型になる。また、チャートの所で採取された試料(NK4-3)は溶存イオン量も少ないが、雨水に近いところに位置している。一方、ヘキサダイヤグラムでは、泥質岩に関係するもの(NK3-4)を除いていずれも溶存成分量が少ないため全体の膨らみが小さな形をしているが、それでも前報で述べたような特徴を示している。すなわち、チャートでは塩化カルシウム・ナトリウム、砂岩・グリーンタフでは炭酸カルシウム、花崗岩では炭酸ナトリウム・カルシウムを主成分としていることが読みとれる。山や尾根の頂上から数10m浸透してきただけで、既にかかなり水質が形成されていると見ることが出来る。NK3-4のみ他と異なる特徴を示し、硫酸カルシウムが主体となっているが、これは泥質岩中に含まれる硫化物が風化過程で酸化され、硫酸イオンとなって岩石と反応し(千木良, 1988)、カルシウムイオンを溶かし出しているためと考えられる。砂岩・グリーンタフでは、マグネシウムの溶存量も比較的高い傾向がある。

溶存している陰・陽イオンを合わせた全イオン当量濃度は、チャートが0.45mg当量/l、砂岩が1.2mg当量/l、花崗岩が1.2-1.3mg当量/l、グリーンタフが1.5mg当量/lであった。このことは平均の電気伝導率の大小関係にも示されている。日本の平均的雨水の全イオン当量濃度は平均で0.3mg当量/lで、日本の河川水の平均で2.3mg当

量/lである(半谷, 1960)ことを考えると、今回の調査した水質は雨水から河川水あるいは深部地下水に移行する間の中間的な水質であるが、短い間にかかなり特徴的な水質が形成されているといえる。吸着やイオン交換反応は活性化エネルギーが低く、低温でも速やかに反応が進むため(関, 1998)、源頭水が表層の土壌・風化帯を通過する際にこのような反応によって短い時間のうちに水質形成をしていると考えられる。

次に、主要成分以外の成分について検討してみる。当調査地域では、鉄・マンガンイオンはほとんど0.01ppm以下であった。わずかにKT2-1とNK1-2,3,4で全鉄が0.0nppm程度、NK3-4でマンガンが0.0nppm程度の濃度を示した。鉄は中性域の水質では難溶性のため、試料採取の際の懸濁微粒子で入り込んだものかも知れない。当調査域からは外れるが、様々な採石場から湧き出ている水では、マンガンや鉄の濃度の高い水も知られている。例えば、日立市の泥質・珪質の緑色変成岩の所では13ppmMn、石岡市の砂岩採石場では3.5ppmMn、1.2ppmFeという水質が見いだされている(関ほか, 投稿準備中)。

シリカ(SiO_2)は岩石の主要構成成分で、水中での濃度は水-岩石反応の一つの指標ともなる。当調査域での水中のシリカ濃度は、8-33ppmの範囲に分布している。一番低いのはチャートで、岩石のシリカ濃度が他の岩石と比べて高いのに溶液中の濃度が低いのは、この岩石が溶解速度の低いシリカ鉱物でできているためであろう。風化花崗岩(KB1-1)が一番高く、花崗岩、グリーンタフ>砂岩、泥質岩の順に溶存濃度が低下していた。グリーンタフは火山性碎屑堆積物であり、水の電気伝導率がNK3-4を除くと一番高く、シリカ濃度も高いことから、水との反応性に富む非晶質を多く含むと推察される。

平均のpH値で特徴的なことは、花崗岩・グリーンタフ・砂岩地域の水が6.6-7.3と中性に近いのに対し、チャート地域の水が5.5と弱酸性、泥質岩地域のNK3-4が8.1と弱アルカリ性に偏っていることである。最近は酸性雨の影響で低pHの水も多いが、空気中の二酸化炭素と平衡状態の雨水はpH5.6前後といわれているので、チャート地域の水はそうした天水に近い。一方、沢水であるKB1-3, NK1-3, NK1-4では幾分pHが高い。これは表流するうちに脱炭酸が起こりpHが上昇したものと考えられる。

平均の酸化還元電位では、最も高いのがチャート地域の水で、次がグリーンタフ・花崗岩地域、最も低いのが砂岩・泥質岩地域の水である。泥質岩地域では硫化物の存在で説明されるが、砂岩地域は山肌を覆う落ち葉などの有機物・腐植物質が還元環境をもたらしているという可能性が考えられる。溶存酸素は酸化還元電位とも関係するだろうが、泥質岩地域で低くグリーンタフ地域でもやや低い傾向がみられた。

茨城県中部域の源流部における水質変動 (金井 ほか)

第1表 月別の水質調査結果.
Table 1 Water quality of monthly collected samples.

| Jan. 1997 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|------|-------|---------|------------|--------|----------|-------|--------------|------|------|-------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|------|------------------|------------------|------|
| sample | date | time | weather | rock | T(air) | T(water) | Flow | Conductivity | pH | ORP | DO | Alkalinity | F ⁻ | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ³⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | t.Fe | Mn ²⁺ | SiO ₂ | |
| location | | | | type | °C | °C | l/min | μS/cm | mV | mg/l | mg/l | HCO ₃ ⁻ | CO ₃ ²⁻ | mg/l | | | | | | | | | | | | |
| KB1-1 | 108 | 11:40 | fine | granite | 6.4 | 11.4 | 6.0 | 51.8 | 6.98 | 148 | 10.45 | 24.4 | 0.00 | 0.09 | 5.46 | 0.02 | 1.13 | 0.30 | 0.14 | 8.62 | 0.89 | 4.68 | 0.83 | 0.00 | 0.00 | 33.4 |
| KB1-3 | 108 | 14:25 | fine | granite | 5.7 | 8.9 | - | 43.3 | 7.52 | 153 | 10.54 | 15.9 | 0.00 | 0.06 | 4.74 | 0.00 | 2.00 | 3.80 | 0.02 | 6.97 | 0.62 | 4.31 | 0.73 | 0.00 | 0.00 | 24.2 |
| KB1-4 | 108 | 14:40 | fine | granite | 5.7 | 10.3 | 0.6 | 26.9 | 7.01 | 164 | 9.43 | 19.5 | 0.00 | 0.07 | 6.53 | 0.00 | 2.20 | 2.45 | 0.00 | 8.87 | 0.75 | 4.84 | 0.78 | 0.00 | 0.00 | 28.0 |
| KT2-1 | 110 | 10:50 | fine | green tuff | 8.6 | 12.0 | 5.0 | 32.2 | 7.30 | 159 | 5.81 | 34.2 | 0.00 | 0.10 | 3.11 | 0.00 | 3.14 | 1.49 | 0.02 | 6.72 | 0.60 | 7.02 | 2.31 | 0.00 | 0.00 | 26.4 |
| NK1-2 | 109 | 12:30 | fine | sandstone | 4.3 | 7.0 | - | 21.6 | 6.96 | 82 | 11.19 | 15.9 | 0.00 | 0.23 | 3.26 | 0.00 | 3.96 | 2.84 | 0.00 | 5.17 | 0.28 | 4.52 | 1.54 | 0.06 | 0.01 | 17.8 |
| NK1-3 | 109 | 12:00 | fine | sandstone | 4.3 | 5.0 | - | 20.1 | 7.41 | 110 | 11.54 | 15.9 | 0.00 | 0.07 | 3.28 | 0.00 | 3.98 | 3.21 | 0.00 | 5.08 | 0.33 | 4.66 | 1.60 | 0.02 | 0.00 | 16.7 |
| NK1-4 | 109 | 11:40 | fine | sandstone | 4.3 | 6.9 | - | 22.8 | 7.59 | 122 | 10.79 | 19.5 | 0.00 | 0.05 | 4.23 | 0.00 | 3.31 | 1.70 | 0.00 | 5.21 | 0.41 | 5.62 | 1.59 | 0.01 | 0.00 | 16.7 |
| NK3-4 | 109 | 16:00 | fine | mudstone | 4.1 | 13.4 | - | 30.4 | 8.19 | 239 | 13.11 | 136 | 0.00 | 0.04 | 2.63 | 0.03 | 1.49 | 0.24 | 0.00 | 8.06 | 1.75 | 85.7 | 13.7 | 0.00 | 0.00 | 16.4 |
| NK4-3 | 110 | 13:50 | fine | chert | 8.9 | 9.5 | 4.0 | 23.3 | 6.68 | 269 | 6.45 | 0.9 | 0.00 | 0.03 | 3.08 | 0.00 | 2.34 | 2.71 | 0.00 | 1.96 | 0.25 | 1.87 | 0.84 | 0.00 | 0.00 | 7.92 |
| NK4-4 (snow) | | | | chert | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.00 | 0.14 | 0.15 | 0.00 | 0.74 | 0.11 | 0.00 | 0.27 | 0.25 | 0.45 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | - |

| Jul. 1997 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|------|-------|--------------|------------|--------|----------|-------|--------------|------|------|-------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|------|------------------|------------------|------|
| sample | date | time | weather | rock | T(air) | T(water) | Flow | Conductivity | pH | ORP | DO | Alkalinity | F ⁻ | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ³⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | t.Fe | Mn ²⁺ | SiO ₂ | |
| location | | | | type | °C | °C | l/min | μS/cm | mV | mg/l | mg/l | HCO ₃ ⁻ | CO ₃ ²⁻ | mg/l | | | | | | | | | | | | |
| KB1-1 | 714 | 11:05 | fine | granite | 32.0 | 15.7 | - | 59.2 | 6.89 | 132 | 6.37 | 25.4 | 0.00 | 0.11 | 5.30 | 0.02 | 1.09 | 0.15 | 0.11 | 7.73 | 0.93 | 4.65 | 0.78 | 0.00 | 0.00 | 32.3 |
| KB1-3 | 714 | 11:55 | fine | granite | 25.8 | 14.6 | 36.5 | 53.8 | 7.42 | 149 | 8.63 | 17.1 | 0.00 | 0.05 | 4.55 | 0.01 | 1.89 | 3.96 | 0.00 | 6.76 | 0.82 | 4.79 | 0.76 | 0.00 | 0.00 | 24.2 |
| KB1-4 | 714 | 12:25 | fine | granite | 25.8 | 15.8 | 0.0 | 64.8 | 7.16 | 148 | 8.50 | 20.4 | 0.00 | 0.06 | 6.47 | 0.00 | 2.05 | 1.71 | 0.00 | 8.28 | 0.88 | 4.77 | 0.70 | 0.00 | 0.00 | 28.3 |
| KT2-1 | 715 | 11:25 | fine | green tuff | 26.5 | 14.0 | 1.2 | 68.9 | 6.42 | 226 | 8.97 | 32.3 | 0.00 | 0.08 | 2.87 | 0.01 | 3.24 | 1.23 | 0.00 | 6.31 | 0.69 | 7.16 | 2.27 | 0.01 | 0.00 | 26.8 |
| NK1-2 | 715 | 13:20 | fine | sandstone | 25.2 | 14.5 | 1.3 | 54.0 | 7.02 | 185 | 9.75 | 18.3 | 0.00 | 0.03 | 3.04 | 0.00 | 4.06 | 2.07 | 0.00 | 5.35 | 0.48 | 5.02 | 1.64 | 0.02 | 0.00 | 19.7 |
| NK1-3 | 715 | 13:45 | fine | sandstone | 24.9 | 17.4 | 2.3 | 56.6 | 7.21 | 175 | 9.51 | 17.1 | 0.00 | 0.04 | 3.15 | 0.00 | 3.93 | 1.89 | 0.00 | 5.08 | 5.00 | 4.77 | 1.55 | 0.02 | 0.00 | 18.8 |
| NK1-4 | 715 | 14:00 | fine | sandstone | 24.9 | 16.1 | 14.0 | 53.8 | 7.16 | 92 | 9.65 | 18.9 | 0.00 | 0.04 | 4.11 | 0.00 | 3.09 | 0.69 | 0.00 | 5.17 | 0.56 | 5.05 | 1.76 | 0.01 | 0.00 | 18.5 |
| NK3-4 | 714 | 16:00 | cloudy/rainy | mudstone | 24.9 | 24.1 | 33.1 | 336 | 8.63 | 165 | 8.52 | 109 | 0.00 | 0.08 | 2.44 | 0.02 | 69 | 1.23 | 0.00 | 6.29 | 1.88 | 57.2 | 8.59 | 0.00 | 0.00 | 16.9 |
| NK4-3 | 715 | 15:40 | fine | chert | 24.4 | 14.5 | 5.8 | 24.9 | 5.45 | 209 | 10.83 | 0.9 | 0.00 | 0.03 | 3.10 | 0.00 | 2.48 | 0.75 | 0.00 | 2.25 | 0.31 | 1.60 | 0.68 | 0.00 | 0.00 | 8.70 |

| Aug. 1997 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|------|-------|---------|------------|--------|----------|-------|--------------|------|------|------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|------|------------------|------------------|------|
| sample | date | time | weather | rock | T(air) | T(water) | Flow | Conductivity | pH | ORP | DO | Alkalinity | F ⁻ | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ³⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | t.Fe | Mn ²⁺ | SiO ₂ | |
| location | | | | type | °C | °C | l/min | μS/cm | mV | mg/l | mg/l | HCO ₃ ⁻ | CO ₃ ²⁻ | mg/l | | | | | | | | | | | | |
| KB1-1 | 819 | 10:50 | cloudy | granite | 27.5 | 16.5 | 5.9 | 56.0 | 6.55 | 433 | 8.62 | 25.0 | 0.00 | 0.09 | 5.61 | 0.02 | 1.13 | 0.15 | 0.11 | 7.91 | 0.98 | 4.68 | 0.80 | 0.00 | 0.00 | 32.6 |
| KB1-3 | 819 | 11:45 | cloudy | granite | 23.6 | 15.7 | 50.2 | 56.8 | 7.14 | 307 | 9.56 | 16.2 | 0.00 | 0.04 | 4.70 | 0.01 | 1.98 | 4.62 | 0.00 | 6.71 | 0.85 | 4.74 | 0.77 | 0.00 | 0.00 | 24.1 |
| KB1-4 | 819 | 12:10 | cloudy | granite | 23.4 | 15.8 | 0.9 | 48.1 | 6.76 | 295 | 8.95 | 21.0 | 0.00 | 0.05 | 6.53 | 0.00 | 2.07 | 1.80 | 0.04 | 8.18 | 0.85 | 4.79 | 0.72 | 0.00 | 0.00 | 28.0 |
| KT2-1 | 820 | 11:20 | fine | green tuff | 27.8 | 14.5 | 1.1 | 148.0 | 6.29 | 148 | 7.80 | 35.1 | 0.00 | 0.08 | 2.95 | 0.01 | 3.71 | 1.77 | 0.00 | 6.48 | 0.72 | 7.78 | 2.49 | 0.01 | 0.00 | 26.8 |
| NK1-2 | 820 | 14:30 | fine | sandstone | 26.4 | 17.2 | 0.4 | 62.3 | 7.05 | 106 | 8.20 | 25.0 | 0.00 | 0.03 | 3.34 | 0.00 | 4.35 | 1.92 | 0.00 | 5.66 | 0.47 | 6.15 | 1.97 | 0.01 | 0.00 | 20.3 |
| NK1-3 | 820 | 13:45 | fine | sandstone | 27.5 | 19.5 | 0.5 | 57.5 | 6.73 | 75 | 8.94 | 22.6 | 0.00 | 0.04 | 3.49 | 0.00 | 3.97 | 1.74 | 0.00 | 5.64 | 0.60 | 5.84 | 1.81 | 0.02 | 0.00 | 19.1 |
| NK1-4 | 820 | 14:10 | fine | sandstone | 26.3 | 17.6 | 3.6 | 56.2 | 7.05 | 166 | 8.11 | 23.2 | 0.00 | 0.04 | 4.24 | 0.00 | 2.98 | 0.99 | 0.00 | 5.39 | 0.66 | 6.06 | 1.58 | 0.01 | 0.00 | 18.8 |
| NK3-4 | 819 | 15:26 | cloudy | mudstone | 30.0 | 14.7 | 8.6 | 291 | 8.10 | 116 | 4.29 | 66.2 | 0.00 | 0.03 | 2.19 | 0.00 | 135 | 0.00 | 0.00 | 7.61 | 1.08 | 71.3 | 9.03 | 0.00 | 0.00 | 17.4 |
| NK4-3 | 820 | 15:50 | fine | chert | 25.0 | 16.5 | 2.4 | 23.8 | 5.33 | 272 | 7.63 | 1.2 | 0.00 | 0.07 | 3.17 | 0.00 | 2.46 | 0.48 | 0.00 | 2.54 | 0.31 | 1.56 | 0.66 | 0.00 | 0.00 | 9.21 |

| Sep. 1997 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|------|-------|------------|----------|--------|----------|-------|--------------|------|------|------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|------|------------------|------------------|------|
| sample | date | time | weather | rock | T(air) | T(water) | Flow | Conductivity | pH | ORP | DO | Alkalinity | F ⁻ | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ³⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | t.Fe | Mn ²⁺ | SiO ₂ | |
| location | | | | type | °C | °C | l/min | μS/cm | mV | mg/l | mg/l | HCO ₃ ⁻ | CO ₃ ²⁻ | mg/l | | | | | | | | | | | | |
| KB1-1 | 924 | 9:45 | cloudy | granite | 20.6 | 16.6 | 7.4 | 78.5 | 6.64 | 242 | 7.38 | 25.0 | 0.00 | 0.11 | 5.43 | 0.02 | 1.29 | 1.06 | 0.12 | 7.70 | 1.00 | 4.85 | 0.83 | 0.00 | 0.00 | 33.1 |
| KB1-3 | 924 | 10:50 | cloudy | granite | 18.1 | 15.0 | 72.0 | 56.0 | 7.22 | 301 | 8.64 | 26.8 | 0.00 | 0.09 | 4.74 | 0.00 | 2.11 | 6.07 | 0.03 | 6.70 | 0.82 | 4.96 | 0.83 | 0.00 | 0.00 | 24.4 |
| KB1-4 | 924 | 11:20 | cloudy | granite | 18.9 | 15.0 | 0.9 | 63.2 | 6.66 | 283 | 7.48 | 22.7 | 0.00 | 0.05 | 6.39 | 0.00 | 2.16 | 2.53 | 0.04 | 8.24 | 0.85 | 4.40 | 0.77 | 0.00 | 0.00 | 28.6 |
| KT2-1 | 925 | | green tuff | 17.5 | 13.9 | 2.1 | 83.7 | 6.43 | 291 | 7.19 | 33.9 | 0.00 | 0.10 | 3.07 | 0.00 | 4.00 | 2.23 | 0.00 | 6.52 | 0.79 | 4.82 | 2.49 | 0.01 | 0.00 | 27.2 | |
| NK1-2 | 925 | | sandstone | 18.0 | 14.8 | 1.4 | 80.5 | 6.81 | 315 | 8.49 | 15.9 | 0.00 | 0.04 | 3.48 | 0.00 | 4.12 | 6.41 | 0.00 | 5.50 | 0.47 | 2.82 | 1.68 | 0.01 | 0.00 | 20.3 | |
| NK1-3 | 925 | | sandstone | 16.9 | 15.7 | 3.9 | 64.2 | 7.40 | 216 | 8.59 | 16.0 | 0.00 | 0.04 | 3.56 | 0.00 | 3.92 | 6.01 | 0.00 | 5.48 | 0.51 | 4.09 | 1.65 | 0.01 | 0.00 | 19.1 | |
| NK1-4 | 925 | | sandstone | 17.0 | 15.7 | 12.8 | 90.8 | 7.12 | 167 | 8.02 | 20.1 | 0.00 | 0.03 | 4.82 | 0.00 | 3.71 | 3.89 | 0.00 | 5.64 | 0.57 | 5.84 | 1.63 | 0.01 | 0.00 | 19.3 | |
| NK3-4 | 924 | 14:00 | cloudy | mudstone | 22.4 | 18.6 | 5.0 | 49.9 | 7.89 | 157 | 5.57 | 120 | 0.00 | 0.07 | 2.43 | 0.00 | 163 | 0.49 | 0.00 | 7.41 | 2.15 | 98.1 | 13.6 | 0.00 | 0.00 | 16.6 |
| NK4-3 | 924 | 15:15 | cloudy | chert | 17.8 | 15.4 | 5.0 | 44.7 | 5.37 | 284 | 7.19 | 1.1 | 0.00 | 0.04 | 3.10 | 0.00 | 2.53 | 2.58 | 0.00 | 2.35 | 0.36 | 1.95 | 0.79 | 0.00 | 0.00 | 9.26 |

| Oct. 1997 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|------|-------|---------|------------|--------|----------|-------|--------------|------|------|------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|------|------------------|------------------|------|
| sample | date | time | weather | rock | T(air) | T(water) | Flow | Conductivity | pH | ORP | DO | Alkalinity | F ⁻ | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ³⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | t.Fe | Mn ²⁺ | SiO ₂ | |
| location | | | | type | °C | °C | l/min | μS/cm | mV | mg/l | mg/l | HCO ₃ ⁻ | CO ₃ ²⁻ | mg/l | | | | | | | | | | | | |
| KB1-1 | 1021 | 9:55 | fine | granite | 18.4 | 15.6 | 5.6 | 57.1 | 6.77 | 211 | 8.91 | 25.6 | 0.00 | 0.11 | 4.94 | 0.02 | 1.04 | 0.19 | 0.10 | 7.49 | 0.92 | 4.55 | 0.82 | 0.00 | 0.00 | 33.1 |
| KB1-3 | 1021 | 10:55 | fine | granite | 17.7 | 13.9 | 45.0 | 53.9 | 7.43 | 207 | 9.29 | 16.2 | 0.00 | 0.04 | 4.07 | 0.00 | 1.79 | 3.90 | 0.00 | 6.55 | 0.71 | 4.42 | 0.75 | 0.00 | 0.00 | 24.6 |
| KB1-4 | 1021 | 11:30 | fine | granite | 18.9 | 14.1 | 0.6 | 58.4 | 6.90 | 217 | 8.87 | 21.7 | 0.00 | 0.03 | 5.90 | 0.01 | 1.92 | 1.74 | 0.03 | 8.20 | 0.75 | 4.91 | 0.80 | 0.00 | 0.00 | 28.9 |
| KT2-1 | 1022 | 10:00 | fine | green tuff | 21.0 | 14.3 | 0.5 | 59.1 | 6.74 | 245 | 7.21 | 31.7 | 0.00 | 0.11 | 2.78 | 0.00 | 2.98 | 0.83 | 0.07 | 6.02 | 0.59 | 6.32 | 2.09 | 0.01 | 0.00 | 26.6 |
| NK1-2 | 1022 | 11:40 | fine | sandstone | 20.5 | 15.1 | 0.3 | 59.6 | 6.98 | 70 | 4.90 | 26.2 | 0. | | | | | | | | | | | | | |

地質調査所月報(1999年 第50巻 第9号)

第1表 (続き)
Table 1 (Continued)

| Dec. 1997 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|------|-------|--------------|------------|--------|----------|-------|--------------|------|------|-------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|------|------------------|------------------|------|
| sample | date | time | weather | rock | T(air) | T(water) | Flow | Conductivity | pH | ORP | DO | Alkalinity | F ⁻ | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ³⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | t.Fe | Mn ²⁺ | SiO ₂ | |
| location | | | | type | °C | °C | l/min | μS/cm | mV | mg/l | mg/l | HCO ₃ ⁻ | CO ₃ ²⁻ | mg/l | | | | | | | | | | | | |
| KB1-1 | 1216 | 9:45 | fine | granite | 3.7 | 12.5 | 5.7 | 51.2 | 6.81 | 157 | 7.52 | 25.6 | 0.00 | 0.11 | 5.58 | 0.02 | 1.16 | 0.37 | 0.13 | 7.89 | 1.06 | 4.68 | 0.77 | 0.00 | 0.00 | 33.2 |
| KB1-3 | 1216 | 10:30 | fine | granite | 8.4 | 10.3 | 31.9 | 42.9 | 7.47 | 147 | 8.45 | 16.8 | 0.00 | 0.07 | 4.73 | 0.00 | 2.01 | 4.26 | 0.03 | 6.69 | 0.82 | 4.42 | 0.70 | 0.00 | 0.00 | 24.4 |
| KB1-4 | 1216 | 10:45 | fine | granite | 7.9 | 11.0 | 0.4 | 53.8 | 6.93 | 187 | 8.25 | 22.0 | 0.00 | 0.05 | 6.39 | 0.00 | 2.12 | 3.52 | 0.04 | 7.69 | 0.76 | 5.00 | 0.77 | 0.00 | 0.00 | 28.4 |
| KT2-1 | 1217 | | | green tuff | 8.8 | 13.2 | 1.3 | 83.0 | 6.68 | 175 | 7.89 | 37.2 | 0.00 | 0.10 | 3.02 | 0.00 | 3.76 | 1.78 | 0.04 | 6.13 | 0.63 | 7.63 | 2.54 | 0.01 | 0.00 | 26.9 |
| NK1-2 | 1217 | | | sandstone | 8.4 | 9.9 | 0.5 | 48.7 | 7.60 | 53 | 9.28 | 21.1 | 0.00 | 0.04 | 3.92 | 0.00 | 4.66 | 3.23 | 0.00 | 5.53 | 0.51 | 5.58 | 1.76 | 0.06 | 0.00 | 19.8 |
| NK1-3 | 1217 | | | sandstone | 8.3 | 7.7 | 1.3 | 46.5 | 7.59 | 144 | 8.04 | 20.6 | 0.00 | 0.04 | 3.85 | 0.00 | 4.39 | 3.80 | 0.00 | 5.26 | 0.53 | 5.63 | 1.83 | 0.01 | 0.00 | 17.1 |
| NK1-4 | 1217 | | | sandstone | 8.4 | 8.8 | 4.2 | 49.6 | 7.49 | 77 | 9.05 | 24.4 | 0.00 | 0.04 | 4.99 | 0.00 | 3.46 | 1.76 | 0.00 | 4.86 | 0.44 | 6.25 | 1.75 | 0.01 | 0.00 | 17.7 |
| NK3-4 | 1216 | 14:20 | fine | mudstone | 9.1 | 13.7 | 3.0 | 374 | 8.39 | -3 | 3.33 | 67.7 | 0.00 | 0.06 | 2.11 | 0.00 | 163 | 0.00 | 0.00 | 7.09 | 1.02 | 84.5 | 10.7 | 0.00 | 0.00 | 17.6 |
| NK4-3 | 1216 | 13:25 | fine | chert | 8.4 | 10.5 | 2.4 | 22.0 | 5.76 | 211 | 8.27 | 0.6 | 0.00 | 0.03 | 3.39 | 0.00 | 2.47 | 3.02 | 0.00 | 1.84 | 0.30 | 1.73 | 0.80 | 0.00 | 0.00 | 8.29 |
| Jan. 1998 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KB1-1 | 127 | 10:30 | fine | granite | 2.7 | 10.8 | 6.1 | 54.4 | 6.57 | 203 | 9.32 | 25.9 | 0.00 | 0.12 | 5.92 | 0.00 | 1.23 | 0.32 | 0.15 | 8.14 | 0.89 | 4.74 | 0.79 | 0.00 | 0.00 | 33.3 |
| KB1-3 | 127 | 11:20 | fine | granite | 2.9 | 8.0 | 15.0 | 51.4 | 7.28 | 211 | 11.14 | 16.8 | 0.00 | 0.05 | 4.98 | 0.00 | 2.07 | 5.19 | 0.04 | 6.87 | 0.71 | 4.56 | 0.74 | 0.00 | 0.00 | 24.4 |
| KB1-4 | 127 | 11:40 | fine | granite | 3.6 | 9.6 | 0.4 | 53.7 | 6.66 | 232 | 10.86 | 22.9 | 0.00 | 0.05 | 6.49 | 0.00 | 2.17 | 5.01 | 0.05 | 8.78 | 0.77 | 5.47 | 0.81 | 0.00 | 0.00 | 28.3 |
| KT2-1 | 122 | 9:30 | fine | green tuff | 4.8 | 13.5 | 4.4 | 66.2 | 6.52 | 225 | 10.82 | 33.6 | 0.00 | 0.10 | 3.20 | 0.00 | 3.44 | 2.25 | 0.05 | 5.67 | 0.65 | 6.92 | 2.26 | 0.01 | 0.00 | 27.8 |
| NK1-2 | 121 | 10:00 | fine | sandstone | 4.2 | 10.6 | 4.9 | 43.9 | 6.79 | 172 | 10.97 | 11.0 | 0.00 | 0.03 | 3.67 | 0.00 | 4.01 | 8.98 | 0.00 | 5.69 | 0.43 | 4.25 | 1.46 | 0.03 | 0.00 | 18.7 |
| NK1-3 | 121 | 9:25 | fine | sandstone | 3.3 | 7.5 | 12.0 | 41.0 | 7.35 | 135 | 10.94 | 12.2 | 0.00 | 0.03 | 3.93 | 0.01 | 4.08 | 7.93 | 0.00 | 4.38 | 0.23 | 4.20 | 1.51 | 0.01 | 0.00 | 17.6 |
| NK1-4 | 121 | 9:40 | fine | sandstone | 4.7 | 7.9 | 33.0 | 45.1 | 7.22 | 116 | 10.95 | 17.7 | 0.00 | 0.04 | 5.00 | 0.00 | 3.70 | 5.75 | 0.00 | 4.66 | 0.28 | 5.47 | 1.58 | 0.07 | 0.00 | 17.6 |
| NK3-4 | 122 | 12:10 | fine | mudstone | 5.4 | 11.0 | 0.7 | 77.8 | 8.03 | 240 | 6.47 | 89.7 | 0.00 | 0.03 | 1.34 | 0.00 | 541 | 0.07 | 0.00 | 8.90 | 1.54 | 213 | 32.4 | 0.00 | 0.00 | 12.7 |
| NK4-3 | 122 | 10:55 | fine | chert | 3.4 | 9.9 | 12.0 | 22.9 | 5.44 | 261 | 11.63 | 0.9 | 0.00 | 0.03 | 3.33 | 0.00 | 2.46 | 4.52 | 0.00 | 1.35 | 0.23 | 1.78 | 0.86 | 0.00 | 0.00 | 8.05 |
| Feb. 1998 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KB1-1 | 226 | | | granite | 10.4 | 11.2 | 6.6 | 50.7 | 6.62 | 185 | 9.26 | 25.6 | 0.00 | 0.12 | 5.34 | 0.02 | 1.22 | 0.30 | 0.13 | 7.56 | 1.06 | 4.99 | 0.81 | 0.00 | 0.00 | 30.5 |
| KB1-3 | 226 | | | granite | 8.4 | 8.3 | 42.0 | 51.3 | 7.38 | 202 | 10.11 | 17.7 | 0.00 | 0.04 | 4.64 | 0.00 | 1.98 | 4.85 | 0.03 | 6.65 | 0.82 | 4.73 | 0.79 | 0.00 | 0.00 | 23.0 |
| KB1-4 | 226 | | | granite | 8.5 | 10.3 | 0.8 | 54.7 | 6.18 | 219 | 10.01 | 23.8 | 0.00 | 0.06 | 5.94 | 0.00 | 2.01 | 4.51 | 0.00 | 7.98 | 0.77 | 5.35 | 2.85 | 0.00 | 0.00 | 27.2 |
| KT2-1 | 220 | 10:10 | rainy | green tuff | 10.7 | 13.1 | 1.5 | 57.3 | 6.68 | 193 | 8.03 | 31.4 | 0.00 | 0.09 | 2.84 | 0.00 | 2.91 | 0.93 | 0.05 | 5.89 | 0.57 | 6.27 | 2.06 | 0.01 | 0.00 | 25.4 |
| NK1-2 | 220 | 11:50 | rainy | sandstone | 10.5 | 9.0 | 0.2 | 48.4 | 7.27 | 83 | 11.25 | 22.6 | 0.00 | 0.04 | 3.34 | 0.00 | 4.47 | 3.48 | 0.00 | 5.62 | 0.37 | 5.84 | 1.93 | 0.07 | 0.00 | 18.1 |
| NK1-3 | 220 | 11:15 | rainy | sandstone | 9.7 | 6.2 | 1.1 | 44.9 | 7.33 | 123 | 11.64 | 21.7 | 0.00 | 0.03 | 3.37 | 0.00 | 4.21 | 3.34 | 0.00 | 4.92 | 0.38 | 5.53 | 1.87 | 0.01 | 0.00 | 16.2 |
| NK1-4 | 220 | 11:30 | rainy | sandstone | 9.9 | 7.8 | 5.0 | 45.2 | 7.11 | 107 | 11.54 | 23.2 | 0.00 | 0.03 | 4.10 | 0.00 | 3.38 | 1.77 | 0.00 | 4.85 | 0.44 | 5.99 | 1.65 | 0.01 | 0.00 | 16.6 |
| NK3-4 | 220 | 14:20 | rainy | mudstone | 11.2 | 10.8 | 1.1 | 293 | 7.88 | 150 | 5.20 | 136 | 0.00 | 0.05 | 2.48 | 0.02 | 106 | 0.02 | 0.00 | 7.02 | 0.94 | 68.6 | 12.7 | 0.00 | 0.01 | 17.4 |
| NK4-3 | 220 | 13:25 | rainy | chert | 8.8 | 8.0 | 2.3 | 20.0 | 5.54 | 235 | 11.13 | 1.5 | 0.00 | 0.03 | 3.26 | 0.01 | 2.32 | 3.05 | 0.00 | 1.88 | 0.30 | 1.77 | 0.83 | 0.00 | 0.00 | 7.28 |
| Mar. 1998 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KB1-1 | 319 | 9:45 | fine | granite | 8.4 | 11.3 | 5.4 | 49.6 | 6.80 | 134 | 7.73 | 25.0 | 0.00 | 0.13 | 5.41 | 0.02 | 1.21 | 0.20 | 0.12 | 7.06 | 0.69 | 4.30 | 0.78 | 0.00 | 0.00 | 31.5 |
| KB1-3 | 319 | 10:30 | fine | granite | 9.4 | 8.1 | 38.4 | 42.1 | 7.35 | 152 | 7.40 | 17.6 | 0.00 | 0.04 | 4.66 | 0.00 | 1.98 | 4.68 | 0.00 | 6.75 | 0.66 | 4.46 | 0.74 | 0.00 | 0.00 | 23.3 |
| KB1-4 | 319 | 10:40 | fine | granite | 10.0 | 10.8 | 0.6 | 55.3 | 6.73 | 169 | 7.70 | 23.8 | 0.00 | 0.07 | 6.11 | 0.00 | 2.11 | 4.44 | 0.00 | 7.87 | 0.59 | 5.19 | 0.81 | 0.00 | 0.00 | 27.5 |
| KT2-1 | 319 | 14:50 | cloudy | green tuff | 14.2 | 13.4 | 3.5 | 58.1 | 6.51 | 212 | 7.80 | 32.0 | 0.00 | 0.08 | 2.91 | 0.00 | 2.83 | 1.07 | 0.04 | 5.42 | 0.44 | 5.96 | 2.02 | 0.00 | 0.00 | 26.0 |
| NK1-2 | 320 | 11:30 | cloudy | sandstone | 16.2 | 10.5 | 1.7 | 48.4 | 7.10 | 163 | 7.20 | 18.9 | 0.00 | 0.03 | 3.33 | 0.00 | 3.99 | 5.60 | 0.00 | 4.81 | 0.23 | 4.94 | 1.72 | 0.02 | 0.00 | 18.7 |
| NK1-3 | 320 | 10:45 | cloudy | sandstone | 15.6 | 9.1 | 4.0 | 47.2 | 7.36 | 169 | 7.10 | 17.9 | 0.00 | 0.03 | 3.49 | 0.00 | 4.01 | 4.90 | 0.00 | 4.46 | 0.25 | 4.63 | 1.61 | 0.01 | 0.00 | 17.2 |
| NK1-4 | 320 | 11:00 | cloudy | sandstone | 16.3 | 9.9 | 16.0 | 45.7 | 7.23 | 124 | 6.80 | 21.0 | 0.00 | 0.04 | 4.14 | 0.00 | 3.37 | 2.28 | 0.00 | 4.40 | 0.28 | 5.42 | 1.54 | 0.01 | 0.00 | 16.8 |
| NK3-4 | 319 | 12:45 | fine | mudstone | 14.5 | 10.8 | 0.6 | 303 | 7.81 | 140 | 2.20 | 131 | 0.00 | 0.03 | 2.46 | 0.03 | 111 | 0.00 | 0.00 | 6.60 | 0.79 | 69.0 | 11.8 | 0.00 | 0.00 | 16.9 |
| NK4-3 | 319 | 13:40 | fine | chert | 13.3 | 8.8 | 4.3 | 21.4 | 5.65 | 222 | 8.41 | 1.0 | 0.00 | 0.06 | 3.50 | 0.01 | 2.29 | 3.08 | 0.00 | 1.42 | 0.20 | 1.71 | 0.82 | 0.00 | 0.00 | 7.20 |
| Apr. 1998 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KB1-1 | 422 | 10:20 | fine | granite | 23.8 | 12.6 | 7.5 | 49.5 | 6.79 | 110 | 7.01 | 25.0 | 0.00 | 0.09 | 5.43 | 0.02 | 1.32 | 0.18 | 0.12 | 6.95 | 0.66 | 3.90 | 0.73 | 0.00 | 0.00 | 33.1 |
| KB1-3 | 422 | 11:10 | fine | granite | 22.7 | 11.3 | 71.0 | 50.3 | 7.35 | 131 | 7.45 | 16.9 | 0.00 | 0.02 | 4.91 | 0.01 | 2.15 | 6.91 | 0.00 | 5.99 | 0.56 | 4.86 | 0.81 | 0.00 | 0.00 | 24.6 |
| KB1-4 | 422 | 11:20 | fine | granite | 23.4 | 13.1 | 1.6 | 60.3 | 7.01 | 152 | 6.33 | 23.2 | 0.00 | 0.09 | 6.42 | 0.01 | 2.15 | 5.60 | 0.04 | 7.91 | 0.66 | 5.19 | 0.80 | 0.00 | 0.00 | 28.3 |
| KT2-1 | 423 | 10:10 | fine/cloudy | green tuff | 23.5 | 13.7 | 8.5 | 54.9 | 6.61 | 167 | 7.78 | 29.6 | 0.00 | 0.09 | 3.27 | 0.00 | 2.72 | 1.07 | 0.05 | 5.27 | 0.42 | 5.50 | 1.86 | 0.00 | 0.00 | 27.3 |
| NK1-2 | 423 | 11:35 | fine/cloudy | sandstone | 20.3 | 11.9 | 3.3 | 44.2 | 6.62 | 150 | 9.43 | 12.2 | 0.00 | 0.02 | 3.60 | 0.00 | 4.44 | 6.82 | 0.00 | 5.20 | 0.38 | 4.05 | 1.48 | 0.00 | 0.00 | 19.1 |
| NK1-3 | 423 | 11:00 | fine/cloudy | sandstone | 20.9 | 12.5 | 7.5 | 45.8 | 7.04 | 155 | 8.62 | 12.2 | 0.00 | 0.02 | 3.74 | 0.00 | 4.32 | 5.85 | 0.00 | 4.19 | 0.22 | 3.72 | 1.37 | 0.00 | 0.00 | 18.6 |
| NK1-4 | 423 | 11:15 | fine/cloudy | sandstone | 19.5 | 12.5 | 33.0 | 42.9 | 6.99 | 92 | 9.24 | 15.9 | 0.00 | 0.03 | 4.45 | 0.00 | 3.41 | 2.10 | 0.00 | 5.29 | 0.47 | 4.46 | 1.27 | 0.00 | 0.00 | 18.0 |
| NK3-4 | 423 | 13:50 | fine/cloudy | mudstone | 25.5 | 13.0 | 0.7 | 317 | 8.18 | 65 | 5.10 | 117 | 0.00 | 0.07 | 2.86 | 0.07 | 118 | 0.95 | 0.00 | 7.12 | 0.97 | 74.6 | 11.2 | 0.00 | 0.00 | 17.2 |
| NK4-3 | 423 | 12:55 | fine/cloudy | chert | 20.4 | 11.1 | 9.2 | 22.4 | 5.32 | 217 | 8.92 | 1.3 | 0.00 | 0.03 | 3.70 | 0.00 | 2.46 | 2.94 | 0.00 | 2.44 | 0.37 | 1.72 | 0.77 | 0.00 | 0.00 | 7.97 |
| May. 1998 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KB1-1 | 520 | | | granite | 25.7 | 14.6 | 8.5 | 51.5 | 6.66 | 101 | 8.27 | 24.1 | 0.00 | 0.11 | 7.49 | 0.03 | 1.79 | 0.29 | 0.09 | 6.96 | 0.66 | 3.97 | 0.73 | 0.00 | 0.00 | 32.9 |
| KB1-3 | 520 | | | granite | 20.4 | 12.7 | 72.0 | 51.8 | 7.23 | 130 | 8.64 | 17.1 | 0.00 | 0.06 | 6.82 | 0.00 | 3.11 | 9.97 | 0.00 | 6.82 | 0.75 | 4.89 | 0.81 | 0.00 | 0.00 | 24.1 |
| KB1-4 | 520 | | | granite | 20.8 | 13.8 | 1.8 | 59.7 | 6.71 | 157 | 8.21 | 23.2 | 0.00 | 0.06 | 9.26 | 0.02 | 3.25 | 4.34 | 0.00 | 8.53 | 0.81 | 5.02 | 0.77 | 0.00 | 0.00 | 28.2 |
| KT2-1 | 519 | 10:15 | little rainy | green tuff | 18.8 | 13.7 | 5.9 | 65.6 | 6.41 | 205 | 6.89 | 30.7 | 0.00 | 0.10 | 4.56 | 0.02 | 5.14 | 6.99 | 0.00 | 6.73 | 0.69 | 7.10 | | | | |

茨城県中部域の源流部における水質変動 (金井 ほか)

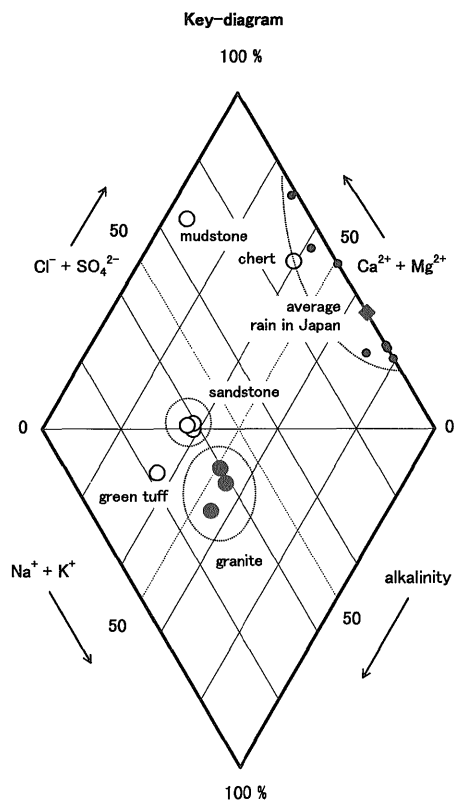
第1表 (続き)
Table 1 (Continued)

| Jun. 1998 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|------|-------|---------|------------|--------|----------|-------|--------------|------|------|------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|------|------------------|------------------|------|
| sample | date | time | weather | rock | T(air) | T(water) | Flow | Conductivity | pH | ORP | DO | Alkalinity | F ⁻ | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ³⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | t.Fe | Mn ²⁺ | SiO ₂ | |
| location | | | | type | °C | °C | l/min | μS/cm | mV | mg/l | mg/l | HCO ₃ ⁻ | CO ₃ ²⁻ | mg/l | | | | | | | | | | | | |
| KB1-1 | 615 | | | granite | 22.4 | 14.4 | 10.0 | 50.3 | 6.15 | 80 | 5.17 | 23.2 | 0.00 | 0.14 | 5.41 | 0.00 | 1.36 | 0.35 | 0.09 | 7.86 | 0.82 | 4.30 | 0.73 | 0.00 | 0.00 | 32.3 |
| KB1-3 | 615 | | | granite | 18.3 | 13.1 | 120.0 | 51.1 | 6.71 | 132 | 5.37 | 16.5 | 0.00 | 0.04 | 4.83 | 0.00 | 2.33 | 7.22 | 0.00 | 6.74 | 0.69 | 5.34 | 0.87 | 0.00 | 0.00 | 23.7 |
| KB1-4 | 615 | | | granite | 18.3 | 13.8 | 2.6 | 56.2 | 6.20 | 147 | 5.46 | 20.7 | 0.00 | 0.05 | 6.65 | 0.00 | 2.45 | 2.96 | 0.00 | 8.66 | 0.71 | 5.06 | 0.75 | 0.00 | 0.00 | 27.4 |
| KT2-1 | 617 | 10:50 | fine | green tuff | 21.6 | 13.5 | 6.2 | 62.9 | 6.24 | 161 | 3.53 | 32.9 | 0.00 | 0.11 | 3.22 | 0.01 | 3.47 | 2.17 | 0.00 | 6.61 | 0.59 | 6.98 | 2.27 | 0.00 | 0.00 | 27.6 |
| NK1-2 | 617 | 12:10 | cloudy | sandstone | 20.8 | 12.7 | 6.0 | 46.0 | 6.23 | 154 | 3.84 | 11.9 | 0.00 | 0.03 | 3.76 | 0.00 | 4.03 | 7.60 | 0.00 | 5.13 | 0.29 | 4.09 | 1.52 | 0.00 | 0.00 | 19.0 |
| NK1-3 | 617 | 11:40 | cloudy | sandstone | 21.0 | 13.7 | 10.0 | 47.2 | 6.90 | 127 | 3.80 | 11.6 | 0.00 | 0.07 | 3.83 | 0.00 | 3.94 | 6.66 | 0.00 | 5.06 | 0.35 | 3.94 | 1.38 | 0.00 | 0.00 | 18.4 |
| NK1-4 | 617 | 11:45 | cloudy | sandstone | 21.0 | 13.9 | 35.5 | 46.6 | 6.72 | 118 | 3.87 | 15.7 | 0.00 | 0.04 | 5.07 | 0.00 | 3.69 | 3.19 | 0.00 | 5.26 | 0.33 | 4.67 | 1.31 | 0.00 | 0.00 | 18.5 |
| NK3-4 | 617 | 13:35 | cloudy | mudstone | 26.0 | 15.4 | 2.0 | 721 | 7.76 | 96 | 2.80 | 107 | 0.00 | 0.07 | 1.18 | 0.00 | 380 | 0.00 | 0.00 | 9.58 | 2.49 | 209 | 25.1 | 0.00 | 0.00 | 16.4 |
| NK4-3 | 617 | 14:20 | cloudy | chert | 19.8 | 12.6 | 12.0 | 22.0 | 5.05 | 204 | 3.67 | 1.2 | 0.00 | 0.05 | 3.61 | 0.00 | 2.70 | 1.70 | 0.00 | 1.75 | 0.21 | 1.73 | 0.72 | 0.00 | 0.00 | 8.29 |

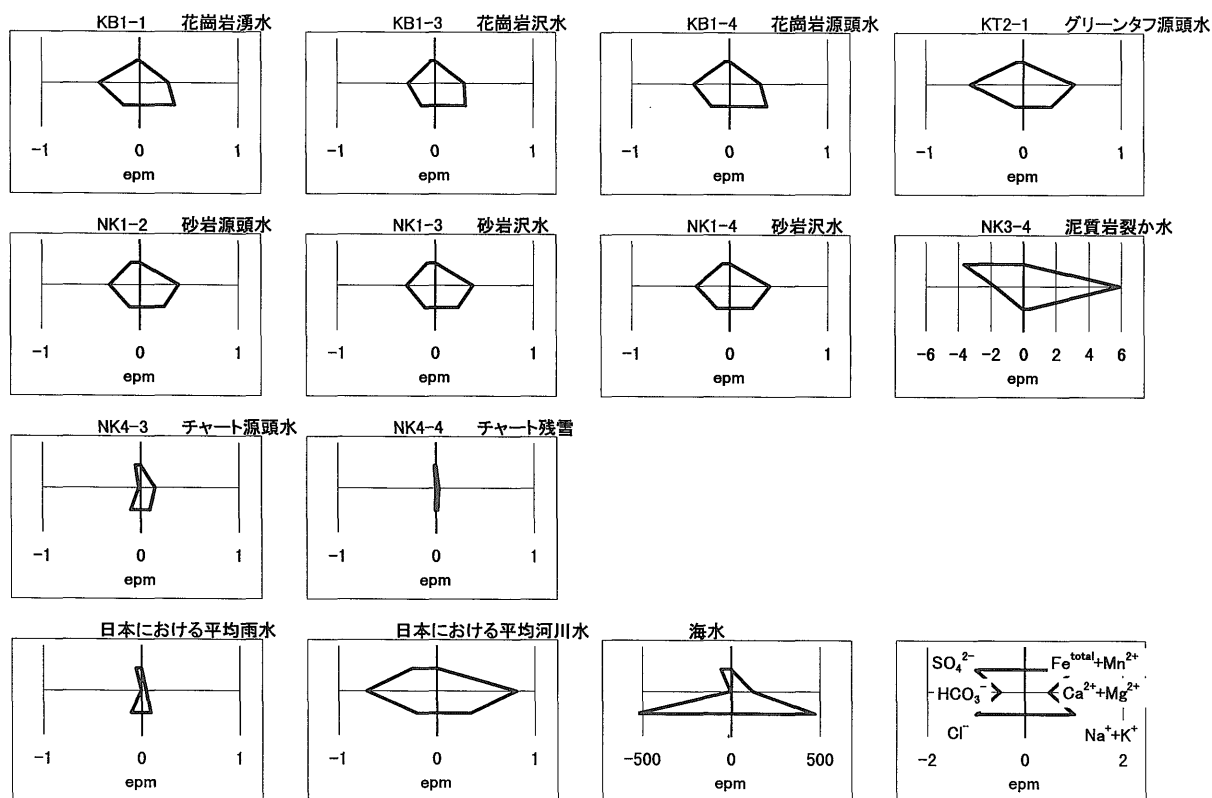
第2表 各調査点における水質の年間平均値と標準偏差。
Table 2 Average water quality of monthly collected samples.

| location | T(air) | T(water) | F | Conductivity | pH | ORP# | DO | Alkalinity | F ⁻ | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | NO ₂ ⁻ | PO ₄ ³⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | t.Fe | Mn ²⁺ | SiO ₂ | |
|------------|--------------|----------|-------|--------------|--------|------|-------|------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|------|------------------|------------------|------|
| rock type | * °C | °C | l/min | μS/cm | mV | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | | | | | | | |
| KB1-1 | average | 16.4 | 13.6 | 6.8 | 54.94 | 6.70 | 181.3 | 8.0 | 25.0 | 0.11 | 5.57 | 0.02 | 1.23 | 0.31 | 0.00 | 0.12 | 7.64 | 0.88 | 4.53 | 0.79 | 0.00 | 0.00 | 32.6 |
| Granite | std. dev. | 9.8 | 2.1 | 1.4 | 7.71 | 0.21 | 90.4 | 1.4 | 0.8 | 0.01 | 0.62 | 0.01 | 0.19 | 0.24 | 0.00 | 0.02 | 0.48 | 0.14 | 0.32 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.8 |
| | rel. s.d.(%) | 60 | 16 | 20 | 14 | 3 | 50 | 17 | 3 | 14 | 11 | 59 | 16 | 75 | 15 | 6 | 16 | 7 | 5 | 305 | 361 | 3 | |
| KB1-3 | average | 14.8 | 11.7 | 54.8 | 51.03 | 7.31 | 188.2 | 8.8 | 16.8 | 0.05 | 4.82 | 0.00 | 2.09 | 5.32 | 0.00 | 0.01 | 6.67 | 0.74 | 4.68 | 0.77 | 0.00 | 0.00 | 24.1 |
| Granite | std. dev. | 7.5 | 2.8 | 27.3 | 5.32 | 0.21 | 61.1 | 1.5 | 0.5 | 0.02 | 0.65 | 0.00 | 0.34 | 1.81 | 0.00 | 0.02 | 0.24 | 0.09 | 0.29 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.5 |
| | rel. s.d.(%) | 51 | 24 | 50 | 10 | 3 | 32 | 17 | 3 | 36 | 13 | 190 | 16 | 34 | 136 | 4 | 12 | 6 | 7 | 164 | 164 | 2 | |
| KB1-4 | average | 15.2 | 12.8 | 0.9 | 54.70 | 6.75 | 202.8 | 8.4 | 22.2 | 0.06 | 6.53 | 0.00 | 2.19 | 3.28 | 0.00 | 0.02 | 8.23 | 0.76 | 5.00 | 0.78 | 0.00 | 0.00 | 28.1 |
| Granite | std. dev. | 7.5 | 2.2 | 0.7 | 9.43 | 0.29 | 53.3 | 1.4 | 1.4 | 0.02 | 0.86 | 0.01 | 0.35 | 1.37 | 0.00 | 0.02 | 0.39 | 0.08 | 0.28 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.5 |
| | rel. s.d.(%) | 50 | 17 | 73 | 17 | 4 | 26 | 17 | 6 | 28 | 13 | 205 | 16 | 42 | 98 | 5 | 10 | 6 | 5 | 164 | 164 | 2 | |
| KT2-1 | average | 16.5 | 13.6 | 3.2 | 69.42 | 6.59 | 204.2 | 7.5 | 33.1 | 0.09 | 3.11 | 0.00 | 3.44 | 1.89 | 0.00 | 0.03 | 6.21 | 0.62 | 6.65 | 2.25 | 0.01 | 0.00 | 26.8 |
| Green tuff | std. dev. | 7.4 | 0.6 | 2.6 | 26.86 | 0.28 | 42.3 | 1.7 | 2.1 | 0.01 | 0.47 | 0.01 | 0.64 | 1.62 | 0.00 | 0.03 | 0.47 | 0.11 | 0.84 | 0.2 | 0.00 | 0.00 | 0.7 |
| | rel. s.d.(%) | 45 | 5 | 80 | 39 | 4 | 21 | 22 | 6 | 12 | 15 | 169 | 19 | 86 | 91 | 8 | 17 | 13 | 9 | 75 | 361 | 3 | |
| NK1-2 | average | 15.7 | 12.1 | 2.2 | 51.25 | 6.96 | 140.5 | 8.4 | 18.6 | 0.05 | 3.55 | 0.00 | 4.29 | 5.06 | 0.00 | 0.00 | 5.42 | 0.40 | 5.01 | 1.75 | 0.03 | 0.00 | 19.4 |
| Sandstone | std. dev. | 7.4 | 2.8 | 2.4 | 13.37 | 0.41 | 71.0 | 2.3 | 5.9 | 0.06 | 0.62 | 0.00 | 0.37 | 2.96 | 0.00 | 0.00 | 0.27 | 0.09 | 1.12 | 0.25 | 0.03 | 0.00 | 0.9 |
| | rel. s.d.(%) | 47 | 23 | 106 | 26 | 6 | 51 | 27 | 32 | 124 | 17 | 9 | 58 | 5 | 22 | 22 | 14 | 92 | 239 | 5 | | | |
| NK1-3 | average | 15.5 | 11.8 | 4.4 | 48.35 | 7.26 | 151.8 | 8.6 | 17.7 | 0.04 | 3.60 | 0.00 | 4.14 | 4.61 | 0.00 | 0.00 | 5.05 | 0.41 | 4.89 | 1.67 | 0.01 | 0.00 | 18.0 |
| Sandstone | std. dev. | 7.7 | 4.5 | 4.3 | 10.73 | 0.27 | 41.2 | 2.1 | 4.7 | 0.02 | 0.41 | 0.00 | 0.34 | 2.25 | 0.00 | 0.00 | 0.46 | 0.13 | 0.84 | 0.21 | 0.01 | 0.00 | 1.0 |
| | rel. s.d.(%) | 50 | 38 | 96 | 22 | 4 | 27 | 24 | 26 | 42 | 12 | 361 | 8 | 49 | 9 | 31 | 17 | 13 | 78 | 361 | 5 | | |
| NK1-4 | average | 15.5 | 12.1 | 17.3 | 50.74 | 7.16 | 121.0 | 8.6 | 20.5 | 0.04 | 4.56 | 0.00 | 3.51 | 2.34 | 0.00 | 0.00 | 5.09 | 0.46 | 5.56 | 1.58 | 0.01 | 0.00 | 18.0 |
| Sandstone | std. dev. | 7.3 | 3.6 | 15.5 | 14.88 | 0.23 | 37.8 | 2.0 | 3.4 | 0.01 | 0.76 | 0.00 | 0.71 | 1.41 | 0.00 | 0.00 | 0.35 | 0.11 | 0.63 | 0.16 | 0.02 | 0.00 | 0.9 |
| | rel. s.d.(%) | 47 | 30 | 90 | 29 | 3 | 31 | 24 | 17 | 18 | 17 | 20 | 60 | 7 | 24 | 11 | 10 | 143 | 361 | 5 | | | |
| NK3-4 | average | 17.9 | 14.9 | 5.1 | 401.15 | 8.14 | 137.6 | 5.9 | 106 | 0.05 | 2.25 | 0.02 | 176 | 0.23 | 0.00 | 0.00 | 7.39 | 1.39 | 95.1 | 13.9 | 0.00 | 0.01 | 16.8 |
| Mudstone | std. dev. | 8.6 | 3.9 | 9.1 | 167.42 | 0.26 | 70.1 | 3.1 | 25 | 0.02 | 0.50 | 0.02 | 134 | 0.41 | 0.00 | 0.00 | 0.97 | 0.54 | 53.3 | 7.08 | 0.00 | 0.02 | 1.4 |
| | rel. s.d.(%) | 48 | 26 | 178 | 42 | 3 | 51 | 53 | 24 | 33 | 22 | 137 | 76 | 176 | 13 | 39 | 56 | 51 | 179 | 183 | 8 | | |
| NK4-3 | average | 15.2 | 12.0 | 6.1 | 25.81 | 5.54 | 246.4 | 8.4 | 1.1 | 0.03 | 3.42 | 0.00 | 2.53 | 2.26 | 0.00 | 0.00 | 2.03 | 0.30 | 1.70 | 0.76 | 0.00 | 0.00 | 8.4 |
| Chert | std. dev. | 6.7 | 2.6 | 5.3 | 8.65 | 0.39 | 34.3 | 2.1 | 0.2 | 0.02 | 0.47 | 0.00 | 0.43 | 1.20 | 0.00 | 0.00 | 0.4 | 0.07 | 0.14 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.7 |
| | rel. s.d.(%) | 44 | 22 | 87 | 34 | 7 | 14 | 25 | 21 | 53 | 14 | 190 | 17 | 53 | 20 | 22 | 8 | 9 | 347 | 92 | 8 | | |

* : std. dev. = standard deviation # : vs. 3.3M KCl/AgCl
rel. s.d. = relative standard deviation



第3図 年間平均のキーダイアグラム.
Fig. 3 Key diagram of average water quality.

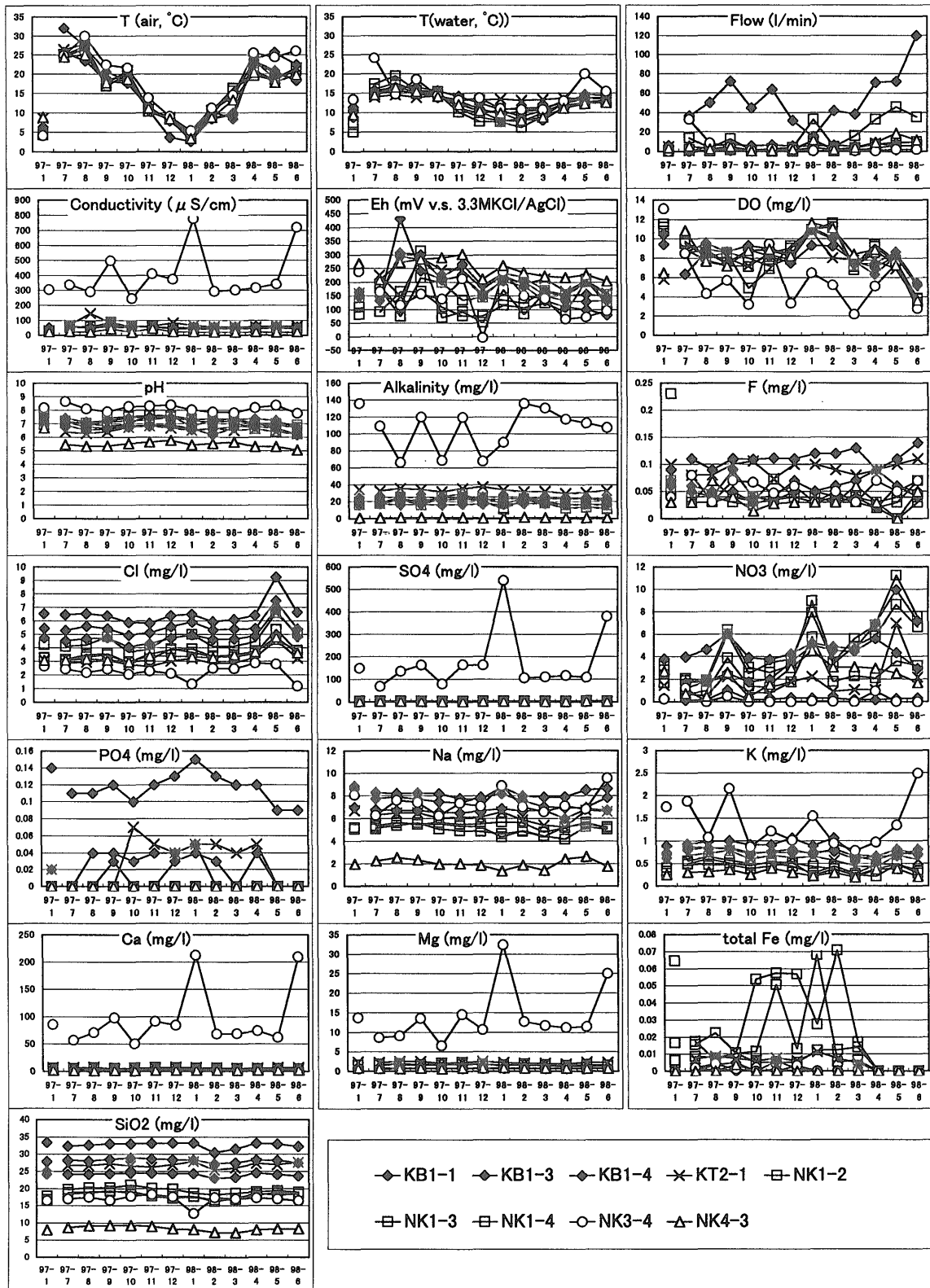


第4図 年間平均のヘキサダイアグラム.
Fig. 4 Hexa diagram of average water quality.

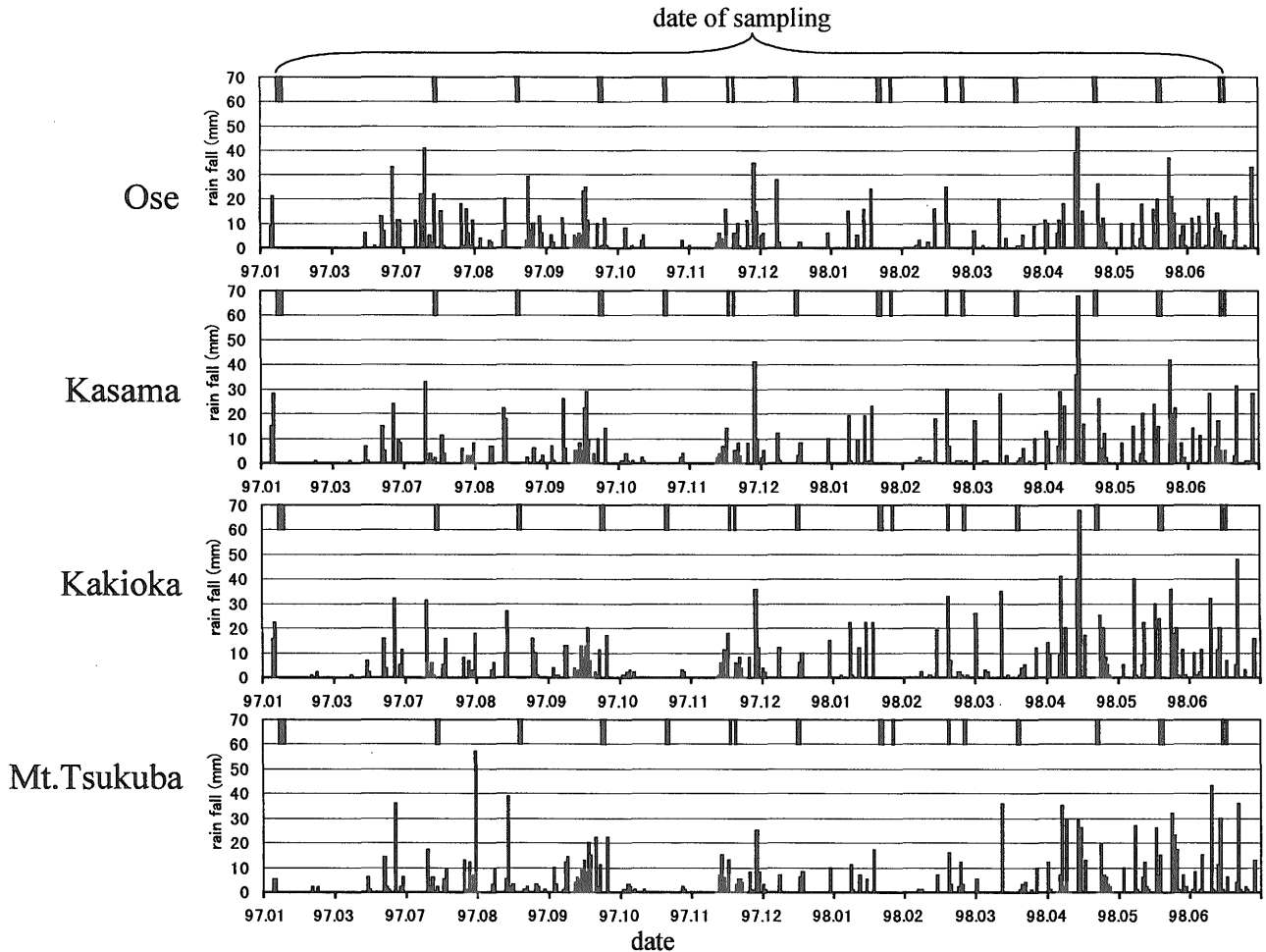
3.2 水質の年間変動

月別データによる年間変動を第5図に示した。日本の

ような温帯多雨で四季の変化を有する気象環境では、それに伴って地質環境も四季折々の変化をする。観測される水質変化も、多くは四季の変化に準ずるものが多い。



第5図 '97~'98における年間水質変化。
Fig. 5 Monthly variation of water quality during '97~'98.



第6図 茨城県小瀬, 笠間, 柿岡, 筑波山における降雨量.
Fig. 6 Rainfall at Ose, Kasama, Kakioka and Mt. Tsukuba in Ibaraki Prefecture.

例えば, 気温や水温は夏高く冬は低下する. しかし, よく知られているように水温は気温ほどは変動が大きくなり, 特にKT2-1では標準偏差が 0.5°C ときわめて小さかった. 他の試料では $2-4^{\circ}\text{C}$ 程度は変動しているので, KT2-1は源頭とはいえ, 山の深部から滲出してきた水であるかも知れない. 以下に項目毎の特徴を述べていく.
[流量] 流量は, 採取日以前の降雨量に関係すると考えられるため, 参考のため試料採取地点に近い茨城県小瀬, 笠間, 柿岡, 筑波山における降雨量の記録(気象庁, 1999)を第6図に示した. 日によって変動が大きいが, 10月頃から3月頃までは降雨量が少ない. 流量も概して冬場の渇水期に対応して1月頃に低下している. また, 春から夏にかけて増加する傾向がある. しかし, 源頭水は流域規模が小さいため, 降雨による短期的影響の方が強く反映するようである.

第6図に示された降雨量のデータのうち, 採取位置に近い笠間の降雨量データを用いて予察的に水量の検討をしてみる. 一般に流量は, 渇水期の基底流量に重なって降雨の影響が現れる. 調査日の数日前からの降雨量の積

第3表 降雨量と流量との相関関係.

Table 3 Correlation between rainfall and flow rate.

(1) correlation with accumulated rainfall from x days before

| location | x | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| KB1-1 | | 0.73 | 0.81 | <i>0.60</i> | 0.50 | 0.48 | 0.76 |
| KB1-3 | | <i>0.62</i> | 0.78 | 0.78 | <i>0.60</i> | 0.40 | 0.74 |
| KB1-4 | | 0.53 | 0.72 | 0.52 | 0.43 | 0.18 | 0.53 |
| KT2-1 | | -0.06 | 0.25 | 0.30 | 0.28 | 0.47 | 0.19 |
| NK1-2 | | 0.03 | 0.54 | 0.61 | 0.82 | 0.83 | 0.48 |
| NK1-3 | | -0.06 | 0.34 | 0.42 | 0.73 | 0.74 | 0.39 |
| NK1-4 | | 0.03 | <i>0.56</i> | <i>0.60</i> | 0.73 | 0.73 | 0.44 |
| NK3-4 | | -0.13 | -0.05 | 0.00 | -0.03 | 0.49 | 0.52 |
| NK4-3 | | 0.18 | 0.05 | <i>0.58</i> | <i>0.56</i> | <i>0.59</i> | 0.35 |

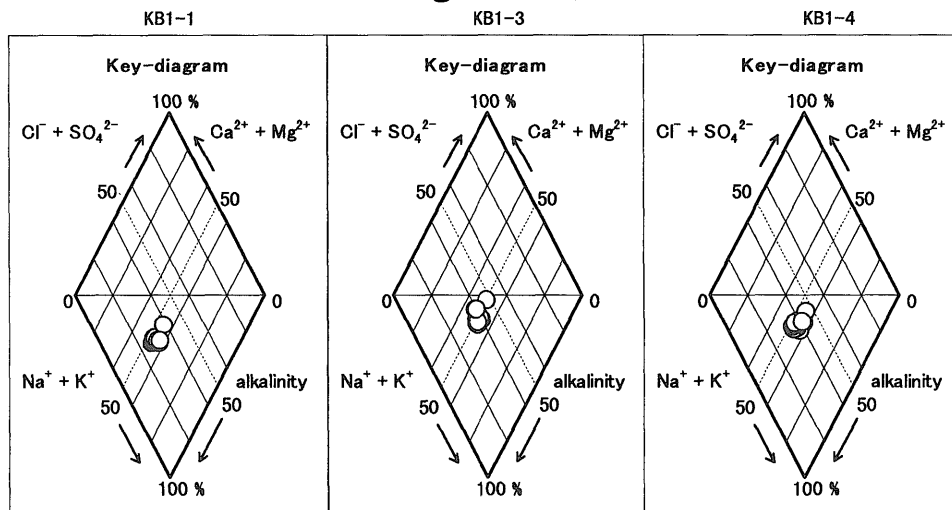
(2) correlation with rainfall before x days

| location | x | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------|---|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|-------------|
| KB1-1 | | 0.73 | 0.81 | 0.12 | 0.27 | -0.22 | <i>0.64</i> |
| KB1-3 | | <i>0.62</i> | 0.78 | <i>0.57</i> | 0.25 | -0.22 | 0.74 |
| KB1-4 | | 0.53 | 0.72 | 0.57 | 0.23 | -0.42 | 0.74 |
| KT2-1 | | -0.06 | 0.25 | 0.31 | 0.04 | 0.32 | -0.28 |
| NK1-2 | | 0.03 | 0.54 | <i>0.61</i> | 0.44 | 0.43 | -0.31 |
| NK1-3 | | -0.06 | 0.34 | 0.43 | 0.53 | 0.41 | -0.33 |
| NK1-4 | | 0.03 | <i>0.56</i> | <i>0.60</i> | 0.32 | 0.33 | -0.25 |
| NK3-4 | | -0.13 | -0.05 | 0.04 | -0.08 | 0.72 | -0.03 |
| NK4-3 | | 0.18 | 0.04 | 0.77 | 0.16 | 0.36 | -0.21 |

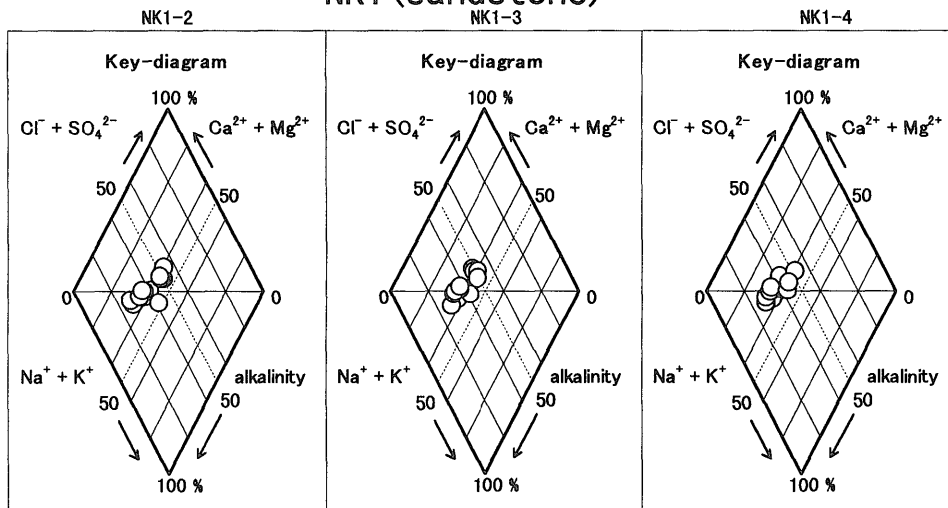
bold and italic numbers indicate 98% and 90% confidence, respectively

算量と流量との相関係数を第3表(1)に示した. 降雨を合計するというのは, 降った雨が地下で涵養され徐々に流

KB1 (granite)



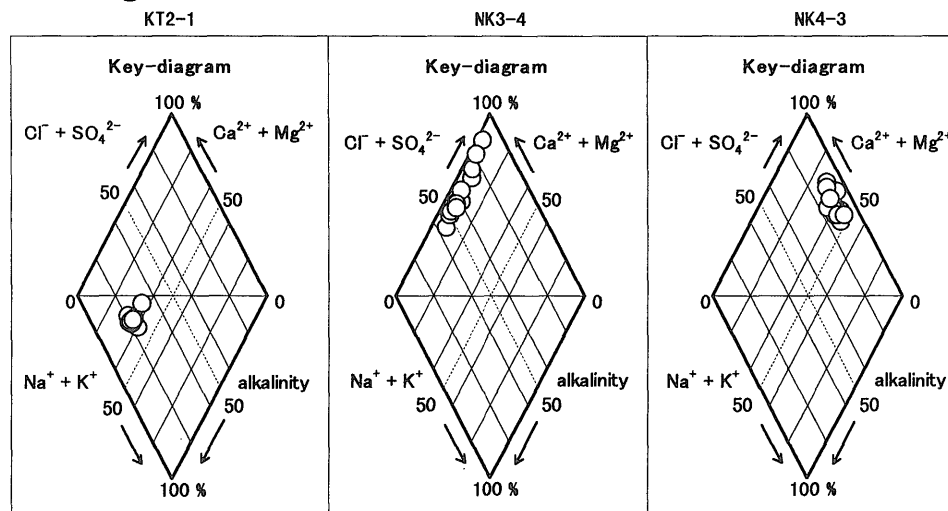
NK1 (sandstone)



KT2 (green tuff)

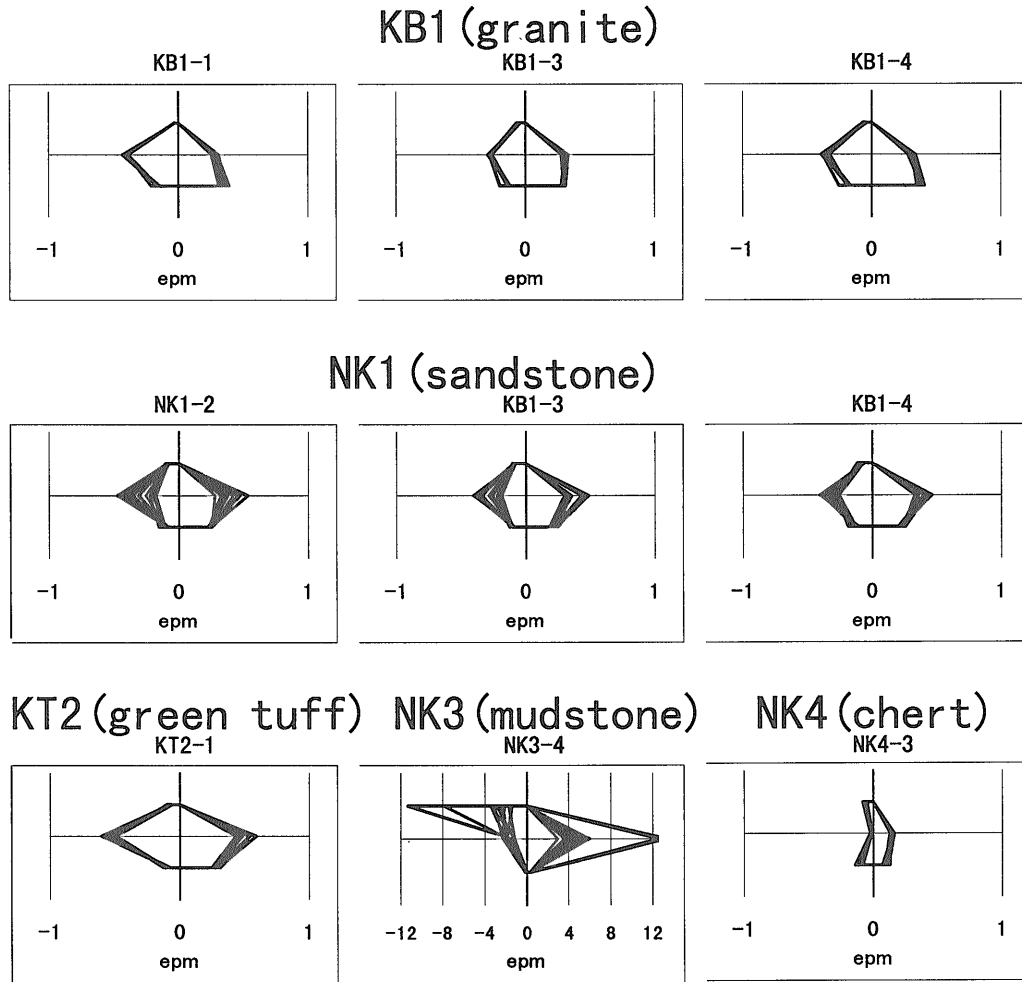
NK3 (mudstone)

NK4 (chert)



第7図 キーダイヤグラムにおける'97~'98の年間水質変動。

Fig. 7 Variation of water quality during '97~'98 shown in key diagram.



第8図 ヘキサダイアグラムにおける'97~'98の年間水質変動. 月別ヘキサダイアグラムを多重プロットしてある.
 Fig. 8 Variation of water quality during '97~'98 shown in hexa diagram.

出するモデルである。0日というのは当日1日の降雨量との相関で、現実的でない。1日というのは調査日前日の降雨量である。2日というのは調査日前日と前前日の降雨量の合計を意味する。KB1の地点では、1-2日で相関が高くなっている。また、NK1の地点では、3-4日あたりが高い相関となっている。一方、数日前の降雨量と流量との相関係数を第3表(2)に示した。これは降った雨が、ある時間の遅れを持って流出するモデルである。NK3-4は採取位置が変化しているので意味がない。概して(1)よりも相関係数が低い。従って(1)のモデルの方が良さそうであるが、連続的な流量の調査を行っておらずデータ数もわずかなため、確定的なことは未だいえない。
 [酸化還元電位・pH] 酸化還元電位は夏場に高く秋から冬にかけて低下する傾向が見られる。pHも幾分変動しているが、ほぼ一定である。日本海側の地域では冬場に大陸からくる酸性物質によって雨のpHが下がるのが指摘されているが、当地域の源頭水ではそれほど明確ではなかった。もともと変化が小さいのか、それとも土壌の緩衝作用(石塚, 1992; 岡崎, 1991; 1994)によるものか

は明確ではない。NK3-4は採取地点が移動しているので比較の対象にはならないが、おおよそ一年を通じて大きな変化といえるような変動は見出しがたい。
 [溶存成分] 主要成分を、キーダイアグラムとヘキサダイアグラムに示した図を第7, 8図に示した。花崗岩地域ではそれほど大きくは変化していないが、砂岩地域のヘキサダイアグラムで見る水質ではかなり膨らみの変動がある。グリーンタフでも幾分膨らみの変動がある。これらの変動は重炭酸イオンとカルシウムイオンに起因する部分であり、水質変動の初期過程に炭酸カルシウムが大きく関与していると考えられる。天水が炭酸を吸収して岩石を攻撃する第1段階でカルシウム含有鉱物が溶け出ると、それとも砂岩中の二次鉱物として存在するカルサイトが溶けたり沈澱したりしているのか、いろいろ可能性はあるが、どの時点で炭酸カルシウムが関与するのは今後の検討を待たなければならない。
 また、花崗岩地域では、酸化還元電位が夏高く、徐々に低下する傾向がみられた。他の成分に比較して、硝酸イオンの変化と変動が大きかった。硝酸イオンは人間活

動の汚染物質との関連もあるが、試料採取場所が山中で人間の影響が少ない場所であるので、おそらくこれは微生物の活動によるものであろう。

3.3 水質変動における相関関係

水質の変動要因を明らかにするために、これらの相関関係を検討した。各地点における13組のデータセットを用いて、各地点毎の相関係数を計算しそれを第4表に示した。ここで、電気伝導率は温度依存性があるので25°Cの値に換算して計算した。2%危険率で相関あり(第4表で++または--で表示)といえる成分の組み合わせはかなり見いだされた。しかし、相関係数は特異的なデータが一つあるだけで高い値を示すことがあり、また、直接には作用しあわない成分同士が何らかの巡り合わせであたかも相関があるように変動することがある。このため、これらの中で実質的な意味を持つ関係を見出す必要がある。そこで、危険率10%として(第4表で+または-で表示も含む)3試料以上で相関を有する成分間について検討することとする。これを列挙すると次のようになる。なお、試料名は2%危険率で相関ありとされた試料、[]内の数字は危険率10%で相関ありといえる試料の数(全試料数9)である。

まず、正の相関関係が認められるのは、
 気温-水温(NK3-4を除く全て;[9])
 水温-SiO₂(NK1-2, NK1-3, NK1-4, NK4-3; [4])
 流量-Cl⁻(NK1-2, NK1-3, NK1-4, NK4-3; [5])
 流量-SO₄²⁻(NK1-4, NK4-3; [3])
 流量-NO₃⁻(NK1-2, NK1-3, NK3-4; [5])
 電気伝導率-Mg²⁺(NK3-4; [3])
 アルカリ度-Ca²⁺(NK1-2, NK1-3, NK1-4; [3])
 アルカリ度-Mg²⁺(KB1-4, KT2-1, NK1-2, NK1-3, NK1-4; [5])
 Cl⁻-Br⁻(KB1-4, KT2-1; [3])
 Cl⁻-SO₄²⁻(KB1-1, KB1-3, KB1-4, KT2-1, NK1-2, NK1-3, NK1-4, NK4-3; [8])
 Cl⁻-NO₃⁻(KB1-3, KT2-1, NK1-2, NK1-3; [5])
 SO₄²⁻-NO₃⁻(KB1-3, KT2-1; [3])
 NO₃⁻-Ca²⁺(KB1-4; [3])
 NO₃⁻-Mg²⁺(KB1-3, NK4-3; [3])
 Na⁺-K⁺(KT2-1, NK1-2, NK1-3, NK1-4, NK4-3; [7])
 Na⁺-Ca²⁺(NK3-4; [3])
 Na⁺-Mg²⁺(KT2-1, NK3-4; [3])
 K⁺-Ca²⁺(KB1-1; [3])
 K⁺-Mg²⁺(KB1-1, KT2-1; [3])
 Ca²⁺-Mg²⁺(KB1-3, NK1-2, NK1-3, NK1-4, NK3-4, NK4-3; [8])

一方、負の相関を示す成分は、
 流量-pH(KB1-3, NK1-2; [4])
 流量-アルカリ度(KB1-1, NK1-2, NK1-3, NK1-4; [4])

流量-溶存酸素(KB1-3, KB1-4; [3])
 流量-Ca²⁺(NK1-3, NK1-4; [3])
 流量-Mg²⁺(NK1-2, NK1-3, NK1-4; [4])
 電気伝導率-Mn²⁺(NK1-3; [3])
 であった。

まず、気温・水温に関しては、温度上昇に伴い溶解反応が進むため各溶存イオン量の増加、電気伝導率の上昇が期待される。また、微生物の活動も活発化して有機物の分解が進み、酸素の消費・二酸化炭素の増大がみられ、酸化還元電位・溶存酸素量の低下、重炭酸イオン(アルカリ度)の増加などが期待される。検討結果は、このモデルに当てはまるのはシリカ濃度のみで、全てに当てはまるというわけではなかった。しかし、アルカリ度-Ca²⁺-Mg²⁺, Ca²⁺-Mg²⁺-Na⁺-K⁺, Cl⁻-SO₄²⁻-NO₃⁻等の溶存成分がお互いに相関があるというのは、いくらかその傾向を有するといえるかもしれない。それを明確にするには、今後のデータの蓄積が重要である。

これらの試料は浅層地下水であることから、岩石との接触時間、反応時間が短いと想定される。このため、溶解変化は小さく、これに対して水量の変化が相対的に大きく作用するかも知れない。もし、流量の変化をもたらず雨水による希釈が生ずるとすると、溶存成分濃度の低下が見られるはずである。観測結果の検討結果では、pH, アルカリ度, 溶存酸素, Ca²⁺, Mg²⁺等、多くの成分が水量と逆相関関係を有しており、このモデルの妥当性を裏付けている。しかし、一方でCl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻が流量と正の相関を持つという矛盾する結果もある。これはこれらの陰イオンを多めに含む水による希釈とも解釈可能であるが、そうした水の存在は今のところ明らかでない。今後の検討が必要である。KB1-1では、流量と重炭酸濃度やpHとが逆相関しており、塩化物イオンや硫酸根の増加でpHの低下、重炭酸濃度の低下が見られている(第9図)。ここでは浅層地下水の水質に関与する要因の一つに、水量の変化があることが明らかになった。

海老瀬(1996)は、屋久島の溪流調査で洪水時にpHとアルカリ度の低下が認められたことを報告している。今回は変動の幅がどの程度あるのか知るところを目的にしたので、今回の観測データのみでは詳細な検討は困難である。詳細な検討を行うためには、一雨一雨の降雨量・水量とそれに付随して変化する水質とを連続的に観測してデータを解析する必要がある。平田・村岡(1988), Hirata and Muraoka(1988)は、森林地域の渓流水中の濃度変化を降雨の変化との相関で捕らえ、濃度変化に二つのパターンがあることを示した。一つは希釈効果で低下した後に通常のレベルに戻るパターンで、SiO₂, ナトリウムイオン, 塩化物イオン等が該当するという。もう一つは、通常のレベル以上に回復するというパターンで、硝酸態窒素やカリウム, カルシウム, マグネシウム等がそれに属している。今回のデータは連続雨ではなく、

第4表 各調査地点における月別水質の相関係数表.
Table 4 Correlation matrix among monthly collected samples.

Table Correlation matrix among monthly collected samples (n=13) location: KB1-1

| | Ta | Tw | F | Cond ^d | pH | ORP | DO | HCO ₃ ⁻ | F ⁻ | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ³⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | t.Fe | Mn ²⁺ | SiO ₂ | |
|-------------------------------|------|------|------|-------------------|-------|-------|-------|-------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|------|
| Ta | 1.00 | 0.77 | 0.55 | -0.08 | -0.22 | 0.09 | -0.52 | -0.37 | -0.20 | 0.16 | 0.32 | 0.28 | -0.06 | -0.75 | -0.34 | -0.24 | -0.37 | -0.35 | 0.54 | 0.29 | -0.04 | 0.23 |
| Tw | ++ | 1.00 | 0.28 | 0.24 | -0.18 | 0.41 | -0.38 | -0.17 | -0.18 | -0.02 | 0.17 | 0.01 | 0.25 | -0.67 | -0.12 | 0.15 | -0.01 | 0.07 | 0.37 | 0.14 | 0.23 | |
| F | | | 1.00 | -0.13 | -0.68 | -0.45 | -0.67 | -0.77 | 0.34 | 0.36 | -0.21 | 0.67 | 0.23 | -0.59 | -0.20 | -0.36 | -0.46 | -0.60 | -0.20 | 0.40 | -0.03 | |
| Cond ^d | | | | 1.00 | 0.10 | 0.26 | 0.10 | 0.29 | -0.04 | -0.17 | 0.01 | -0.15 | 0.85 | 0.35 | 0.25 | 0.41 | 0.54 | 0.59 | 0.03 | -0.24 | 0.17 | |
| pH | | | | | 1.00 | -0.05 | 0.44 | 0.51 | -0.56 | -0.14 | 0.44 | -0.36 | -0.19 | 0.40 | -0.03 | 0.02 | 0.07 | 0.33 | 0.24 | -0.05 | 0.25 | |
| ORP | | | | | | 1.00 | 0.36 | 0.37 | -0.41 | -0.20 | 0.00 | -0.41 | 0.07 | 0.13 | 0.26 | 0.51 | 0.50 | 0.55 | -0.01 | -0.27 | 0.07 | |
| DO | | | | | | | 1.00 | 0.40 | -0.43 | 0.09 | 0.18 | -0.19 | -0.11 | 0.56 | 0.33 | 0.22 | 0.39 | 0.60 | -0.33 | 0.05 | 0.10 | |
| HCO ₃ ⁻ | | | | | | | | 1.00 | -0.20 | -0.35 | -0.01 | -0.57 | -0.09 | 0.57 | -0.01 | 0.47 | 0.50 | 0.49 | 0.14 | -0.37 | 0.00 | |
| F ⁻ | | | | | | | | | 1.00 | -0.02 | -0.45 | 0.16 | 0.12 | -0.20 | -0.14 | -0.07 | 0.03 | -0.19 | -0.09 | -0.02 | -0.49 | |
| Cl ⁻ | | | | | | | | | | 1.00 | 0.34 | 0.88 | 0.02 | -0.24 | -0.25 | -0.44 | -0.45 | -0.50 | -0.13 | 0.93 | 0.13 | |
| Br ⁻ | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.29 | 0.02 | -0.20 | -0.30 | -0.11 | -0.18 | -0.04 | 0.14 | 0.43 | -0.02 | |
| SO ₄ ²⁻ | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.18 | -0.41 | -0.44 | -0.58 | -0.60 | -0.65 | -0.25 | 0.86 | -0.11 | |
| NO ₃ ⁻ | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.11 | 0.16 | 0.30 | 0.33 | 0.31 | -0.25 | -0.03 | 0.16 | |
| PO ₄ ³⁻ | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.48 | 0.35 | 0.52 | 0.46 | -0.15 | -0.47 | 0.10 | |
| Na ⁺ | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.59 | 0.64 | 0.51 | 0.09 | -0.42 | 0.26 | |
| K ⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.92 | 0.69 | 0.15 | -0.49 | -0.09 | |
| Ca ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.84 | 0.14 | -0.52 | -0.19 | |
| Mg ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.02 | -0.47 | 0.00 | |
| t.Fe | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.10 | -0.11 | |
| Mn ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.09 | |
| SiO ₂ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | |

* : corrected for 25°C +++ / --- mean positive / negative correlation at 90%, 98% confidence, respectively

Table Correlation matrix among monthly collected samples (n=13) location: KB1-3

| | Ta | Tw | F | Cond ^d | pH | ORP | DO | HCO ₃ ⁻ | F ⁻ | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ³⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | t.Fe | Mn ²⁺ | SiO ₂ | |
|-------------------------------|------|------|------|-------------------|-------|-------|-------|-------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|--|
| Ta | 1.00 | 0.84 | 0.46 | -0.18 | -0.33 | 0.06 | -0.45 | -0.08 | -0.17 | 0.15 | 0.70 | 0.23 | 0.35 | -0.67 | -0.38 | 0.15 | 0.58 | 0.52 | 0.39 | 0.23 | | |
| Tw | ++ | 1.00 | 0.43 | -0.09 | -0.31 | 0.42 | -0.27 | -0.36 | 0.14 | -0.03 | 0.44 | 0.06 | 0.13 | -0.49 | -0.15 | 0.42 | 0.43 | 0.35 | 0.63 | 0.42 | | |
| F | | | 1.00 | -0.14 | -0.72 | -0.15 | -0.76 | -0.25 | -0.07 | 0.22 | -0.05 | 0.43 | 0.57 | -0.44 | -0.22 | -0.23 | 0.77 | 0.77 | 0.01 | -0.06 | | |
| Cond ^d | | | | 1.00 | 0.04 | 0.41 | 0.45 | 0.25 | -0.25 | -0.08 | -0.07 | -0.12 | -0.03 | 0.23 | -0.16 | 0.17 | 0.01 | 0.04 | 0.28 | -0.03 | | |
| pH | | | | | 1.00 | -0.03 | 0.59 | 0.10 | 0.07 | -0.25 | -0.01 | -0.42 | -0.56 | 0.18 | -0.11 | -0.01 | -0.85 | -0.79 | 0.07 | 0.25 | | |
| ORP | | | | | | 1.00 | 0.41 | -0.21 | 0.27 | -0.33 | 0.07 | -0.35 | -0.29 | 0.24 | 0.07 | 0.55 | -0.05 | -0.02 | 0.63 | 0.15 | | |
| DO | | | | | | | 1.00 | -0.15 | 0.20 | -0.06 | -0.09 | -0.25 | -0.41 | 0.55 | 0.33 | 0.22 | -0.61 | -0.53 | 0.11 | 0.16 | | |
| HCO ₃ ⁻ | | | | | | | | 1.00 | -0.11 | 0.19 | -0.06 | 0.14 | 0.19 | 0.08 | -0.16 | 0.16 | 0.13 | 0.08 | -0.13 | -0.56 | | |
| F ⁻ | | | | | | | | | 1.00 | 0.22 | -0.41 | 0.19 | 0.06 | 0.55 | 0.55 | 0.46 | -0.01 | -0.03 | 0.05 | 0.16 | | |
| Cl ⁻ | | | | | | | | | | 1.00 | -0.09 | 0.97 | 0.86 | -0.05 | 0.21 | -0.05 | 0.35 | 0.38 | -0.28 | -0.07 | | |
| Br ⁻ | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.15 | -0.05 | -0.42 | -0.43 | 0.01 | 0.22 | 0.11 | 0.43 | 0.25 | | |
| SO ₄ ²⁻ | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.94 | -0.13 | 0.16 | -0.08 | 0.50 | 0.54 | -0.33 | -0.09 | | |
| NO ₃ ⁻ | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.17 | -0.09 | -0.17 | 0.68 | 0.73 | -0.33 | -0.07 | | |
| PO ₄ ³⁻ | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.34 | 0.22 | -0.18 | -0.19 | -0.28 | -0.03 | | |
| Na ⁺ | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.34 | -0.12 | -0.14 | -0.06 | -0.31 | | |
| K ⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.08 | -0.10 | 0.54 | -0.12 | | |
| Ca ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.94 | -0.03 | -0.19 | | |
| Mg ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.15 | -0.24 | | |
| t.Fe | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.25 | | |
| Mn ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | | |
| SiO ₂ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | |

* : corrected for 25°C +++ / --- mean positive / negative correlation at 90%, 98% confidence, respectively

Table Correlation matrix among monthly collected samples (n=13) location: KB1-4

| | Ta | Tw | F | Cond ^d | pH | ORP | DO | HCO ₃ ⁻ | F ⁻ | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ³⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | t.Fe | Mn ²⁺ | SiO ₂ | |
|-------------------------------|------|------|------|-------------------|-------|-------|-------|-------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|--|
| Ta | 1.00 | 0.92 | 0.60 | 0.23 | 0.22 | -0.07 | -0.53 | -0.19 | 0.08 | 0.27 | 0.41 | 0.20 | -0.30 | -0.04 | -0.08 | 0.34 | -0.49 | -0.61 | 0.12 | 0.24 | | |
| Tw | ++ | 1.00 | 0.48 | 0.14 | 0.20 | 0.19 | -0.43 | -0.30 | -0.23 | 0.18 | 0.22 | 0.09 | -0.59 | 0.06 | -0.05 | 0.53 | -0.70 | -0.74 | 0.39 | 0.36 | | |
| F | | | 1.00 | 0.15 | -0.42 | -0.40 | -0.74 | -0.11 | 0.16 | 0.44 | 0.35 | 0.54 | 0.07 | -0.34 | 0.24 | -0.06 | -0.04 | -0.38 | -0.12 | -0.26 | | |
| Cond ^d | | | | 1.00 | -0.20 | -0.02 | -0.21 | 0.68 | -0.09 | 0.02 | 0.21 | 0.04 | 0.38 | 0.17 | -0.44 | -0.06 | 0.25 | 0.22 | -0.01 | 0.12 | | |
| pH | | | | | 1.00 | -0.13 | 0.09 | -0.31 | 0.15 | -0.02 | 0.15 | -0.19 | -0.27 | 0.25 | -0.15 | 0.11 | -0.34 | -0.35 | 0.09 | 0.68 | | |
| ORP | | | | | | 1.00 | 0.40 | 0.19 | -0.56 | -0.33 | -0.32 | -0.42 | -0.35 | 0.64 | -0.21 | 0.41 | -0.28 | 0.04 | 0.78 | 0.29 | | |
| DO | | | | | | | 1.00 | 0.06 | -0.28 | -0.12 | -0.17 | -0.24 | -0.04 | 0.16 | 0.16 | 0.34 | 0.26 | 0.29 | 0.00 | 0.10 | | |
| HCO ₃ ⁻ | | | | | | | | 1.00 | 0.09 | 0.03 | 0.25 | 0.06 | 0.65 | 0.20 | -0.51 | -0.35 | 0.47 | 0.70 | 0.09 | -0.08 | | |
| F ⁻ | | | | | | | | | 1.00 | 0.20 | 0.14 | 0.24 | 0.62 | -0.31 | 0.04 | -0.37 | 0.21 | 0.14 | -0.46 | -0.42 | | |
| Cl ⁻ | | | | | | | | | | 1.00 | 0.72 | 0.97 | 0.24 | -0.30 | 0.40 | 0.25 | -0.04 | -0.23 | -0.23 | 0.00 | | |
| Br ⁻ | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.68 | 0.28 | -0.10 | 0.09 | -0.02 | 0.07 | 0.10 | -0.32 | 0.29 | | |
| SO ₄ ²⁻ | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.32 | -0.38 | 0.44 | 0.11 | 0.03 | -0.14 | -0.32 | -0.14 | | |
| NO ₃ ⁻ | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.01 | -0.06 | -0.52 | 0.72 | 0.65 | -0.49 | -0.36 | | |
| PO ₄ ³⁻ | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.28 | 0.12 | -0.05 | 0.07 | 0.54 | 0.63 | | |
| Na ⁺ | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.24 | -0.03 | -0.19 | -0.38 | -0.13 | | |
| K ⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.55 | -0.57 | 0.38 | 0.33 | | |
| Ca ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.64 | -0.55 | -0.42 | | |
| Mg ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.27 | -0.22 | | |
| t.Fe | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.41 | | |
| Mn ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | | |
| SiO ₂ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | |

* : corrected for 25°C +++ / --- mean positive / negative correlation at 90%, 98% confidence, respectively

茨城県中部域の源流部における水質変動 (金井 ほか)

第4表 (続き)
Table 4 (Continued)

Table Correlation matrix among monthly collected samples (n=13) location: KT2-1

| | Ta | Tw | F | Cond ^d | pH | ORP | DO | HCO ₃ ⁻ | F ⁻ | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ³⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | t.Fe | Mn ²⁺ | SiO ₂ |
|-------------------------------|------|------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|
| Ta | 1.00 | 0.72 | 0.05 | 0.43 | -0.56 | -0.13 | -0.27 | -0.36 | -0.16 | 0.09 | 0.53 | 0.06 | 0.06 | -0.46 | -0.08 | 0.07 | -0.03 | -0.08 | -0.21 | -0.32 | 0.16 |
| Tw | ++ | 1.00 | -0.28 | 0.64 | -0.73 | 0.29 | 0.21 | -0.17 | -0.16 | -0.01 | 0.34 | 0.18 | 0.08 | -0.13 | -0.09 | 0.29 | -0.06 | 0.05 | 0.36 | -0.75 | 0.27 |
| F | | | 1.00 | -0.39 | -0.06 | -0.42 | -0.34 | -0.51 | 0.34 | 0.60 | 0.21 | 0.06 | 0.37 | -0.14 | -0.06 | -0.50 | -0.22 | -0.39 | -0.73 | 0.21 | 0.46 |
| Cond ^d | | | | 1.00 | -0.57 | -0.14 | 0.16 | 0.43 | -0.27 | -0.07 | 0.30 | 0.33 | 0.07 | -0.39 | 0.19 | 0.50 | 0.33 | 0.56 | 0.46 | -0.41 | 0.17 |
| pH | | | | | 1.00 | -0.05 | 0.00 | 0.18 | 0.02 | -0.25 | -0.55 | -0.35 | -0.32 | 0.46 | -0.06 | -0.20 | 0.01 | -0.13 | -0.16 | 0.77 | -0.41 |
| ORP | | | | | | 1.00 | 0.36 | -0.05 | -0.05 | -0.16 | -0.23 | 0.12 | -0.02 | 0.14 | 0.02 | 0.40 | -0.52 | 0.06 | 0.46 | -0.32 | 0.00 |
| DO | | | | | | | 1.00 | 0.06 | -0.47 | -0.20 | -0.28 | -0.12 | -0.16 | 0.40 | -0.23 | 0.12 | 0.02 | -0.07 | 0.75 | -0.31 | -0.03 |
| HCO ₃ ⁻ | | | | | | | | 1.00 | -0.05 | -0.37 | -0.21 | 0.17 | -0.19 | -0.12 | 0.40 | 0.51 | 0.50 | 0.79 | 0.42 | 0.17 | 0.07 |
| F ⁻ | | | | | | | | | 1.00 | 0.38 | 0.05 | 0.26 | 0.34 | -0.03 | 0.41 | 0.04 | -0.10 | 0.13 | -0.35 | 0.18 | 0.49 |
| Cl ⁻ | | | | | | | | | | 1.00 | 0.71 | 0.76 | 0.95 | -0.41 | 0.36 | 0.08 | 0.08 | 0.11 | -0.52 | 0.00 | 0.35 |
| Br ⁻ | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.70 | 0.77 | -0.71 | 0.49 | 0.33 | 0.44 | 0.29 | -0.32 | -0.18 | 0.21 |
| SO ₄ ²⁻ | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.90 | -0.59 | 0.66 | 0.64 | 0.27 | 0.67 | -0.10 | -0.14 | 0.33 |
| NO ₃ ⁻ | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.49 | 0.52 | 0.32 | 0.18 | 0.33 | -0.34 | -0.07 | 0.31 |
| PO ₄ ³⁻ | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.61 | -0.52 | -0.19 | -0.57 | 0.23 | -0.10 | -0.28 |
| Na ⁺ | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.76 | 0.45 | 0.75 | 0.04 | 0.32 | 0.37 |
| K ⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.26 | 0.84 | 0.45 | -0.07 | 0.22 |
| Ca ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.47 | 0.09 | 0.13 | 0.01 |
| Mg ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.28 | 0.08 | 0.26 |
| t.Fe | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.39 | -0.07 |
| Mn ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.16 |
| SiO ₂ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 |

* : corrected for 25C +++ / -- mean positive / negative correlation at 90%, 98% confidence, respectively

Table Correlation matrix among monthly collected samples (n=13) location: NK1-2

| | Ta | Tw | F | Cond ^d | pH | ORP | DO | HCO ₃ ⁻ | F ⁻ | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ³⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | t.Fe | Mn ²⁺ | SiO ₂ |
|-------------------------------|------|------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|
| Ta | 1.00 | 0.85 | 0.00 | 0.33 | -0.37 | 0.30 | -0.49 | 0.08 | -0.50 | -0.02 | | 0.02 | -0.05 | | -0.06 | 0.15 | -0.02 | 0.09 | -0.67 | -0.38 | 0.54 |
| Tw | ++ | 1.00 | -0.10 | 0.57 | -0.24 | 0.36 | -0.48 | 0.20 | -0.54 | -0.07 | | -0.04 | -0.06 | | 0.32 | 0.43 | 0.03 | 0.24 | -0.57 | -0.39 | 0.80 |
| F | | | 1.00 | -0.50 | -0.83 | 0.41 | -0.16 | -0.83 | -0.73 | 0.72 | | 0.23 | 0.91 | | -0.13 | -0.18 | -0.57 | -0.69 | -0.64 | -0.33 | -0.40 |
| Cond ^d | | | | 1.00 | 0.23 | 0.45 | -0.28 | 0.38 | -0.62 | -0.08 | | 0.12 | -0.03 | | 0.37 | 0.51 | 0.04 | 0.48 | -0.15 | -0.59 | 0.68 |
| pH | | | | | 1.00 | -0.52 | 0.27 | 0.77 | 0.11 | -0.46 | | 0.04 | -0.72 | | 0.18 | 0.26 | 0.68 | 0.65 | 0.72 | 0.06 | 0.17 |
| ORP | | | | | | 1.00 | -0.02 | -0.54 | -0.29 | 0.27 | | -0.03 | 0.56 | | -0.10 | 0.15 | -0.77 | -0.43 | -0.68 | -0.40 | 0.10 |
| DO | | | | | | | 1.00 | -0.19 | 0.36 | -0.01 | | 0.10 | -0.11 | | 0.16 | 0.20 | -0.15 | -0.31 | 0.31 | 0.13 | -0.52 |
| HCO ₃ ⁻ | | | | | | | | 1.00 | -0.04 | -0.50 | | 0.02 | -0.76 | | 0.30 | 0.21 | 0.87 | 0.96 | 0.56 | 0.09 | 0.50 |
| F ⁻ | | | | | | | | | 1.00 | -0.29 | | -0.37 | -0.35 | | -0.27 | -0.41 | -0.09 | -0.18 | 0.49 | 0.90 | -0.46 |
| Cl ⁻ | | | | | | | | | | 1.00 | | 0.78 | 0.77 | | 0.19 | 0.26 | -0.30 | -0.34 | -0.41 | -0.28 | -0.13 |
| Br ⁻ | | | | | | | | | | | 1.00 | | | | | | | | | | |
| SO ₄ ²⁻ | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.34 | | 0.40 | 0.52 | 0.18 | 0.15 | -0.11 | -0.35 | 0.06 |
| NO ₃ ⁻ | | | | | | | | | | | | | 1.00 | | 0.00 | -0.05 | -0.61 | -0.56 | -0.57 | -0.33 | -0.23 |
| PO ₄ ³⁻ | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | | | | | | | |
| Na ⁺ | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.77 | 0.32 | 0.40 | 0.22 | -0.14 | 0.44 |
| K ⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.15 | 0.24 | -0.05 | -0.38 | 0.58 |
| Ca ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.84 | 0.55 | 0.07 | 0.28 |
| Mg ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.48 | 0.00 | 0.54 |
| t.Fe | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.52 | -0.16 |
| Mn ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.21 |
| SiO ₂ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 |

* : corrected for 25C +++ / -- mean positive / negative correlation at 90%, 98% confidence, respectively

Table Correlation matrix among monthly collected samples (n=13) location: NK1-3

| | Ta | Tw | F | Cond ^d | pH | ORP | DO | HCO ₃ ⁻ | F ⁻ | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ³⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | t.Fe | Mn ²⁺ | SiO ₂ |
|-------------------------------|------|------|-------|-------------------|-------|------|-------|-------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|
| Ta | 1.00 | 0.92 | -0.15 | 0.20 | -0.67 | 0.17 | -0.45 | 0.04 | -0.21 | -0.11 | -0.48 | -0.12 | -0.21 | | 0.28 | 0.34 | -0.06 | -0.17 | -0.02 | -0.44 | 0.78 |
| Tw | ++ | 1.00 | -0.14 | 0.28 | -0.56 | 0.23 | -0.38 | 0.07 | -0.14 | -0.09 | -0.28 | -0.17 | -0.16 | | 0.46 | 0.52 | -0.01 | -0.08 | 0.05 | -0.45 | 0.92 |
| F | | | 1.00 | -0.67 | -0.38 | 0.14 | -0.18 | -0.92 | -0.11 | 0.70 | 0.56 | 0.33 | 0.90 | | -0.55 | -0.62 | -0.82 | -0.82 | -0.42 | | 0.02 |
| Cond ^d | | | | 1.00 | 0.26 | 0.37 | -0.27 | 0.43 | -0.31 | -0.04 | -0.05 | -0.03 | -0.04 | | 0.19 | 0.36 | 0.33 | 0.46 | -0.17 | -0.85 | 0.23 |
| pH | | | | | 1.00 | 0.28 | 0.24 | 0.41 | 0.11 | -0.34 | 0.09 | -0.16 | -0.19 | | 0.03 | 0.00 | 0.36 | 0.53 | -0.04 | 0.16 | -0.40 |
| ORP | | | | | | 1.00 | -0.21 | -0.15 | -0.38 | 0.14 | -0.12 | 0.21 | 0.37 | | 0.06 | 0.03 | -0.28 | -0.11 | -0.45 | -0.30 | 0.34 |
| DO | | | | | | | 1.00 | 0.12 | -0.29 | -0.27 | 0.34 | -0.05 | -0.25 | | -0.16 | -0.13 | 0.11 | 0.14 | 0.58 | 0.42 | -0.38 |
| HCO ₃ ⁻ | | | | | | | | 1.00 | 0.07 | -0.57 | -0.35 | -0.26 | -0.77 | | 0.58 | 0.59 | 0.95 | 0.95 | 0.31 | -0.12 | -0.05 |
| F ⁻ | | | | | | | | | 1.00 | -0.13 | -0.20 | -0.22 | -0.19 | | 0.36 | 0.25 | 0.18 | 0.15 | 0.02 | 0.48 | -0.13 |
| Cl ⁻ | | | | | | | | | | 1.00 | 0.24 | 0.83 | 0.82 | | -0.19 | -0.09 | -0.39 | -0.41 | -0.49 | -0.23 | -0.10 |
| Br ⁻ | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.05 | 0.44 | | -0.44 | -0.43 | -0.25 | -0.23 | 0.12 | -0.08 | -0.11 |
| SO ₄ ²⁻ | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.53 | | -0.09 | 0.06 | -0.09 | -0.11 | -0.47 | -0.14 | -0.26 |
| NO ₃ ⁻ | | | | | | | | | | | | | 1.00 | | -0.42 | -0.45 | -0.69 | -0.59 | -0.55 | -0.19 | -0.02 |
| PO ₄ ³⁻ | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | | | | | | | |
| Na ⁺ | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.91 | 0.58 | 0.59 | 0.13 | 0.02 | 0.35 |
| K ⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.63 | 0.59 | 0.16 | -0.19 | 0.35 |
| Ca ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.95 | 0.26 | -0.08 | -0.15 |
| Mg ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.20 | -0.10 | -0.15 |
| t.Fe | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.31 | -0.12 |
| Mn ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.38 |
| SiO ₂ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 |

* : corrected for 25C +++ / -- mean positive / negative correlation at 90%, 98% confidence, respectively

第4表 (続き)
Table 4 (Continued)

Table Correlation matrix among monthly collected samples (n=13) location: NK1-4

| | Ta | Tw | F | Cond [#] | pH | ORP | DO | HCO ₃ ⁻ | F ⁻ | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ³⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | t.Fe | Mn ²⁺ | SiO ₂ |
|-------------------------------|------|------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|
| Ta | 1.00 | 0.92 | 0.05 | 0.11 | -0.65 | 0.31 | -0.56 | -0.16 | -0.31 | -0.02 | | -0.02 | -0.34 | | 0.47 | 0.53 | -0.35 | -0.27 | -0.53 | -0.46 | 0.66 |
| Tw | ++ | 1.00 | -0.05 | 0.34 | -0.54 | 0.38 | -0.53 | -0.05 | -0.35 | 0.01 | | -0.03 | -0.22 | | 0.63 | 0.69 | -0.14 | -0.10 | -0.33 | -0.43 | 0.88 |
| F | | | 1.00 | -0.36 | -0.66 | 0.39 | -0.23 | -0.92 | 0.26 | 0.76 | | 0.75 | 0.65 | | 0.22 | -0.41 | -0.85 | -0.79 | -0.07 | | 0.14 |
| Cond [#] | | | | 1.00 | -0.12 | 0.15 | -0.12 | 0.29 | -0.51 | 0.04 | | 0.00 | 0.26 | | 0.16 | 0.30 | 0.38 | 0.34 | 0.21 | -0.58 | 0.49 |
| pH | - | - | | | 1.00 | -0.41 | 0.56 | 0.54 | 0.31 | -0.41 | | -0.40 | -0.26 | | -0.39 | -0.07 | 0.61 | 0.67 | 0.30 | 0.56 | -0.51 |
| ORP | | | | | | 1.00 | -0.25 | -0.29 | 0.05 | 0.60 | | 0.67 | 0.38 | | 0.54 | 0.25 | -0.17 | -0.33 | -0.29 | 0.01 | 0.42 |
| DO | - | | | | | | 1.00 | 0.16 | 0.08 | -0.20 | | -0.15 | -0.04 | | -0.20 | 0.08 | 0.26 | 0.41 | 0.34 | 0.33 | -0.50 |
| HCO ₃ ⁻ | | | | | | | | 1.00 | -0.20 | -0.55 | | -0.52 | -0.53 | | -0.31 | 0.32 | 0.94 | 0.78 | 0.18 | -0.09 | -0.12 |
| F ⁻ | | | | | | | | | 1.00 | 0.22 | | 0.15 | 0.01 | | -0.12 | -0.24 | -0.10 | 0.04 | 0.15 | 0.56 | -0.34 |
| Cl ⁻ | | | | | | | | | | 1.00 | | 0.94 | 0.61 | | 0.35 | -0.13 | -0.44 | -0.45 | -0.11 | -0.13 | 0.30 |
| Br ⁻ | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.55 | | | 0.31 | -0.13 | -0.44 | -0.45 | -0.17 | -0.08 | 0.21 |
| SO ₄ ²⁻ | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.55 | | -0.02 | -0.51 | -0.29 | -0.37 | 0.41 | -0.14 | 0.10 |
| NO ₃ ⁻ | | | | | | | | | | | | | 1.00 | | | | | | | | |
| PO ₄ ³⁻ | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.68 | -0.24 | -0.29 | -0.44 | 0.10 | 0.71 | |
| Na ⁺ | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.68 | -0.24 | -0.29 | -0.44 | 0.10 | 0.71 |
| K ⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.28 | 0.29 | -0.26 | -0.12 | 0.60 |
| Ca ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.80 | 0.36 | 0.03 | -0.11 |
| Mg ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.38 | 0.02 | -0.10 |
| t.Fe | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.12 | -0.09 |
| Mn ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.45 |
| SiO ₂ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 |

* : corrected for 25°C ++ / - - - mean positive / negative correlation at 90%, 98% confidence, respectively

Table Correlation matrix among monthly collected samples (n=13) location: NK3-4

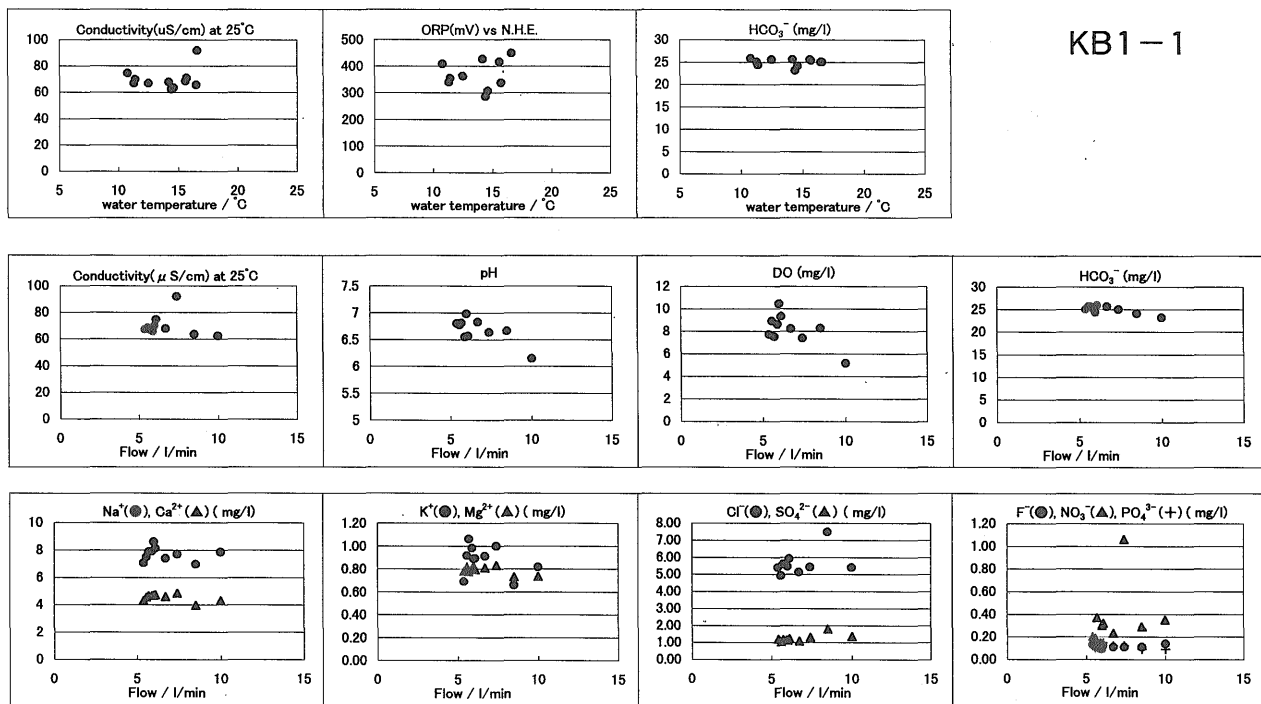
| | Ta | Tw | F | Cond [#] | pH | ORP | DO | HCO ₃ ⁻ | F ⁻ | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ³⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | t.Fe | Mn ²⁺ | SiO ₂ |
|-------------------------------|------|------|------|-------------------|-------|-------|-------|-------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|
| Ta | 1.00 | 0.56 | 0.34 | -0.27 | 0.06 | -0.43 | -0.36 | -0.16 | 0.45 | 0.10 | 0.10 | -0.31 | 0.32 | | -0.17 | 0.16 | -0.20 | -0.35 | 0.26 | -0.05 | 0.37 |
| Tw | + | 1.00 | 0.76 | -0.27 | 0.54 | -0.14 | 0.24 | 0.07 | 0.60 | 0.21 | -0.04 | -0.30 | 0.56 | | -0.27 | 0.50 | -0.24 | -0.31 | 0.27 | -0.15 | 0.16 |
| F | | | 1.00 | -0.28 | 0.58 | 0.14 | 0.44 | 0.02 | 0.41 | 0.14 | -0.02 | -0.28 | 0.69 | | -0.31 | 0.33 | -0.25 | -0.29 | 0.44 | -0.05 | 0.08 |
| Cond [#] | | | | 1.00 | -0.44 | 0.26 | -0.11 | -0.02 | -0.16 | -0.81 | -0.37 | 0.98 | -0.23 | | 0.83 | 0.49 | 0.98 | 0.97 | -0.24 | -0.20 | -0.78 |
| pH | | | | | 1.00 | -0.12 | 0.44 | -0.22 | 0.30 | 0.35 | 0.09 | -0.39 | 0.41 | | -0.51 | -0.15 | -0.47 | -0.45 | 0.33 | 0.24 | 0.26 |
| ORP | | | | | | 1.00 | 0.61 | 0.38 | -0.37 | -0.13 | -0.18 | 0.29 | 0.02 | | 0.23 | 0.24 | 0.23 | 0.37 | -0.40 | -0.55 | -0.43 |
| DO | | | | | | | 1.00 | 0.49 | -0.10 | 0.34 | 0.17 | -0.07 | 0.27 | | 0.06 | 0.27 | -0.10 | 0.02 | -0.19 | -0.40 | -0.09 |
| HCO ₃ ⁻ | | | | | | | | 1.00 | 0.00 | 0.41 | 0.52 | -0.10 | 0.30 | | 0.06 | 0.32 | -0.01 | 0.10 | -0.62 | -0.80 | -0.63 |
| F ⁻ | | | | | | | | | 1.00 | 0.07 | 0.10 | -0.26 | 0.61 | | -0.21 | 0.39 | -0.12 | -0.26 | -0.01 | -0.09 | 0.32 |
| Cl ⁻ | | | | | | | | | | 1.00 | 0.67 | -0.82 | 0.38 | | -0.71 | -0.40 | -0.84 | -0.74 | -0.02 | -0.13 | 0.51 |
| Br ⁻ | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.37 | 0.51 | | -0.28 | -0.27 | -0.35 | -0.26 | -0.33 | -0.38 | 0.11 |
| SO ₄ ²⁻ | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.27 | | 0.85 | 0.44 | 0.97 | 0.97 | -0.19 | -0.13 | -0.83 |
| NO ₃ ⁻ | | | | | | | | | | | | | 1.00 | | -0.28 | 0.25 | -0.23 | -0.24 | 0.08 | -0.32 | 0.01 |
| PO ₄ ³⁻ | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | | | | | | | |
| Na ⁺ | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.61 | 0.91 | 0.85 | -0.14 | -0.15 | -0.58 |
| K ⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.57 | 0.48 | -0.08 | -0.40 | -0.35 |
| Ca ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.96 | -0.23 | -0.20 | -0.73 |
| Mg ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.35 | -0.31 | -0.83 |
| t.Fe | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.78 | 0.22 |
| Mn ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.26 |
| SiO ₂ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 |

* : corrected for 25°C ++ / - - - mean positive / negative correlation at 90%, 98% confidence, respectively

Table Correlation matrix among monthly collected samples (n=13) location: NK4-3

| | Ta | Tw | F | Cond [#] | pH | ORP | DO | HCO ₃ ⁻ | F ⁻ | Cl ⁻ | Br ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ³⁻ | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | t.Fe | Mn ²⁺ | SiO ₂ |
|-------------------------------|------|------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|
| Ta | 1.00 | 0.78 | 0.08 | -0.17 | -0.49 | -0.15 | -0.31 | 0.27 | 0.22 | 0.07 | -0.16 | 0.20 | -0.76 | | 0.68 | 0.26 | -0.48 | -0.88 | 0.11 | -0.19 | 0.50 |
| Tw | ++ | 1.00 | -0.05 | 0.16 | -0.43 | 0.31 | -0.25 | 0.03 | 0.15 | -0.15 | -0.49 | 0.12 | -0.75 | | 0.62 | 0.34 | -0.38 | -0.80 | 0.39 | -0.17 | 0.90 |
| F | | | 1.00 | -0.27 | -0.40 | -0.43 | -0.21 | 0.06 | -0.33 | 0.79 | 0.24 | 0.82 | 0.35 | | 0.16 | 0.05 | 0.08 | -0.04 | -0.08 | 0.41 | -0.22 |
| Cond [#] | | | | 1.00 | 0.08 | 0.58 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | -0.17 | -0.24 | -0.19 | 0.02 | | 0.06 | 0.49 | 0.46 | 0.28 | 0.60 | 0.33 | 0.36 |
| pH | | | | | 1.00 | 0.27 | 0.01 | -0.40 | -0.12 | -0.33 | -0.07 | -0.32 | 0.18 | | -0.21 | -0.17 | 0.29 | 0.46 | -0.13 | 0.40 | -0.24 |
| ORP | | | | | | 1.00 | 0.08 | 0.16 | -0.06 | -0.39 | -0.30 | -0.31 | -0.22 | | 0.07 | 0.23 | -0.02 | 0.02 | 0.35 | 0.15 | 0.56 |
| DO | | | | | | | 1.00 | -0.01 | -0.24 | -0.23 | 0.15 | -0.29 | 0.24 | | -0.19 | 0.11 | -0.13 | 0.23 | -0.17 | -0.42 | -0.17 |
| HCO ₃ ⁻ | | | | | | | | 1.00 | -0.03 | 0.19 | 0.38 | 0.09 | -0.19 | | 0.28 | 0.24 | -0.17 | -0.20 | 0.00 | -0.04 | -0.06 |
| F ⁻ | | | | | | | | | 1.00 | -0.40 | -0.13 | -0.44 | -0.12 | | -0.20 | -0.39 | 0.17 | 0.00 | 0.10 | -0.26 | -0.04 |
| Cl ⁻ | | | | | | | | | | 1.00 | 0.53 | 0.89 | 0.24 | | 0.31 | 0.33 | -0.09 | -0.08 | -0.20 | 0.29 | -0.26 |
| Br ⁻ | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.41 | 0.30 | | -0.07 | -0.05 | -0.02 | 0.20 | -0.16 | -0.17 | -0.63 |
| SO ₄ ²⁻ | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.09 | | 0.48 | 0.35 | -0.08 | -0.25 | -0.01 | 0.28 | -0.02 |
| NO ₃ ⁻ | | | | | | | | | | | | | 1.00 | | -0.47 | -0.17 | 0.67 | 0.88 | 0.07 | 0.32 | -0.68 |
| PO ₄ ³⁻ | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | | | | | | | |
| Na ⁺ | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.78 | -0.20 | -0.60 | 0.24 | 0.15 | 0.48 |
| K ⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.01 | -0.21 | 0.30 | 0.20 | 0.40 |
| Ca ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.77 | 0.54 | 0.54 | -0.34 |
| Mg ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.12 | 0.35 | -0.64 |
| t.Fe | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | 0.18 | 0.40 |
| Mn ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | -0.09 |
| SiO ₂ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 |

* : corrected for 25°C ++ / - - - mean positive / negative correlation at 90%, 98% confidence, respectively



KB1-1

第9図 KB1-1における水質と水温・流量との関係。

Fig. 9 Relationships between water quality and water temperature, flow rate at KB1-1.

また、回復時のいつ頃の採取かもまちまちであるため比較は出来ないが、参考になる結果であろう。さらに、梅雨時に観察されるような濃度増加は、渇水期において土壌・帯水層に蓄積された成分が、増量した降雨で洗い出される洗脱効果といわれているが(田中・山崎, 1985), 今回の調査ではそれもあまり明確ではない。いずれにせよ、降雨量・水量とそれに付随して変化する水質を連続観測してデータを得る必要があり、この分野における今後の課題であろう。

福島県の温泉や湧水では、溶存シリカと、硫酸根、カリウム・カルシウム・マグネシウム・鉄イオン等多くのイオンが正の相関を有していた(金井ほか, 1998)。これは、次式に示されるように岩石の風化・溶脱反応に伴い、種々の鉱物構成元素がシリカと共に溶け出しているためと考えられた。例えば、長石類が水と反応していくと、

$$2\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 + 2\text{CO}_2 + 5\text{H}_2\text{O} = \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{Na}^+ + 2\text{HCO}_3^- + 4\text{Si}(\text{OH})_4$$

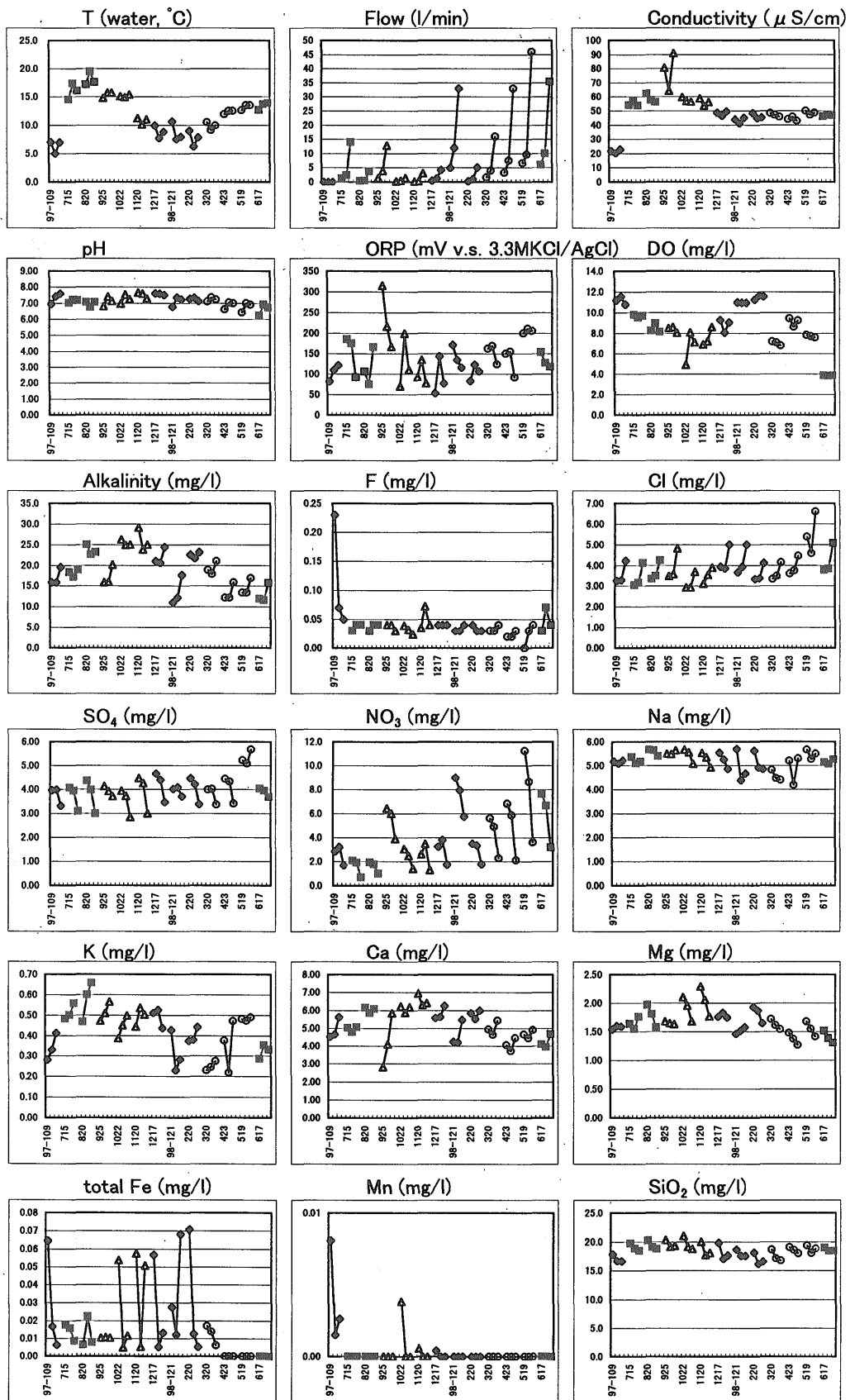
$$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 + 2\text{CO}_2 + 5\text{H}_2\text{O} = \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$$
 のような反応式で、重碳酸イオン・Naイオン・Caイオンの増加、また水素イオンの消費、pHの上昇が起こる。今回の調査では、シリカ濃度はあまり大きな変動は見られなかった。このことはこれらの溶解反応が短期的なタイムスケールで行われているのではないことを示唆していると考えられる。

硝酸イオンは、9, 1, 5月で高い試料があり、特に砂岩

のものに目立って変動している。これらの月では砂岩層試料での水量は多く、お互いに高い相関を有していた。これは希釈を考えると反対の結果であり、別の説明が必要である。土壌には有機物や微生物が多く、表層の土壌中の塩としては硝酸イオンが深部より比較的高い濃度で存在している。調査域の土壌堆積物の抽出実験結果(未公表資料、投稿準備中)でも、そうした結果が確認されている。従って、ここでは表層土壌を浸透してくる間に、土壌中にある硝酸イオンを溶かし出してくるために高い濃度となっているものと考えられる。こうしたことは、KB1-1のような花崗岩の湧水では認められない傾向で、このような違いは斜面の形状や浸透流路によって規制されているものと考えられる。

3.4 流下に伴う水質変化

砂岩地域のNK1-2とNK1-3とは、40m程の距離を置いて離れており、その組成の変化はその間における他の滲出水・地表水の流入・流失や水中での物理的・化学的反応の結果と考えられる。そこで、2点の測定結果を第10図に示した。横軸は調査月を時系列に並べ、3点セットでNK1-2,3,4と直線で結び、本流の流れであるNK1-4も参考のため示してある。水温は夏季には増加を冬季には低下しており、流下に伴い外気によって温度変動があることを示している。流量は流下に伴い増加しており、まわりから浸み出しがあることを示している。電気伝導率は、概して低下しており、pHは幾分上昇傾向



第10図 流下に伴う水質の変化(NK1).
Fig.10 Change of water quality with down flow at NK1.

に、アルカリ度 (重炭酸イオン濃度) は低下、硫酸根・硝酸イオンも低下傾向にある。カルシウム・マグネシウムイオンや鉄・マンガンイオン、シリカ濃度は減少している傾向がある。これらのことから、流下に伴い浸み出してくる水による希釈効果が作用しているものと推定される。一方、カリウムは増加する傾向を見せており、浸み出し水はカリウムに富んでいるのかも知れない。

このような化学成分の流下に伴う増減の変化傾向は、多くの成分で本流においてその変化傾向が顕著となっている。希釈効果を考えるとこうした傾向が一般的といえる。しかし、カルシウムとアルカリ度に関しては異なるようである。すなわち、両者ともNK1-2からNK1-3で低下しておきながら、本流のNK1-4の方がまだ高い濃度である。砂岩層では炭酸カルシウム組成の変動があったと述べたが、本流では炭酸カルシウム組成の物質供給がかなり強いことを示唆している。

ここでは、源頭水が表流水として流下していく過程での変化を考察したが、この変化は実際の地表にある表層物質を浸透していく過程での変化とは幾分異なっている。というのは、浸透の場合には自己変質過程であるのに対し、流下の場合には酸化的環境下での混合過程であるからである。混合する滲出は源頭水よりも浸透のパスが短ければ希釈効果となるであろうが、逆にパスが長くてより深部から来ているものであれば、これを解析することによって混合ではない浸透水の水質変化を解明する手助けとすることができる。そのためには、より深部まで浸透した水が滲出する地点を見出すことが必要であろう。

4. ま と め

地表物質や基盤を構成する地質と水質との関わりを明らかにする研究の一環として源頭水のような浅層地下水に注目し、浅層地下水や地表水を毎月一回定点測定を行い、一年間にわたる水質変動を明らかにして、地質以外にどのような影響を受けて変動するのかについて検討した。

(1) 各地質毎の平均的水質は、ヘキサダイアグラムやキータダイアグラム上で、花崗岩地域の浸透水は中間型、砂岩・グリーンタフ地域の水は炭酸カルシウム型、チャートや泥質岩地域の浸透水は非炭酸カルシウム型に分類された。雨水は非炭酸カルシウム型であることから、浸透に伴い、重炭酸濃度の増加、花崗岩地域でのアルカリ金属イオンの溶解反応などが起こっていると考えられる。

(2) '97~'98の年間を通じての水質調査結果では、採取地点によって変化の様子が異なり、その場ごとの水質形成機構が重要であることを示唆している。砂岩地域・グリーンタフ地域の水質変化は、花崗岩地域やチャート地域の水質変化と比較して大きめであった。この変動は重

炭酸イオンとカルシウムイオンに由来しており、水質変動の初期過程に炭酸カルシウムが大きく関与していると考えられる。概してpHに関しては変動が小さく (標準偏差としては0.2-0.4程度)、花崗岩地域では重炭酸イオンや陽イオン濃度の変動も少なかった (おおよそ10%以内)。また、花崗岩地域では、酸化還元電位が夏高く、徐々に低下する傾向がみられた。他の成分に比較して、硝酸イオンの変化と変動が大きかった。

(3) 環境因子の一つである水温と強い相関を有する成分は、試料によってばらつきがあった。水温・気温の上昇によって生物活動が活性化して有機物の分解が促進され、酸素の消費・二酸化炭素の生産が増大し酸化還元電位・溶存酸素量の低下/重炭酸イオンの増加が見込まれる。また、水温・気温の上昇によって岩石・水反応が促進され溶存成分濃度の増加/電気伝導度の増大が見込まれる、と期待されたが、明確な変化は確認できなかった。

(4) 一方、一部の試料において、流量と強い相関を有する成分として、重炭酸イオン、pH、アルカリ土類金属イオン等が負の相関を、塩化物イオン、硫酸イオン、硝酸イオン等が正の相関を示す成分として挙げられた。浅層地下水だと反応時間が短く、溶解変化は小さいためであろうか、水量の影響が大きいようであった。これは、流量の増大により雨水による希釈がおり、溶存成分濃度の低下として重炭酸濃度の低下/pHの低下が観測されたと考えられた。また、塩化物イオン・硫酸根の増加によっても、化学平衡から重炭酸濃度の低下/pHの低下が期待された。

(5) 以上のことから、水質の多様性は反応物質 (地質) によるが、浅層地下水においてその変化に一番影響を与える自然環境要因としては浸透水量と考えられる。

(6) 野外において地下にしみ込んだ水の採取法として、湧水地点での採取、深度の異なる井戸水の採取、集水域の小さい源頭での水採取等を用いて調査してきた。今後は、新しいトレンチ・崖での採取、深度別分画土壌からの水分抽出等を行うと同時に、一断面における水質の鉛直連続的变化を検討する予定である。

文 献

- 海老瀬潜一(1996) 屋久島溪流河川の晴天時・洪水時水質への酸性雨の影響。環境科学会誌, **9**, 377-391.
- 千木良雅弘(1988) 泥岩の化学的風化—新潟県更新統灰爪層の例—。地質学雑誌, **94**, 419-431.
- 地質調査所(1978) 地球化学的試料の化学分析法 2. 520-523.
- 半谷高久(1960) 水質調査法。丸善, 48-53.
- 原 宏(1992) わが国の酸性雨の現状。環境と測定

- 技術, **19**, 60-74.
- 平田健正・村岡浩爾(1988) 森林域における物質循環特性の溪流水質に及ぼす影響. 土木学会論文集, **399**, II-10, 131-140.
- Hirata, T and Muraoka, K.(1988) Seasonal change of streamwater chemistry in Tsukuba experimental forest land. *Japanese J. Limnol.*, **49**, 1-9.
- 石塚和裕(1992) 酸性降水物に対する土壌緩衝能の実態と評価. 森林立地, **34**, 26-35.
- 金井 豊・関 陽児・上岡 晃・金沢康夫・月村勝宏・濱崎聡志・中嶋輝允(1998) 水と地表物質との相互作用による水質について-福島・茨城県における湧水・地表水の調査例-. 地調月報, **49**, 425-438.
- 加藤武雄・飯沢 正(1976) 農林省釜淵森林理水試験地1号沢の融雪期における水質について. *Japanese J. Limnol.*, **37**, 93-99.
- 気象庁(1999) 地域気象観測資料. 気象庁観測部観測課統計室.
- 岡本玲子・大嶋秀雄・山口武則・尾崎保夫・川上一夫・藤井国博(1992) 筑波地区における降雨の化学的性状に関するモニタリングデータ(1985~1990). 農業環境技術研究所資料第13号.
- 岡崎正規(1991) 土壌酸性化プロセスと土壌中和能. 環境と測定技術, **18**, 52-61.
- 岡崎正規(1994) 酸性雨4 酸性降水物によって土壌はどうなるか. 日本土壤肥料学雑誌, **65**, 215-220.
- 佐々木重行・高木潤治・西尾 敏(1991) 福岡県の山間部における降水および溪流水のpHと数種の成分について. 森林立地, **33**, 1-7.
- 関 陽児(1998) 土壌・風化帯の形成と水質変化. 地調月報, **49**, 639-667.
- 鈴木啓助(1996) 温暖積雪地における溪流水質変動. 地学雑誌, **105**, 1-14.
- 田中 正・山崎 崇(1985) 森林小流域の水循環過程における水質特性—多摩丘陵源流域を例として—. *ハイドロロジー*, **15**, 21-32.

(受付: 1999年5月21日; 受理: 1999年6月17日)