

東京大学大学院新領域創成科学研究科

環境学専攻自然環境コース

平成 17 年度

修士論文

## 真間川の水質と流域の人間活動との関係

**Relationship between Water Quality and Human Activities  
in the Mamagawa River, Tokyo Metropolitan Area**

2005 年 9 月 修了  
指導教員 大森 博雄 教授

36774 丁 長梅

## 目次

### 第1章 はじめに

- 1-1 研究の背景
- 1-2 既往研究
- 1-3 本研究の目的

### 第2章 研究対象地域の概要

- 2-1 真間川流域の位置
- 2-2 真間川流域の地形・地質
- 2-3 真間川流域の土地利用
- 2-4 真間川流域の浄化施設

### 第3章 調査方法

- 3-1 調査地点及び採水時期
- 3-2 野外調査方法
- 3-3 水質分析方法
- 3-4 GIS による土地利用解析方法
- 3-5 流量データ

### 第4章 調査・分析結果

- 4-1 真間川流域の土地利用の経年変化
- 4-2 水質分析結果とデータの信頼度
  - 4-2-1 EC と TMI との関係
  - 4-2-2  $\text{HCO}_3^-$  の実測値と計算値との関係
  - 4-2-3 太田の水質データとの比較
- 4-3 真間川流域の水質と土地利用
  - 4-3-1 国分川流域の水質と土地利用
  - 4-3-2 大柏川流域の水質と土地利用

### 第5章 考察

- 5-1 流量とイオン濃度・負荷量との関係
- 5-2 真間川流域の水質の特徴
- 5-3 真間川流域の土地利用の特徴

#### 5-4 真間川流域の水質と土地利用の関係

##### 5-4-1 国分川における水質と土地利用との関係

##### 5-4-2 大柏川における水質と土地利用との関係

##### 5-4-3 真間川全流域の水質と土地利用との関係

#### 5-5 真間川の水質形成過程

### 第6章 まとめ

### 謝辞

### 引用文献

## 第1章 はじめに

### 1-1 研究の背景

高度経済成長期以降急速に拡大した東京都市圏は、既存市街地における高密度化および都市近郊の台地や丘陵地の都市的土地利用によって特徴づけられ、現在もこの傾向は続いている（杉盛・大森，1996）。特に、都市化地域の中小河川流域における森林・畑地の住宅・商業・工業地等への土地利用の変化は、土地利用分布を複雑化させるとともに、それまで生活用水や農業用水として利用されていた多くの河川の流量や水質を大きく変化させ、飲料水や用水としての使用を不可能にし、水辺の環境悪化をも引き起こした。

上記のような都市河川の水環境悪化の中で、河川水的环境学的性格は「量」と「質」という2つの視点から検討されてきた。量的な視点からは、たとえば、市街地の拡大は不透水域の増加の原因となり、その結果、河川の洪水ピーク流量の増加、流出時間の短縮化による大規模な洪水を発生させるが、逆に、浅層地下水量を減少させ、湧水やそれらを水源とする都市河川の枯渇を引き起こしていることが知られている。質的な視点においては、工業地化や住宅地化は雑排水の河川への流入量を増加させ、河川水の汚濁を引き起こしている。土地利用は人間活動の種類と活動度を表す重要な指標と考えられるが、こうした都市化に伴う土地利用の変化が、河川水の量や質を変化させ、結果として、良好な水辺や自然地の喪失、土壤汚染や廃棄物の不法投棄、さらには水害の発生などの水環境あるいは都市環境の悪化を引き起こしているといえることができる。

本研究が対象とした真間川は典型的な都市河川であり、高度成長期以後、洪水防止のため放水路建設などにより治水対策は進捗した。しかし、急激な都市化に下水道整備が追いつかず、工場や家庭からの排水が直接河川へ排水されている場合が多い。このため、真間川水系の水質汚濁が進み、毎年県下ワースト5に入る状態が続いている（千葉県都市河川課からの聞き取りによる）。環境省が2004年12月に発表した2003年度の河川汚濁状況によると、真間川流域の（派川）春木川は全国ワースト1で、国分川はワースト5となっている。1970年代以降、汚濁（溶存有機物量）の指標である生物学的酸素要求量（BOD）や化学的酸素要求量（COD）、溶存酸素（DO）や浮遊固形物質（SS）等に対する継続的な調査と水質汚濁対策がとられてきたが、水質改善は未だ遅れており、環境基準を上回る濃度を示す地点が多い。また、溶存無機イオンについては実態も明らかにされていない。

### 1-2 既往研究

都市河川の河川水質（溶存物質濃度組成）の形成過程が本格的に研究されるようになったのは、河川の水質汚染が深刻な環境問題として取り上げられるようになった1960年代以降である。

河川水質に関しては、「水質の時間変動」と「水質の空間的差異」という2つの視点から検討されている。前者に関しては、たとえば、溶存物質濃度は、降雨などによる出水に



ともなう変化し(半谷・安部、1972、桜井、1975；小倉・宇田川、1978；寺尾ほか、1985；新井ほか、1987；田淵ほか、1991；永井、1991、1992、井上・小倉、2000 など)、増水時と減水時とでは同じ流量でも濃度が異なる‘履歴現象’ (市川、1980；Hoare and Rowe, 1992 など) や出水に伴う水質濃度の増加は地表面や樹木に沈積・付着した汚濁物質の‘洗い出し’に起因することなどが指摘されている(鈴木・川島、1979；岡田、1990 など)。また、日常生活や工場の稼働状態等の時間変化に伴う流量や水質の日変化や週変化も広く知られている(半谷・安部、1972、小倉ほか、1976；小倉、1978、1980；田中・小倉、1978；鈴木・川島、1979；市川、1980；小倉・宝月、1981；岡田、1990 など)。

本研究の研究課題は後述するように、流域ごとに異なる人間活動(土地利用)と水質との関係の検討で、後者(水質の空間的差異)の研究に属する。この視点からの研究には、岩石-水相互作用などの自然過程から論じられる場合と流域の土地利用との関係などの人為過程から論じられているものがある。

自然過程に関しては、たとえば、桜井ほか(1998)は、北アルプス東麓の河川水の無機イオン濃度と地質との関係を検討し、堆積岩地帯と花崗岩地帯における河川水質が異なり、化学的風化に対しての抵抗性が高い鉱物からなる花崗岩分布地帯では、堆積岩分布地帯に比べて総てのイオン濃度が低く、特に、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ で顕著があることを指摘している。また、東田ほか(2001)は沖縄島の湧水と河川水の化学的特徴と同位体組成について検討し、高い濃度を示す  $\text{Ca}^{2+}$  や  $\text{HCO}_3^-$  は水(雨水)-岩石相互作用により琉球石灰岩から溶出し、集落近くでは  $\text{NO}_3^-$ -N が高くなることなどを指摘している。さらに、Anazawa and Ohmori (2001, 2005)は、乗鞍岳およびその周辺の河川をとりあげ、溶存物質の約 45%は酸性雨の影響下での水-岩石相互作用により生成され、約 20%は海水起源のイオンであり、約 10%が生物(森林)起源であることなどを明らかにしている。

一方、流域の土地利用との関係などの人為過程から水質を論じているものは、農地からの排水や生活排水との関係から水質を検討しているものが多い(小倉・宇田川、1978；寺尾ほか、1985；鶴巻、1992；黒田・田淵、1996)。たとえば、小倉(1983)は大栗川を取り上げ、(当時は)都市化の影響よりも農業排水や森林からの窒素成分の流出の方が強く河川水質に影響を与えたことを指摘している。また、小川ほか(1998)は、関東平野西部の台地において台地面ごとに水質の特徴を検討し、台地面ごとに農地からの肥料、生活排水、市街地の影響を受けた水質を示すことを指摘している。田淵(1999)は人口密集地帯および多肥の畑地、果樹園は地下水や河川の硝酸態窒素を上昇させるが、林地からの窒素の排出は少ないので、周辺の林地の面積率を保持し、畑地の面積率とのバランスを取ることが重要であると報告している。さらに、井上・小倉(2000)は長野県野辺山高原を研究地域に取り上げ、農業活動の影響が強い地点で  $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  といった成分が高濃度で検出されたことを指摘した。篠村(2004)は湧水と土地利用との関係について検討し、流域の土地利用ごとに特有の溶存物質の濃度組成があることを指摘している。

なお、後述するように、大森(2003)および太田・大森(2004)は、河川水の物質濃度の不均一性を考慮した測定方法を考案し、多くの水流が合流する実際の河川において、従来の測定結果よりも高精度に物質収支を計測している。

### 1-3 目的

前節で述べたように、流域の土地利用との関係などの人為過程から水質を論じているものは、農地や住宅地などの河川流域の特定の土地利用と水質との関係を論じている場合が多い。特に、窒素、磷化合物による河川水質の汚濁の研究が多く、水質（溶存物質）の主要構成物質であり、かつ、人間活動（土地利用）を敏感に反映する無機イオンに関する研究は少ない。それゆえ、都市河川における無機イオン組成と流域内の人間活動の指標である土地利用との関係についての体系的な研究はほとんどみられないといえる。

急激な都市化が進行している真間川流域でも、深刻な水質汚染が引き起こされ、後述のように、BOD や COD などの有機物汚濁についての調査や対策は進んでいるが、無機イオン濃度の実態や流域の土地利用との関係は検討されていない。無機イオン組成は河川水の水質特性を示し、流域の人間活動の情報を大量に含んでいると同時に、流域間の違いや流下に伴う変化は水質の物理・化学・生物学的形成過程を内包していると考えられる。すなわち、無機イオン組成の形成・変化過程を把握することによって、河川水の水質が流域からの流出過程や流下過程でどのように形成・変質されていくか、人間活動がどのように関与しているかを理解できると期待される。そこで本研究では無機イオンを対象に、真間川の水質の実態を把握するとともに、流域の土地利用と水質との関係を検討し、水質の形成過程を考察したいと考える。

## 第2章 研究対象地域の概要

### 2-1 真間川流域の位置

真間川は千葉県西端の南部、江戸川左岸の下総台地西部に位置し、首都圏近郊の市川、松戸、鎌ヶ谷、船橋の4市を流域とする。流路の総延長は 37.6km、流域面積は 66km<sup>2</sup> である(図1)。国分川水系と大柏川水系の2水系からなり、東京湾に注ぐ千葉県の代表的な都市河川で、一級河川に指定されている。

河川管理上の真間川は、江戸川からの分派点に始まり、市川市街を経て、国分川合流点、大柏川合流点を経て東京湾に至る約9kmの区間である(図1)。しかし、河川水の流れからみると、真間川は国分川から根本水門を経て江戸川に流入する流系と大柏川から三戸前橋下流の真間川水門を経て東京湾に流入する流系とに分けられる。ただし、江戸川との分派点から国分川合流点までの真間川の河川区間は、2001年以降、実質的に真間川下流の浄化を行うため、江戸川の水（根本水門直近の江戸川のBODは2～4mg/L；市川市環境保全課、1988、1993など）を頻繁に流下（逆流）させることが多く（江戸川の水位が高いの

で、自然逆流。市川市環境政策課、2002、2003 など)、導水路的役割を果たしている。本研究では、この河川区間を‘江戸川導水路’と呼び、国分川合流点から東京湾にいたる真間川とは区別する。真間川の実態的な本流である国分川（流域面積約 30.4 km<sup>2</sup>）は春木川・紙敷川の水を集め、中流で派川春木川を分派し、再び派川春木川と合流した後真間川本川と合流する。大柏川（流域面積約 26.7 km<sup>2</sup>）は二和川・中沢川・根郷川の水を集め、途中湧水起源の大柏川水路の水を加えて真間川本川に合流する。

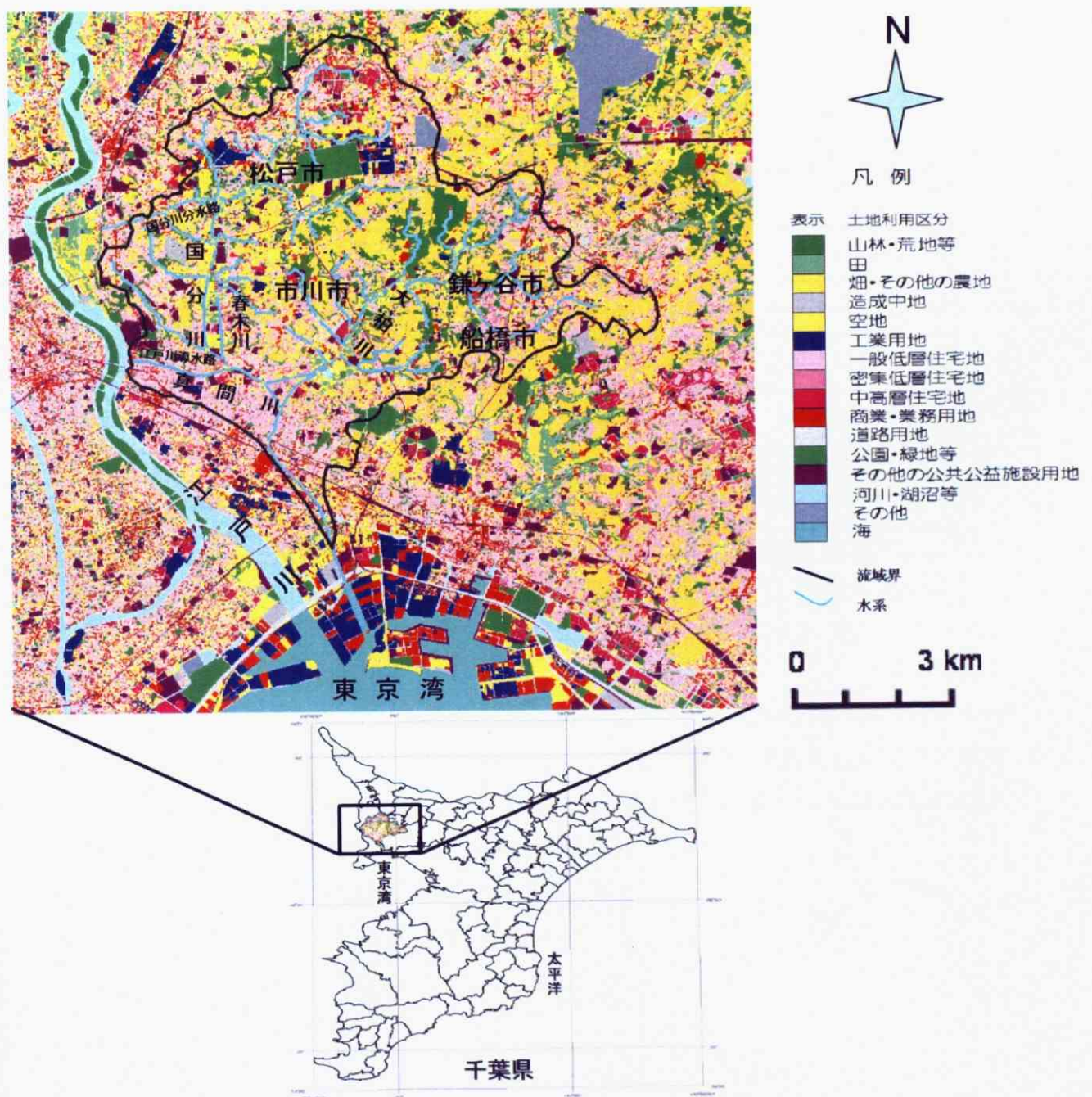


図 1. 調査対象地域。

東京に大水害を引き起こし、都市水害の走りとなった 1958 年 9 月の狩野川台風（台風 22 号）時には、真間川流域も浸水家屋 5000 戸以上の災害を受け、これを契機として流路の拡幅や流路変更をも含む大規模な河川改修が着手された（真間川流域研究会、1983；千葉県真間川改修事務所からの聞き取りによる）。真間川流域における主な水害統計を表 1 に示す。改修工事の一環として建設されていた国分川分水路（図 1：国分川から江戸川の支流・坂川への放水路）のトンネル工事現場では、1991 年 9 月に、台風 18 号と秋雨前線による豪雨・出水（松戸における降り始めからの総雨量：214 mm）に起因する溢流水のトンネル内への流入があり、死者 7 名を出す‘災害・事故’が発生している（大森、1993）。

表 1. 真間川流域における大水害。

被災年	被災原因	降水量		被災規模	
		累計 (mm)	時間最大 (mm/h)	浸水家屋 (戸)	浸水面積 (ha)
昭和33年 9 月	台風22号 (狩野川台風)	332	60	5016	736
昭和36年10月	台風24号	138	27	1486	—
昭和41年 6 月	台風 4 号	99	—	1812	383
昭和56年10月	台風24号	202	60	4880	677
昭和57年 9 月	台風18号	148	23	1095	422
昭和61年 8 月	台風10号	175	28	2967	414
平成元年 8 月	台風17号	110	34	1967	92
平成 5 年 8 月	台風11号	229	56	2382	400
平成 8 年 9 月	台風17号	265	31	306	112
平成12年 7 月	台風 3 号	268※	51	41	—
平成15年10月	集中豪雨	56※	54	155	—

※印の降水量は、市川市のデータによる。（千葉県真間川改修事務所、2003 による）。

## 2-2 真間川流域の地形・地質

真間川流域の地形は、標高 20～30m 程度の平坦な下総台地面、台地を刻む樹枝状谷の谷壁斜面および谷底に広がる標高 0～5m の沖積低地からなる（図 2）。地質構造は図 2 に示すように、台地部は上位から関東ローム層、凝灰質粘土層（常総粘土層）、成田層（海成砂層）からなり、低地部には粘土・砂層からなる沖積層が分布する。



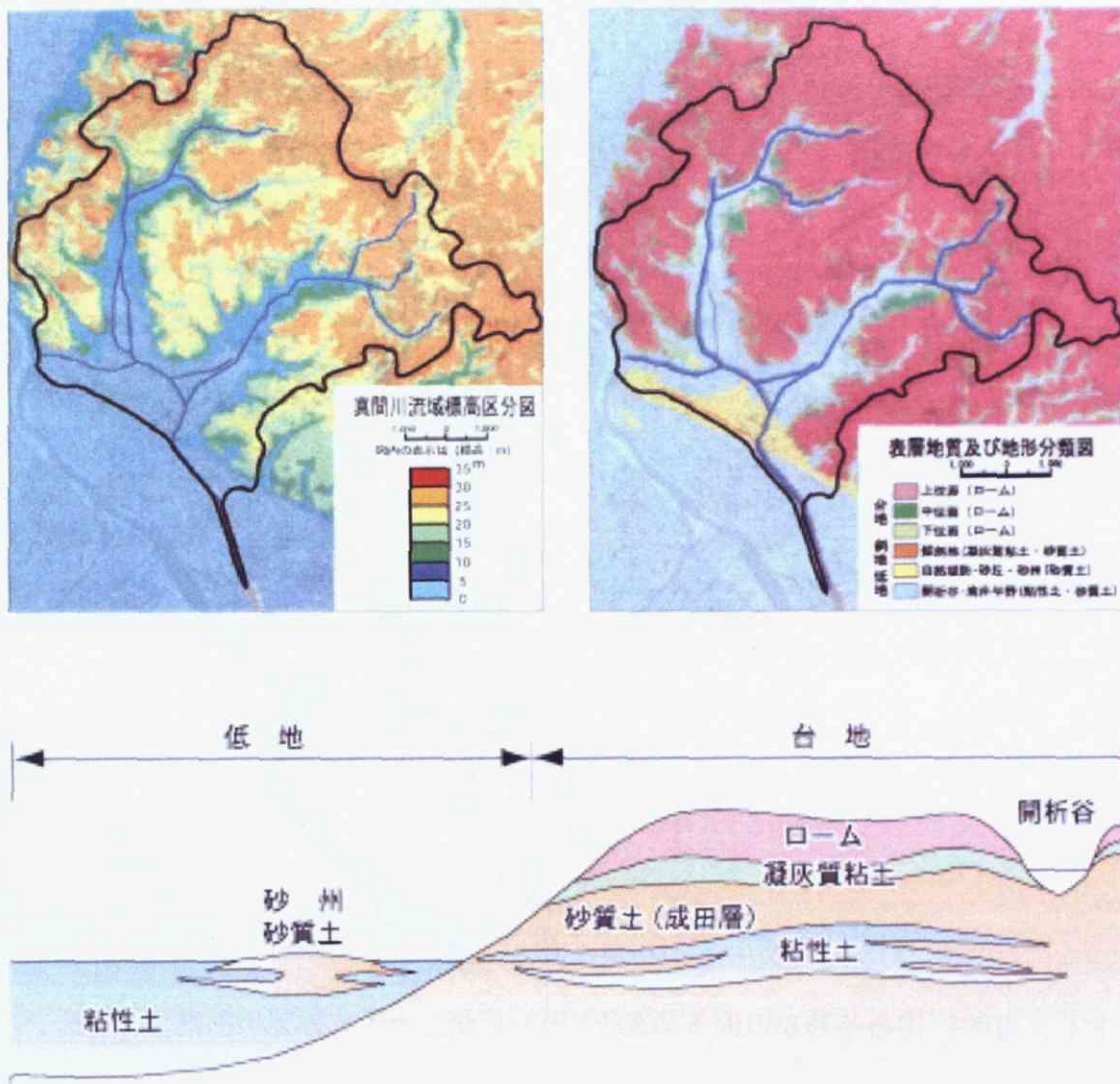


図 2. 真間川流域の地形と地質構造図 (真間川流域水循環系再生構想検討委員会 (2004)より)。

### 2-3 真間川流域の土地利用と人口

真間川流域における近年の土地利用変化は、戦前から宅地化していた砂丘地に加え、1950年代以降、上・中流部の台地上が市街化し、低地部の水田も次々にスプロール的に宅地化が進んだ。1960年代後半以降になると大規模な区画整理事業や公団住宅団地・工業団地の造成・建設等が行われ、土地利用は急速に変化した。特に高度経済成長期には、東京のベッドタウンとして大規模開発が行われ、総武線、武蔵野線や京成線、新京成線、東武野田線の沿線を中心に急激に都市化が進展し、それにとまって人口も急増した。

現在の真間川の流域には森林、畑地、水田、住宅地、商工業地、遊水地等、様々な土地利用がモザイク状に展開し、典型的な都市河川のひとつとなっている。1999年(平成11年)時点の真間川流域内の人口は447,670人である(真間川流域水循環系再生構想検討委員会(2004)による)。

## 2-4 真間川流域の浄化施設

真間川水系の水質は 1960 年代に汚濁が急速に進んだ。下水道の施設が徐々に進捗している（図 3）が、汚濁の進行はそれを上まわっている。そのため、千葉県及び関係市によりいくつかの水質浄化の取り組みが行なわれてきた。

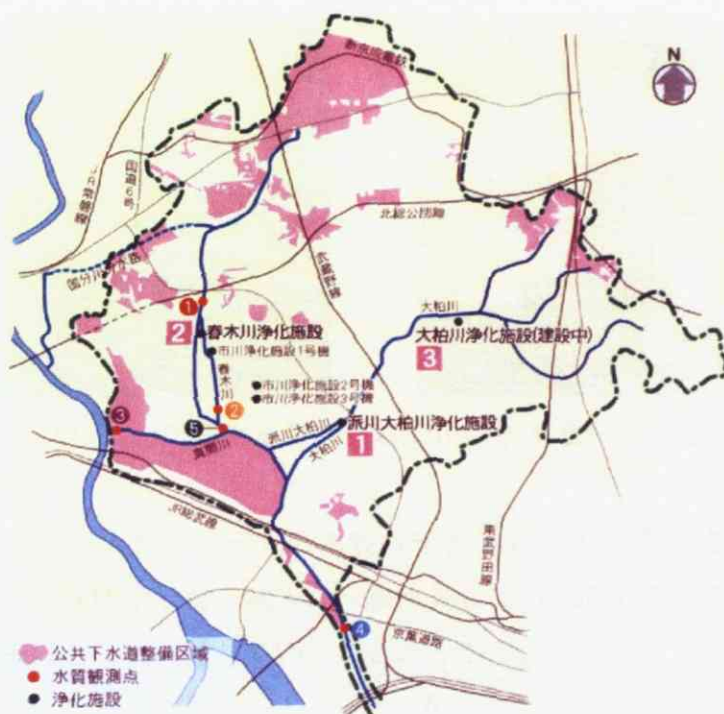


図 3. 真間川流域の下水道敷設状況（千葉県真間川改修事務所（2003）による）。

派川春木川（上図では単に「春木川」と記載。通常「春木川」というと派川春木川をさすことが多い）は、国分川からの自然分派による小規模な河川であるが、中・下流域の市街化が著しく、従来から汚濁が目立つ河川である。このため、千葉県では国分川調節池用地内に浄化試験施設を設置していたが、河川改修にともない撤去することとなり、使用濾材を（派川）春木川浄化施設（H12 完成）の濾材に使用することとなった（図 4）。



図 4. 春木川浄化施設（H12 年度完成）（千葉県真間川改修事務所による）。



また、派川大柏川の流域面積は  $1.55 \text{ km}^2$  と小規模な河川であるが、やはり中・下流域は市街化が著しく、人口の密集地となっており、真間川流域の中でも特に汚濁が目立つ河川である。このため、良好な水辺環境が求められ、上流域には親水護岸が整備された。派川大柏川にも浄化施設が建設された（H11 年度完成、図 5）。



図 5. 派川大柏川浄化施設（真間川改修事務所による）。

これらの浄化施設の流入口と放流先の水質は千葉県真間川改修事務所が月 1 回の調査をしており、結果は図 6 に示した。流入口～放流先までの BOD の値をみると、水質は良くなっており、浄化施設として機能していることがわかる。

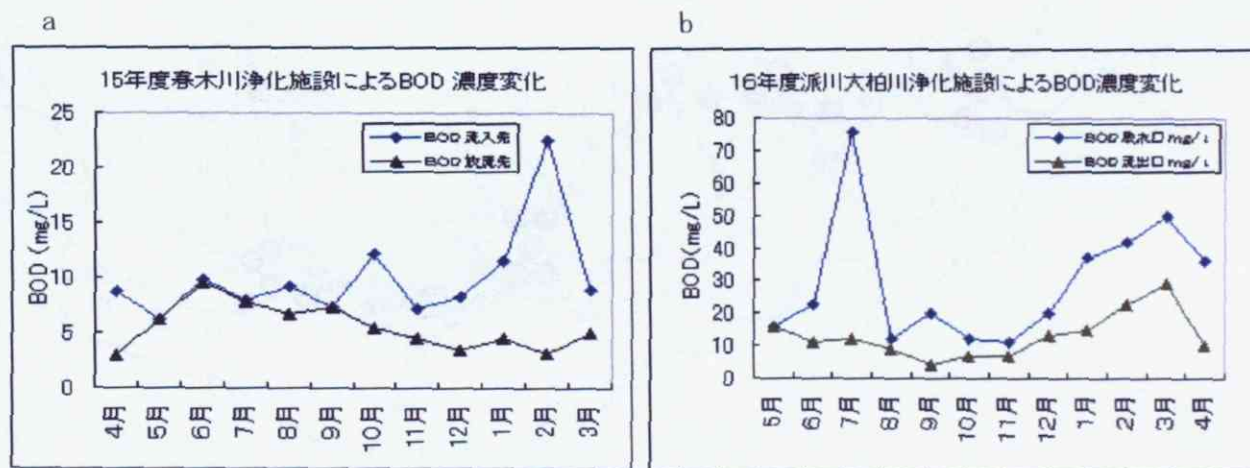


図 6. 浄化施設による BOD 濃度変化 a: (派川) 春木川、b: 派川大柏川浄化施設。

真間川水系の河川浄化対策については、BOD 値  $10 \text{ mg/L}$  が環境基準値で、これ以下を目標にして、これまで浄化施設を設置したほか、ヘドロなどの浚渫を真間川や国分川などにおいて実施してきた。さらに現在、市川市の大柏川上流部において日量 36,000 トンの処理能力を持つ浄化施設を建設し、真間川水系の水質目標に向け浄化対策を進めているが、目標値に達していない地点がほとんどである（真間川改修事務所からの聞き取りによる）。

### 第3章 調査方法

真間川流域を幾つかの支流域に区分し、支流との合流点において、合流前の本流、支流、合流後の本流の水質、および、各調査地点より上流域の土地利用を調査・分析した。調査地点、野外調査、室内での水質分析、土地利用解析方法等は以下になる。

#### 3-1 調査地点及び採水時期

真間川流域内の 51 地点で水質調査、水サンプルを採集した（図 7）。国分川 21 地点、大柏川 18 地点、大柏川流域の湧水 12 地点である。

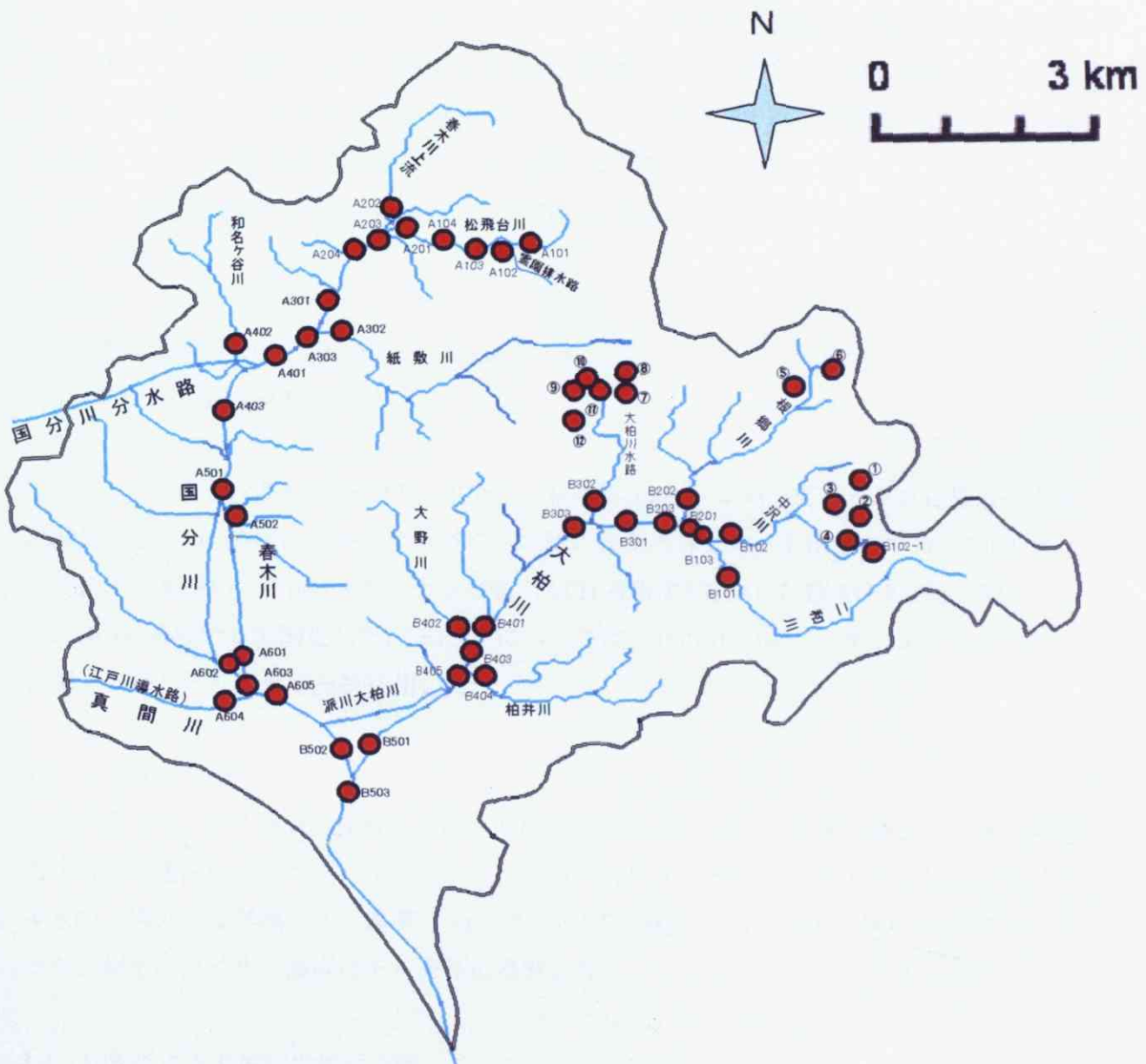


図 7. 真間川流域の水系と水質調査地点。

水質調査地点は、流域の土地利用との関係を見るために、土地利用を解析した支流との合流点において、合流前の本流、支流、合流後の本流に設けた。これらに加え、同一の水サ



ンプルにおけるイオン間の関係をみるため、いくつかの湧水や支流、および、本流において合流点と合流点の間の中間地点に調査地点を設けた。現地調査・採水は、いずれの地点でも冬季に行った。調査日は、国分川は2003年12月20日及び2004年3月16日、大柏川は2004年11月6日（太田データ）、2004年12月4日、18日である。

### 3-2 野外調査

河川水の水質調査に関しては、河川水の物質濃度の横断面における不均一性を考慮した測定方法が必要であることが指摘されている（大森、2003；太田・大森、2004）。特に、多くの支流が合流する実際の河川において流下方向への水質の変化過程を検討する場合には、合流点の下方での調査・採水が必要となるが、調査・採水にあたっては、横断方向での水質の不均一性に十分注意することが求められている。本研究では、横断方向において水質が均質になっている地点を確認して、河川横断面中の1点で測定・採水した。

図7の各調査地点行った野外調査での作業・測定項目は以下のようになる。

- 1、水温
- 2、pH
- 3、電気伝導度（以下 EC (Electric Conductivity) とする）
- 4、アルカリ度（ $\text{HCO}_3^-$  濃度）
- 5、100ml の採水

1～3について、東亜 DKK WM-22EP 電気伝導率・pH 計を用いて、バケツに採水した後測定した。EC の値は標準温度（25℃）の値に自動換算した。4 については、50ml メスシリンダーを用いて、pH4.8 アルカリ度を HACH 社製 DIGITAL TITRATER TEST KIT により、 $\text{HCO}_3^-$  濃度として測定した。また 5 については、100ml のポリエチレンびんに満水に密閉して持ち帰り、水質分析に用いた。

### 3-3 水質分析方法

実験室では、野外調査で採取した試水を細孔径  $0.20\mu\text{m}$  のフィルタで濾過した後、島津製作所製高速液体イオンクロマトグラフィー LC-VP シリーズ (HPLC) を用いて、サンプル水の7種の主要無機イオン濃度（ $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ ）の定量を行った。測定したイオン濃度はモル当量に換算した。

### 3-4 GIS による土地利用解析方法

流域内の各支流と採水地点の上流域は標高データから求めた水系流域界に囲まれた範囲とした。なお、自動水系抽出では、特に下流部で、現実の水系と異なった水系が抽出される部分が多い。本研究では、最終的には、千葉県真間川河川改修事務所および市川市、松戸市、鎌ヶ谷市作成の水系分布図・下水道分布図をもとに水系および流域を画定した。

土地利用と水質との関係を見るために取り上げた流域は、国分川で、松飛台川上流、春木川上流、紙敷川、和名ヶ谷川、派川春木川の5流域である。大柏川においても、二和川、中沢川、根郷川、大柏川水路、大野川、柏井川の6流域を取り上げた。なお、「合流後の本流」の水質に対応する流域は、合流点より上流側の流域全体となる。したがって、1合流点において、「3個の水質、3流域の土地利用」データを取得したことになる。

流域の土地利用は、国土地理院発行の細密数値情報（10m メッシュ土地利用・首都圏版、1974 年版、1979 年版、1984 年版、1989 年版、1994 年版）をデータとして用いた。GIS ソフト（TNT mips 6.9）を用いて、真間川流域の土地利用構成比率を算出した。

なお、国土地理院の細密数値情報では 16 種類の土地利用項目が設定されている。本研究では、水質に同様の影響を与えると予測される土地利用はひと括りとして、以下のよう  
に、山林・荒地、農業用地、造成地・空地、工業用地、低層住宅地、高層住宅地、商業・業務用地、公園・緑地、その他の9種類に再分類した(表2)。

表 2. 土地利用項目の再分類。

細密数値情報での分類		本研究の分類
コード	土地利用分類	
1	山林・荒地	山林・荒地
2	田	農業用地
3	畑・その他の農地	
4	造成中地	造成地・空地
5	空地	
6	工業用地	工業用地
7	一般低層住宅地	一般低層住宅地
8	密集低層住宅地	
9	中高層住宅地	中高層住宅地
10	商業・業務用地	商業・業務用地
12	公園・緑地	公園・緑地
11	道路用地	その他
13	その他の公共公益施設用地	
14	河川・湖沼等	
15	その他	

\* 文字の色は以後に使用する記号の色に対応する。

### 3-5 流量データ

真間川はH鋼の側壁を用いた改修工事が行われている流路区間が多く、かつ、側壁の高さが3~4mで、水質測定地点での流量測定（横断面積と流速）は困難であった。本研究では、市川市役所環境清掃部環境調整課、松戸市役所環境保全課、鎌ヶ谷市役所環境保全課から提供された河川水質通年調査データ（各市の水質測定項目は流量とpH、DO、BOD、COD、SSなど）の流量測定値を用いた。本研究の水質調査地点中、流量測定地点と一致する17地点の流量から計算した水質調査地点の流量と無機イオンとの関係を検討する。

## 第4章 調査・分析結果

### 4-1 真間川流域の土地利用の経年変化

真間川流域の1974-1994年の20年間の5年間隔の土地利用構成比率の経年変化をみると(図8、表3)。山林・荒地の面積割合は1974年の12%から1994年の9.9%に減少する。農業用地も29.7%から26.1%に減少し、造成地・空地も12.5%から10.5%に減少する。工業用地は2.4%から3.1%に増加傾向が見られ、低層住宅地は23%から26.4%に、高層住宅地も1.7%から2.3%に、また、商業・業務用地も3.4%から5.1%に増加する。公園・緑地も3.4%から4.6%と増えるが、その他は11.8%、10.8%、11.4%、11.7%、11.9%とほぼ横ばいである。

全体的に見ると農業用地、山林・荒地および造成地・空地の減少が大きく、それぞれの減少率は、3.67%、2.11%、2.06%となっている。一方、低層住宅地、商業・業務用地および公園・緑地は顕著な増加を示し、それぞれの増加率は、3.38%、1.75%、1.25%を示す。

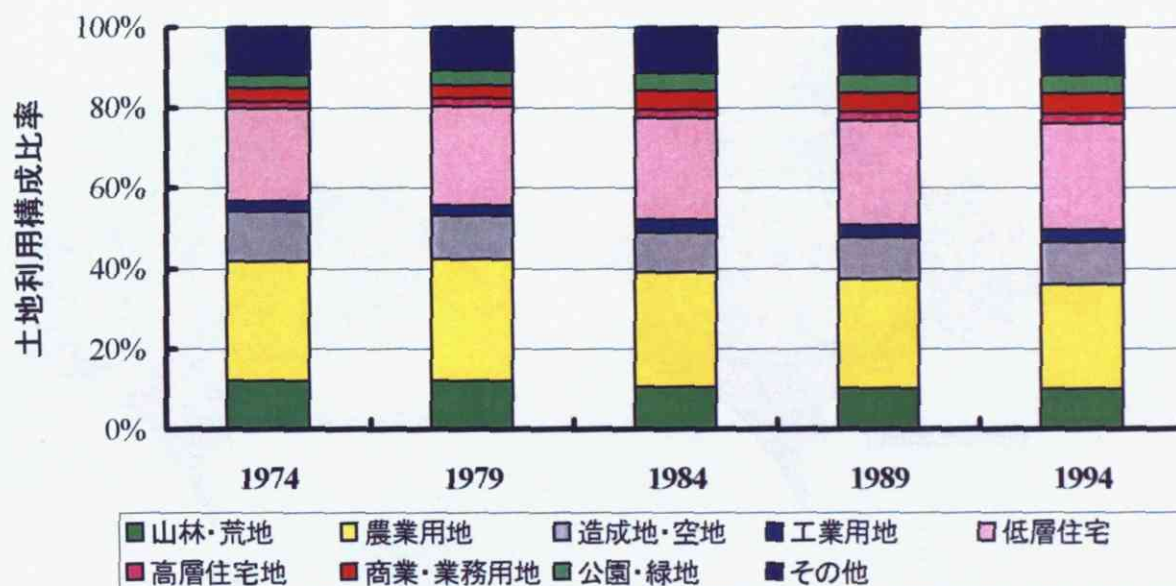


図8. 真間川流域の土地利用構成比率の経年変化。

表3. 真間川流域の5年間隔の土地利用構成比率の経年変化。

	1974	1979	1984	1989	1994	94-74増減
山林・荒地	0.120	0.120	0.106	0.102	0.099	-0.021
農業用地	0.297	0.303	0.283	0.273	0.261	-0.037
造成地・空地	0.125	0.108	0.101	0.102	0.105	-0.021
工業用地	0.024	0.025	0.031	0.031	0.031	0.007
低層住宅	0.230	0.246	0.252	0.260	0.264	0.034
高層住宅地	0.017	0.019	0.020	0.022	0.023	0.006
商業・業務用地	0.034	0.034	0.047	0.048	0.051	0.017
公園・緑地	0.034	0.036	0.045	0.046	0.046	0.012
その他	0.118	0.108	0.114	0.117	0.119	0.001



真間川流域の 1974～1994 年の 5 年間隔の土地利用の経年変化を図 9 に示した。国分川流域では都市化が著しく、大柏川流域には大規模な緑地や農地が広く残されている。

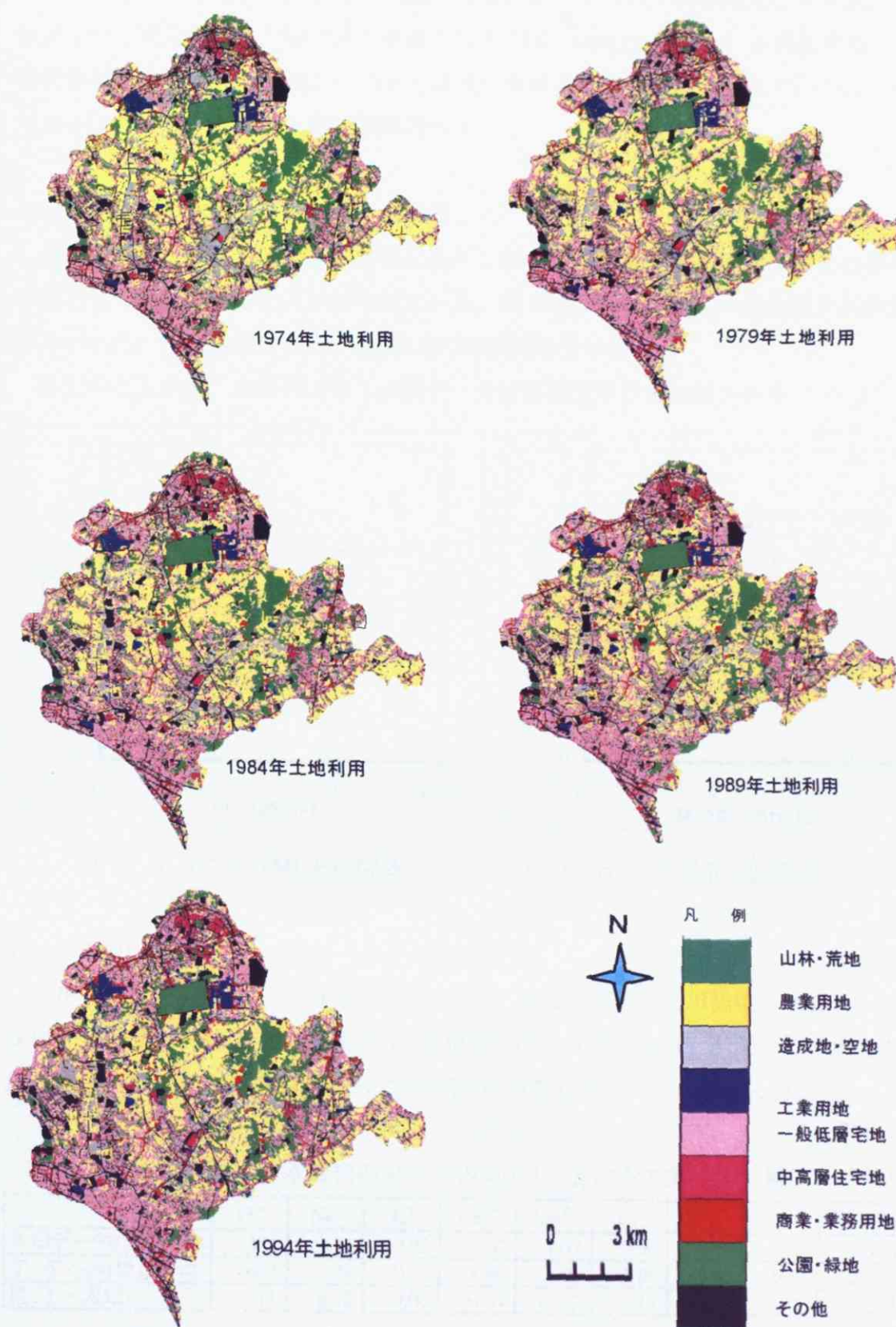


図 9. 真間川流域における土地利用変化。

## 4-2 水質分析結果の表示方法とデータ信頼度

### 4-2-1 EC と TMI との関係

イオン濃度の測定値の信頼性を確認するために、51 地点の測定結果とイオンクロマトグラフィーで測定された主要イオン総量（以下 TMI (total major ions) と表記する）との回帰分析を行った(図 10-a)。EC と TMI とは強い相関を持つことが知られているが、相関係数は 0.941 と、有意な相関・回帰関係を示す。

### 4-2-2 $\text{HCO}_3^-$ の実測値と計算値との関係

通常の河川水は電氣的平衡の状態にあり、陽イオン総量と陰イオン総量との差は  $\text{HCO}_3^-$  の量として把握できることが知られている。図 10-b には、 $\text{HCO}_3^-$  の実測値と計算値との関係を示した。相関係数は 0.80 で、有意な相関関係を示す。

以上のことから、本研究で扱う水質データは信頼できると判断される。

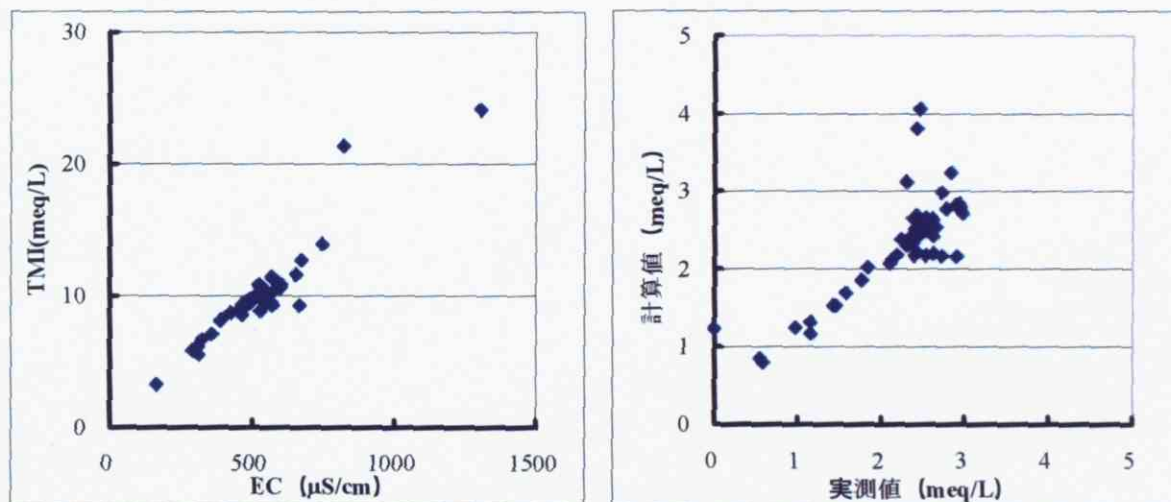


図 10. a: EC と TMI との関係、 b:  $\text{HCO}_3^-$  の実測値と計算値との関係。

### 4-2-3 太田のデータと丁のデータとの比較

太田 剛氏が調査した 2004 年 11 月 6 日～7 日における大柏川流域の水質データの内、本研究（2004 年 12 月 4 日および 18 日調査）の水質調査地点とが同一の 8 地点の水質を比較する（表 4）と、 $\text{HCO}_3^-$ を除いては両者に有意な差はみられなかった。

表 4. 太田のデータと本研究のデータ(8 地点)における主要イオン濃度の平均値の差。

	EC	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	TMI
太田データ8地点平均	451	1.21	0.09	2.00	1.07	0.96	0.49	0.64	1.80	8.25
丁 データ8地点平均	461	1.34	0.16	1.96	1.05	1.09	0.40	0.64	2.30	8.93
差(丁-太田)	11	0.12	0.06	-0.04	-0.02	0.13	-0.08	0.00	0.50	0.68

     : 有意水準5%のt-検定で有意

測定単位：EC;  $\mu\text{S/cm}$ , イオン濃度; meq/L。



ちなみに、イオン種ごとの関係をみると（図 11）、太田のデータで高い値を示した地点は本研究のデータでも高い値を示していることがわかる。

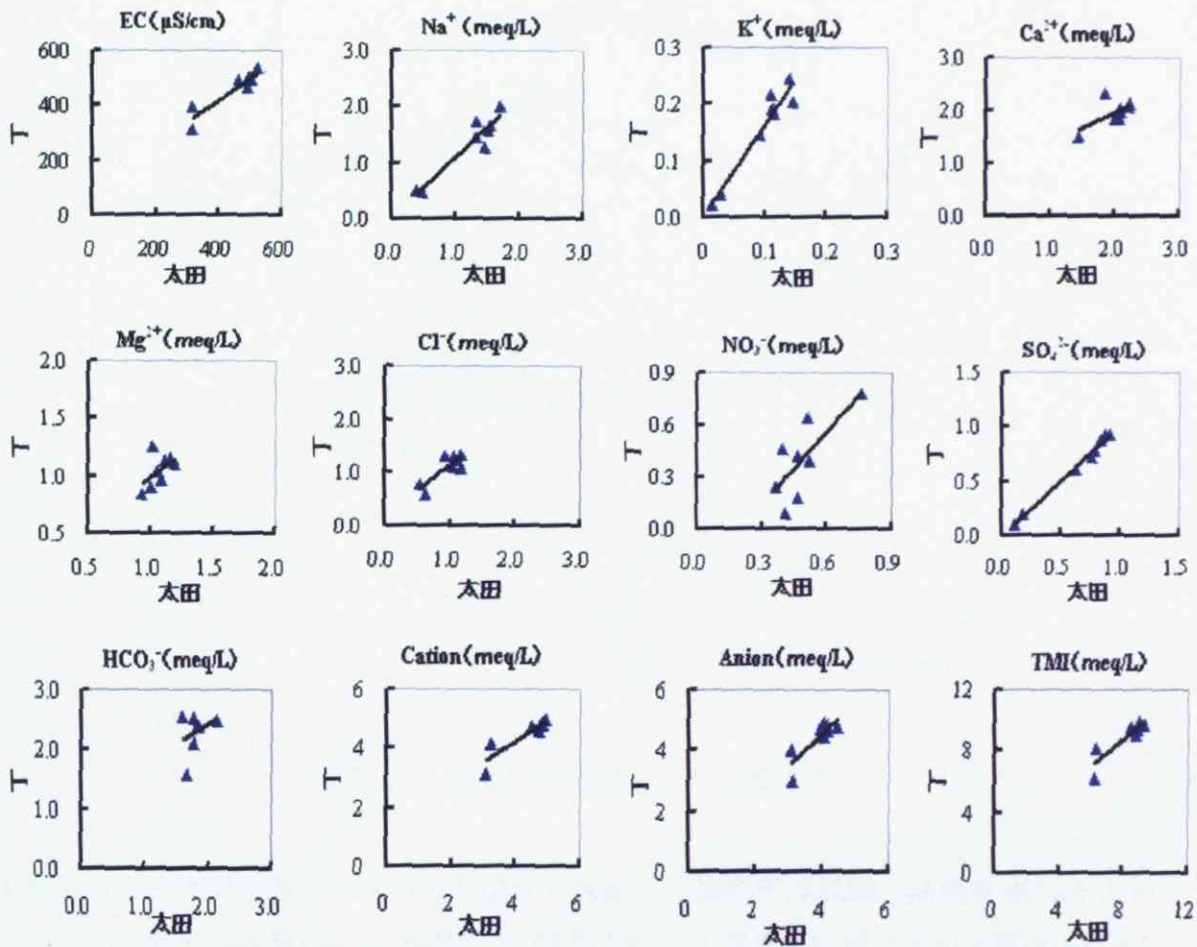


図 11. 太田のデータと本研究（丁）のデータとの比較。

本研究の水質調査時期は冬季に行ったが、これらのことから、同一季節内では調査時期の違いは捨象できると判断される。

#### 4-3 真間川流域の水質と土地利用

##### 4-3-1 国分川流域の水質と土地利用

国分川沿いの水質変化は図 12 に示した（表 5）。また、水質と土地利用との関係を検討した支流の土地利用の構成比率を図 13（表 6）に示した。

国分川では上流で EC が高く、下流で低くなる。また、ヘキサダイアグラムの形は合流地点で変形し、イオン組成が流下にともなって変化することがわかる。

国分川の水質の特徴をみると、以下のようになる。

\* 松飛台川上流の面積は  $2.32\text{km}^2$ 、EC は  $1307\text{ }\mu\text{S/cm}$ 、水質は  $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ 型を示す。

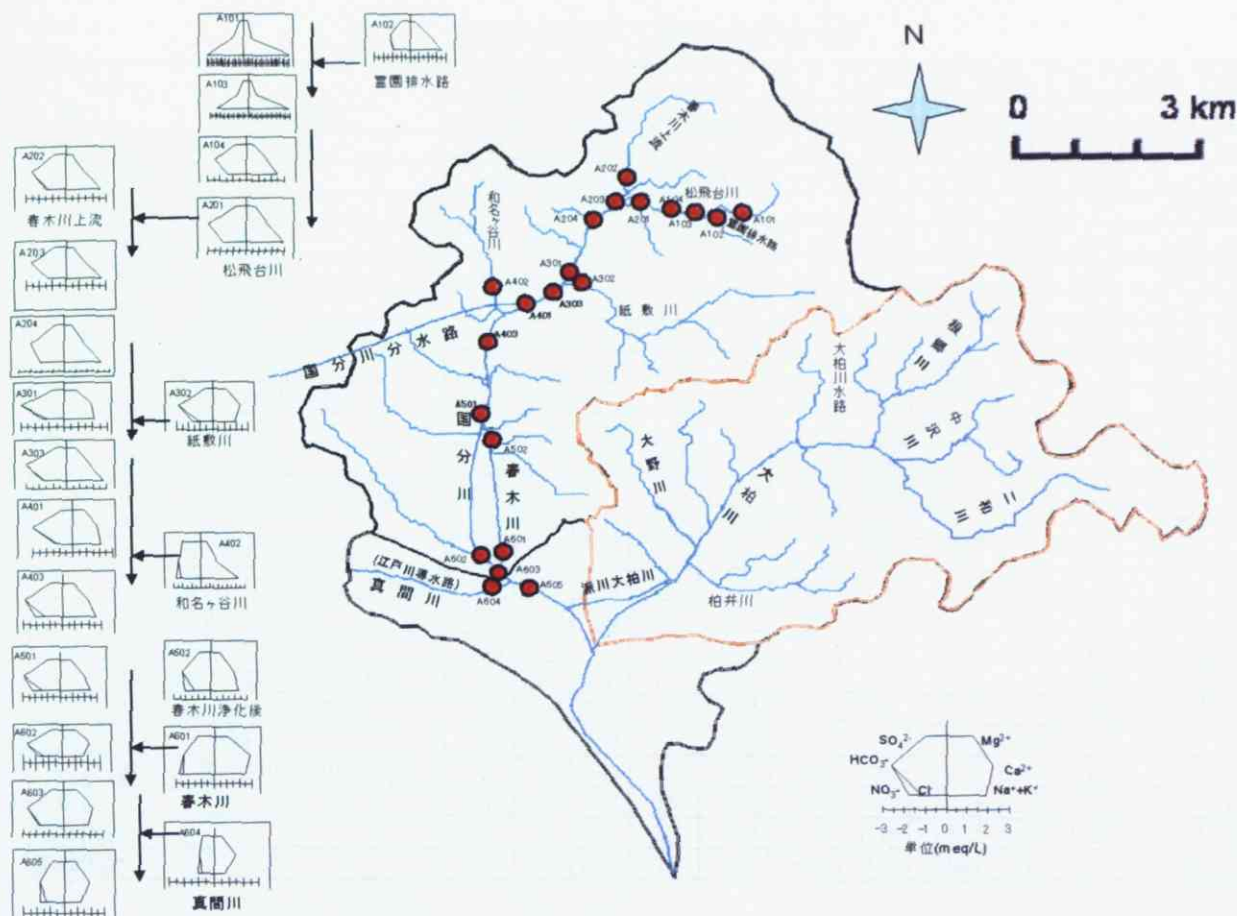


図 12. 国分川の流路沿いの水質変化。

\* 松飛台川の支流・霊園排水路の面積は  $0.2\text{km}^2$ 、土地利用は公園・緑地が 95% を占める。EC は  $586\ \mu\text{S/cm}$ 、水質は  $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^- - \text{Cl}^-$  型を示す。合流後松飛台川の水質は  $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$  型、EC は  $822\ \mu\text{S/cm}$  となる。なお、この支流は面積が小さいので、以後の統計分析・解析からは除いた。

\* 春木川の流域面積は  $3.77\text{km}^2$ 、EC は  $574\ \mu\text{S/cm}$ 、合流後 EC は  $567\ \mu\text{S/cm}$  となり、水質は  $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^- - \text{Cl}^-$  型から  $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$  型となる。

\* 紙敷川の流域面積  $6.14\text{km}^2$ 、EC は  $530\ \mu\text{S/cm}$ 、合流後の EC は  $602\ \mu\text{S/cm}$  となり、水質は  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$  型から、 $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^- - \text{Cl}^-$  型を示している。

\* 和名ヶ谷川の流域面積は  $2.37\text{km}^2$ 、EC は  $747\ \mu\text{S/cm}$ 、合流後の EC は  $578\ \mu\text{S/cm}$  となり、水質は  $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{Cl}^-$  型から、 $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^- - \text{NO}_3^- - \text{Cl}^-$  型となる。和名ヶ谷川の上流も日立化成工場からの排水の影響を受けていると考えられる。

\* 派川春木川流域面積は  $3.05\text{km}^2$ 、EC は  $674\ \mu\text{S/cm}$ 、合流後の EC は  $581\ \mu\text{S/cm}$  となる。派川春木川の水質は  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-$  型から、 $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$  型となる。

\* 国分川（須和田橋）の流域面積は  $30.42\text{km}^2$ 、EC は  $581\ \mu\text{S/cm}$  である。江戸川導水路（真間川本流：EC =  $300\ \mu\text{S/cm}$ ）との合流後の EC は  $427\ \mu\text{S/cm}$  となり、江戸川からの導水による希釈効果と判断される。

表 5. 国分川流域の各調査地点の水質。

No.	調査地点	EC μS/cm	T °C	pH	Na <sup>+</sup> meq/L	K <sup>+</sup> meq/L	Ca <sup>2+</sup> meq/L	Mg <sup>2+</sup> meq/L	Cl <sup>-</sup> meq/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> meq/L	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq/L	TMI meq/L
A101	松飛台川墓地内上流	1307	15.8	7.57	10.23	0.14	1.63	0.86	7.95	0.00	0.84	2.46	24.11
A102	霊園排水路(支流)	586	19.8	7.63	3.48	0.08	1.96	0.45	1.77	0.14	0.94	2.30	11.12
A103	松飛台川(合流後)	822	16.9	7.50	8.66	0.12	1.81	0.79	6.60	0.00	0.97	2.42	21.37
A104	松飛台川(中間)	547	16.1	7.39	2.23	0.27	1.63	0.64	1.38	0.00	0.84	2.54	9.37
A201	松飛台川(合流前)	604	15.5	7.42	2.63	0.29	1.74	0.72	1.76	0.00	0.80	2.89	10.82
A202	春木川(合流前)	574	17.3	7.39	2.35	0.31	1.35	0.44	1.29	0.16	0.83	2.53	9.26
A203	春木川橋(春木川・合流後)	567	17.4	7.37	2.31	0.32	1.49	0.55	1.39	0.03	0.82	2.62	9.53
A204	小玉橋(春木川中間)	656	18.2	7.41	2.96	0.31	1.74	0.70	2.15	0.01	0.78	2.77	11.60
A301	高棚橋(春木川・合流前)	547	17.4	7.46	1.88	0.26	1.97	0.85	1.19	0.27	0.72	2.94	10.09
A302	音色橋(紙敷川)	530	15.6	7.58	1.84	0.09	2.42	1.16	1.03	0.62	0.62	2.83	10.61
A303	春木川(合流後)	602	17.5	7.40	2.47	0.29	1.72	0.68	1.66	0.04	0.75	2.97	10.58
A401	国分川分水路(春木川・合流前)	547	17.8	7.41	1.87	0.25	1.93	0.83	1.19	0.11	0.73	2.93	9.85
A402	和名谷川	747	16.9	7.41	4.06	0.23	1.87	0.69	2.22	0.47	1.98	2.39	13.91
A403	大橋右岸(春木川・合流後)	578	17.2	7.40	2.31	0.22	1.92	0.80	1.38	0.74	0.97	2.89	11.23
A501	国分川取水口(派川春木川浄化前)	569	16.9	7.42	2.26	0.22	1.97	0.85	1.42	0.77	0.94	2.18	11.42
A502	派川春木川浄化後	527	16.9	7.22	2.11	0.22	1.87	0.81	1.22	0.82	0.84	2.13	10.22
A601	ゆりの木橋(派川春木川)	674	10.5	7.45	2.10	0.26	2.87	1.01	2.45	0.27	1.30	2.42	12.68
A602	排水機場前(国分川・合流前)	564	12.2	6.83	1.42	0.20	2.16	1.00	1.36	0.45	0.80	2.72	10.11
A603	須和田橋(国分川・合流後)	581	11.3	7.52	1.60	0.27	2.27	1.01	1.61	0.16	0.84	2.65	10.40
A604	江戸川導水路	300	6.7	7.54	0.91	0.10	1.47	0.53	0.75	0.28	0.75	0.97	5.76
A605	真間川(導水路・国分川合流後)	427	8.8	7.49	1.51	0.16	1.92	0.81	1.25	0.47	0.82	1.76	8.71
平均値		612	15.4	7.42	2.91	0.22	1.89	0.77	2.05	0.28	0.90	2.49	11.56
標準偏差		189.7	3.4	0.16	2.29	0.08	0.34	0.19	1.80	0.28	0.28	0.47	4.06
変動係数		0.31	0.2	0.02	0.79	0.34	0.18	0.24	0.88	1.00	0.31	0.19	0.35

なお、大森(2002)によると、一般的な河川の水質は上流では  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$  型および  $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$  型を示し、下流にかけて  $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$  型に変化する。国分川流域は最上流部で都市化が進行している都市河川であるため、水質は上流から下流にかけて様々な水質パターンを示している。この原因は土地利用の影響を受けていると考えられる。



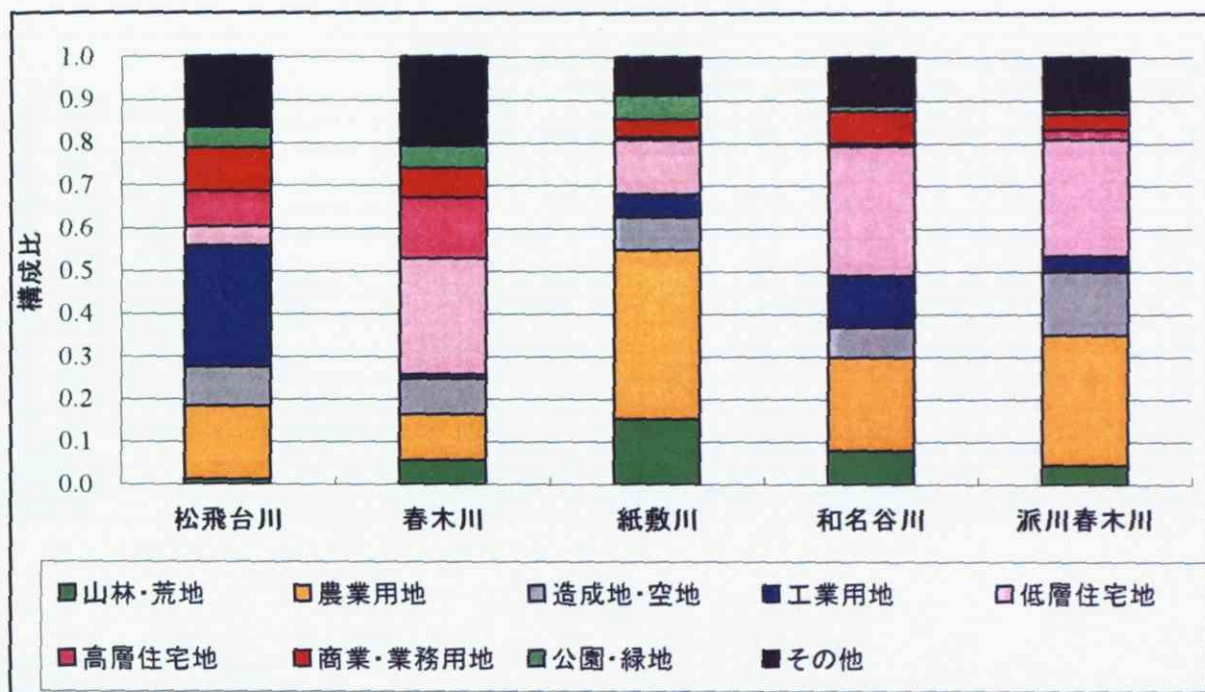


図 13. 国分川流域の支流の土地利用構成。

表 6. 国分川の土地利用構成。

No.	地点	面積 km <sup>2</sup>	山林・ 荒地	農業 用地	造成地・ 空地	工業 用地	低層 住宅地	高層 住宅地	商業・ 業務用地	公園・ 緑地	その他
A101	松飛台川墓地内上流	2.32	0.013	0.171	0.092	0.284	0.044	0.084	0.101	0.048	0.164
A103	松飛台川 (合流後)	2.61	0.014	0.164	0.096	0.087	0.254	0.038	0.076	0.118	0.151
A201	松飛台川 (合流前)	3.99	0.019	0.133	0.080	0.076	0.214	0.028	0.074	0.212	0.164
A202	春木川 (合流前)	3.77	0.057	0.108	0.084	0.009	0.272	0.142	0.071	0.051	0.207
A203	春木川橋 (春木川・合流後)	7.76	0.037	0.121	0.082	0.043	0.242	0.083	0.072	0.134	0.185
A301	高槻橋 (春木川・合流前)	10.02	0.043	0.130	0.087	0.051	0.264	0.070	0.077	0.112	0.167
A302	音色橋 (紙敷川)	6.14	0.154	0.396	0.078	0.052	0.128	0.006	0.042	0.056	0.088
A303	春木川 (合流後)	16.16	0.085	0.231	0.083	0.051	0.212	0.046	0.063	0.091	0.137
A401	国分川分水路 (春木川・合流)	16.98	0.090	0.240	0.080	0.050	0.210	0.040	0.060	0.090	0.140
A402	和名谷川	2.37	0.079	0.220	0.071	0.120	0.304	0.006	0.075	0.014	0.112
A403	大橋右岸 (春木川・合流後)	19.34	0.084	0.246	0.084	0.060	0.218	0.037	0.063	0.075	0.132
A601	ゆりの木橋 (派川春木川)	3.05	0.046	0.306	0.149	0.037	0.272	0.023	0.036	0.012	0.120
A602	排水機場前 (国分川・合流前)	27.37	0.080	0.240	0.100	0.050	0.240	0.030	0.060	0.060	0.140
A603	須和田橋 (国分川・合流後)	30.42	0.074	0.258	0.101	0.046	0.240	0.028	0.056	0.058	0.139

#### 4-3-2 大柏川流域の水質と土地利用

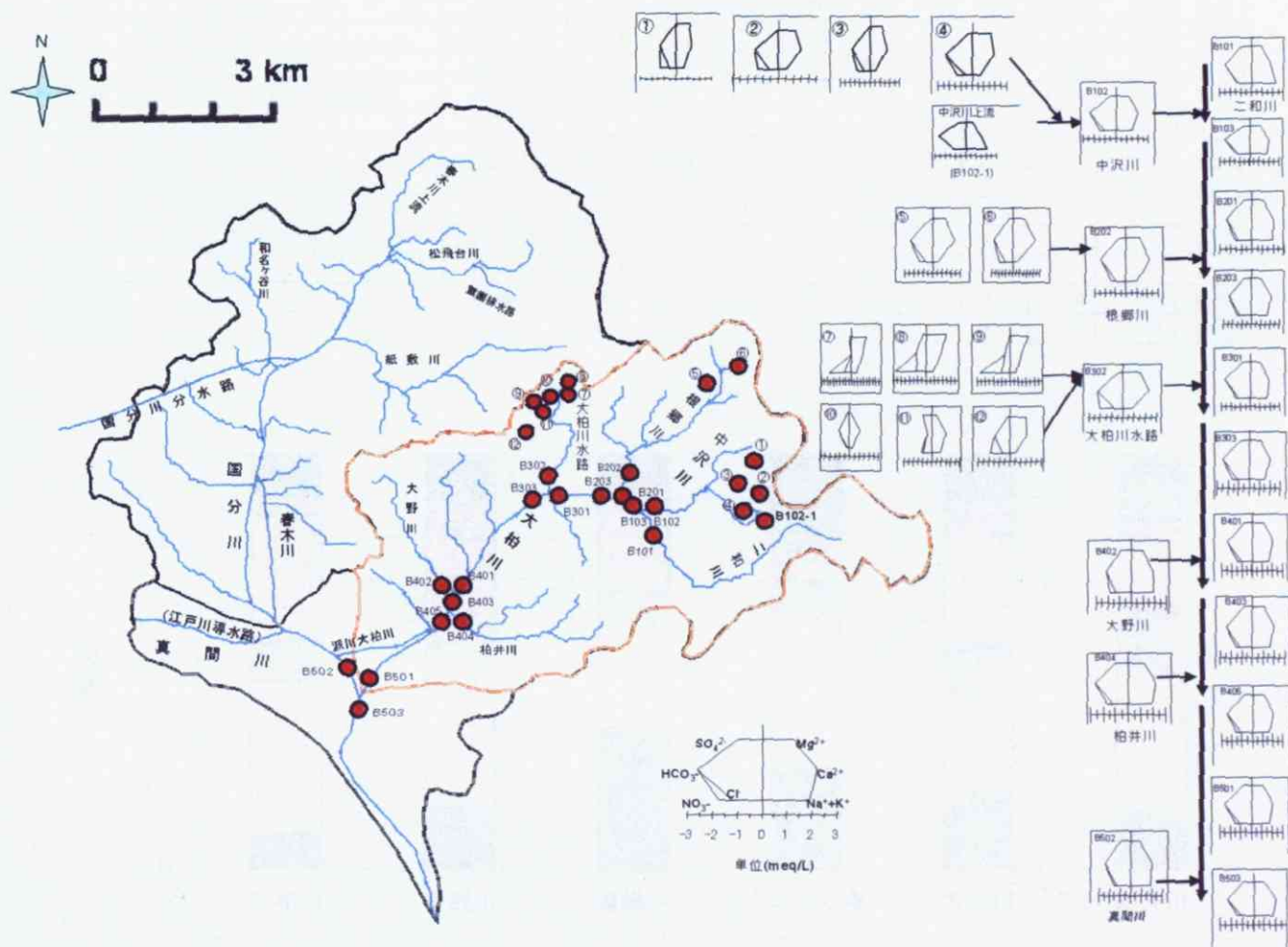
大柏川流域では、多くの湧水地点が保全されており、それらの湧水の水質も調査した (表 7)。大柏川沿いの水質変化は図 14 に示した (表 8)。また、水質と土地利用との関係を検討した支流の土地利用構成比率を図 15、表 9 に示した。

大柏川流域では上流から下流にかけて、ヘキサダイアグラムに大きな変形がみられず、流下にとともなう水質組成の変化は大きくないことがわかる。また、濃度変化 (EC、TMI) も小さい。



表 7. 大柏川流域の湧水の水質。

No.	調査地点	EC	T	pH	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TMI
		μS/cm	°C		meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L
①	道辺調整池	293	16.0	7.38	0.54	0.03	1.30	1.09	0.59	0.75	0.09	1.42	5.81
②	嚙子水公園湧水③	314	20.2	7.20	0.47	0.02	1.50	1.15	0.57	0.78	0.09	1.58	6.16
③	道辺調整池木橋	326	16.6	8.91	0.49	0.02	1.73	1.17	0.58	0.71	0.10	1.84	6.64
④	嚙子水公園階段下	391	15.3	7.18	0.59	0.03	1.84	1.60	0.61	0.74	0.33	2.34	8.08
⑤	貝柄公園噴水内	394	10.1	8.46	0.50	0.04	2.34	1.26	0.78	0.64	0.19	2.40	8.15
⑥	貝柄公園内	525	15.7	7.97	0.63	0.04	3.21	1.65	0.99	0.96	0.60	2.72	10.80
⑦	大町自然公園湧水-1(バケツ)	668	14.3	6.29	0.87	0.06	1.90	2.42	1.08	2.62	0.33	0.00	9.28
⑧	大町自然公園湧水-1(奥)	537	14.7	6.69	0.84	0.06	1.88	2.41	1.08	2.62	0.32	1.15	10.37
⑨	大町自然公園湧水-2	467	15.3	6.35	0.74	0.02	1.40	2.22	0.99	2.54	0.04	0.58	8.53
⑩	大町自然公園谷頭の池水	166	14.6	7.70	0.31	0.04	1.08	0.26	0.24	0.01	0.13	1.15	3.23
⑪	大町自然公園谷頭の水道水	314	-	7.41	0.88	0.07	1.46	0.51	0.90	0.24	0.93	0.55	5.54
⑫	大町自然公園もみじの里の池水	359	11.7	7.19	0.47	0.02	1.54	1.55	0.67	1.19	0.19	1.45	7.08
平均値		396	15.0	7.39	0.61	0.04	1.76	1.44	0.76	1.15	0.28	1.43	7.47
標準偏差		134.4	2.58	0.79	0.18	0.02	0.56	0.68	0.26	0.92	0.26	0.81	2.17
変動係数		0.34	0.17	0.11	0.30	0.49	0.32	0.47	0.34	0.80	0.92	0.57	0.29



大柏川の水質の特徴をみると、以下のようなになる。

\* 二和川の流域面積は 5.23km<sup>2</sup>、EC は 534 μ S/cm、水質は Na<sup>+</sup> - HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>型を示す。

\* 中沢川の流域面積は 2.90km<sup>2</sup>、水質の変化を把握するために、源流部 5 個所の水質を測



定した。4箇所の湧水の EC は 300~400  $\mu$  S/cm と低い値を示し、水質は  $\text{Ca}^{2+}$  -  $\text{Mg}^{2+}$  -  $\text{NO}_3^-$  型であった。中沢川最上流部の排水路の EC は 530  $\mu$  S/cm、水質は  $\text{Na}^+$  -  $\text{HCO}_3^-$  型を示し、中沢川最下流地点（合流前）の EC・465  $\mu$  S/cm、水質・ $\text{Ca}^{2+}$  -  $\text{HCO}_3^-$  型へと変った。

表 8. 大柏川流域の各調査地点の水質。

No.	調査地点	EC $\mu$ S/cm	T $^{\circ}$ C	pH	$\text{Na}^+$ meq/L	$\text{K}^+$ meq/L	$\text{Ca}^{2+}$ meq/L	$\text{Mg}^{2+}$ meq/L	$\text{Cl}^-$ meq/L	$\text{NO}_3^-$ meq/L	$\text{SO}_4^{2-}$ meq/L	$\text{HCO}_3^-$ meq/L	TMI meq/L
B101	二和川(合流前)	534	14.5	7.34	2.02	0.24	1.82	0.90	1.35	0.09	0.93	2.54	9.91
B102-1	中沢川上流(排水路)	530	16.1	7.66	1.80	0.27	1.49	0.65	1.21	0.00	0.80	2.62	8.84
B102	中沢川(合流前)	465	13.6	7.52	1.25	0.14	2.05	1.13	1.07	0.42	0.60	2.40	9.06
B103	白旗橋下(二和川・合流後)	493	14.1	7.34	1.59	0.19	1.96	1.04	1.23	0.18	0.71	2.53	9.43
B201	二和川(合流前)	506	15.6	7.29	1.83	0.12	2.02	1.07	1.23	0.32	0.80	2.42	9.80
B202	根郷川(支流)	455	14.7	7.23	0.93	0.12	2.18	1.21	0.84	0.53	0.69	2.41	8.92
B203	中沢新橋下(二和川・合流後)	482	15.0	7.45	1.59	0.12	2.07	1.14	1.16	0.34	0.77	2.37	9.57
B301	二和川(合流前)	488	14.4	7.42	1.54	0.18	1.98	1.03	1.13	0.30	0.79	2.60	9.57
B302	市川北高校横(支流大柏川水路)	465	12.5	7.81	0.75	0.06	2.32	1.61	0.80	1.21	0.35	2.23	9.34
B303	二和川(合流後)	483	14.1	7.65	1.40	0.17	2.04	1.13	1.08	0.44	0.73	2.52	9.51
B401	古里橋(大柏川)	482	13.8	7.46	1.42	0.17	2.06	1.09	1.07	0.41	0.74	2.46	9.42
B402	大野川(支流)	489	14.8	7.48	1.72	0.22	1.82	0.97	1.31	0.46	0.89	2.10	9.48
B403	貝之花橋上(大柏川・合流後)	484	14.2	7.60	1.43	0.17	2.04	1.07	1.11	0.40	0.74	2.46	9.41
B404	柏井川(支流)	537	15.4	7.41	1.71	0.20	2.21	1.25	1.18	0.55	1.00	2.61	10.71
B405	大柏川(合流後)	494	14.0	7.49	1.48	0.18	2.08	1.10	1.14	0.42	0.78	2.50	9.69
B501	浅間橋(大柏川・合流前))	498	13.9	7.41	1.45	0.18	2.15	1.10	1.11	0.39	0.78	2.50	9.67
B502	豊貴島橋(真間川・合流前)	504	13.5	7.59	1.68	0.20	2.06	0.84	1.29	0.24	0.92	2.38	9.62
B503	八方橋(大柏川・真間川合流後)	486	13.4	7.49	1.56	0.19	2.03	0.90	1.20	0.29	0.88	2.30	9.35
平均値		493	14.3	7.48	1.51	0.17	2.02	1.07	1.14	0.39	0.77	2.44	9.52
標準偏差		22.8	0.9	0.14	0.30	0.05	0.18	0.20	0.14	0.25	0.14	0.13	0.41
変動係数		0.05	0.1	0.02	0.20	0.28	0.09	0.18	0.12	0.64	0.18	0.06	0.04

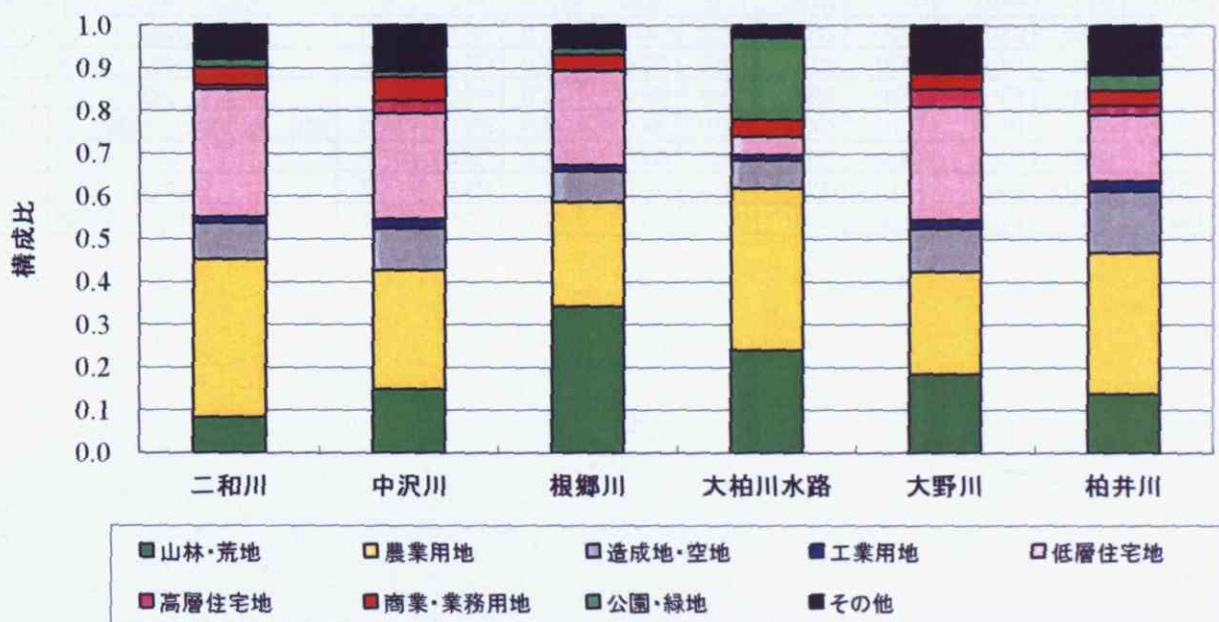


図 15. 大柏川流域の支流の土地利用構成。

\*根郷川の流域面積は 3.901km<sup>2</sup>、源流部（湧水）の EC は 394  $\mu$  S/cm、水質は  $\text{Ca}^{2+}$  -  $\text{HCO}_3^-$

型を示す。下流（合流前）の EC は  $506 \mu\text{S/cm}$ 、二和川との合流後、EC は  $567 \mu\text{S/cm}$  となり、水質は  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$  型から  $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$  型となる。

\* 大柏川水路の流域面積は  $1.92\text{km}^2$ 、EC は  $488 \mu\text{S/cm}$ 、合流後の EC は  $602 \mu\text{S/cm}$  となり、水質は  $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{NO}_3^-$  型から  $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$  型に変化する。

\* 大野川の流域面積は  $1.616\text{km}^2$ 、EC は  $482 \mu\text{S/cm}$ 、合流後も EC は  $484 \mu\text{S/cm}$ 、水質も  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$  型で、合流後、水質はあまり変化しなかった。

\* 柏井川の流域面積は  $2.702\text{km}^2$ 、EC は  $537 \mu\text{S/cm}$ 、合流後の EC は  $494 \mu\text{S/cm}$ 、水質は  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$  型となる。

既述のように、ヘキサダイアグラムによると、大柏川流域の水質は上流から下流にかけて、大きな変化はみられない。この原因は、合流してくる支流の土地利用が本流と大きな違いを示さず、結果として、本流と類似の水質を持った支流の水が合流してくるためと考えられる。

表 9. 大柏川の土地利用構成。

No.	地点	面積 $\text{km}^2$	山林・ 荒地	農業 用地	造成地・ 空地	工業 用地	低層 住宅地	高層 住宅地	商業・ 業務用地	公園・ 緑地	その他
B101	二和川(合流前)	5.23	0.082	0.369	0.085	0.015	0.298	0.011	0.042	0.020	0.078
B102	中沢川(合流前)	2.90	0.148	0.278	0.099	0.022	0.248	0.029	0.056	0.013	0.108
B103	白旗橋下(二和川・合流後)	8.13	0.105	0.337	0.090	0.018	0.280	0.017	0.047	0.017	0.089
E201	二和川(合流前)	8.46	0.110	0.334	0.095	0.019	0.274	0.018	0.046	0.017	0.087
E202	根郷川(支流)	3.90	0.342	0.245	0.072	0.014	0.222	0.001	0.037	0.016	0.052
E203	中沢新橋下(二和川・合流後)	12.36	0.183	0.306	0.088	0.017	0.258	0.012	0.043	0.016	0.076
B301	二和川(合流前)	13.72	0.184	0.322	0.095	0.019	0.236	0.012	0.042	0.019	0.072
B302	市川北高校横(支流大柏川水)	1.92	0.240	0.378	0.067	0.011	0.044	0.000	0.040	0.192	0.028
B303	二和川(合流後)	15.65	0.191	0.329	0.091	0.018	0.213	0.010	0.042	0.040	0.067
B401	古里橋(大柏川)	19.26	0.183	0.332	0.101	0.020	0.208	0.009	0.041	0.037	0.070
B402	大野川(支流)	1.62	0.183	0.240	0.101	0.020	0.266	0.040	0.038	0.003	0.108
B403	貝之花橋上(大柏川合・流後)	19.41	0.175	0.340	0.100	0.020	0.205	0.012	0.041	0.035	0.072
B404	柏井川(支流)	2.70	0.137	0.331	0.145	0.024	0.155	0.023	0.034	0.038	0.114
B405	大柏川(合流後)	22.11	0.171	0.339	0.106	0.020	0.199	0.014	0.040	0.036	0.077
B501	浅間橋(大柏川・合流前)	26.66	0.154	0.326	0.116	0.019	0.213	0.015	0.041	0.032	0.083



## 第5章 考察

### 5-1 流量とイオン濃度・負荷量との関係

各採水地点の流量については、市川市、松戸市、鎌ヶ谷市市役所から提供された河川水質通年調査データ（欠測も多い）の内、最下流部に位置する流量観測地点（国分川：須和田橋、大柏川：浅間橋）の比流量を標準比流量として、 $\text{流量} = \text{標準比流量} \times \text{流域面積}$ 、により計算した。ちなみに、流量観測地点の流域面積、流量の実測値（平均）、計算値および差を表10、図16に示した。平均誤差は国分川で19%、大柏川で2%と小さく、表10、図16からわかるように、実測値と計算値とは良い一致を示す。それゆえ、観測されていない流域の流量も適切に推定されると考えられる。

表10. 真間川流域の流量の実測値と計算値の比較。

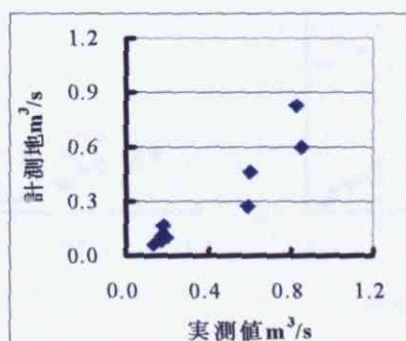
国分川 地点	No.	面積 km <sup>2</sup>	観測期間	データ数	実測値 m <sup>3</sup> /s	計算値 m <sup>3</sup> /s	差 m <sup>3</sup> /s
松飛台排水路流末	A201	4.0	98.03-04.03	69	0.18	0.11	0.07
常磐平排水路流末	A202	3.8	98.03-04.03	69	0.20	0.10	0.10
小玉橋	A301	10.0	98.03-01.11	18	0.59	0.27	0.32
紙敷川流末	A302	6.1	98.03-04.03	68	0.18	0.17	0.02
獅子舞橋	A401	17.0	98.03-04.03	68	0.60	0.46	0.14
稔台排水路流末	A402	2.4	98.03-04.03	69	0.14	0.06	0.07
稲越地先	A501	22.0	98.03-04.03	109	0.85	0.60	0.25
派川春木川	A601	3.1	98.03-04.03	64	0.17	0.08	0.09
須和田橋	A603	30.4	98.03-04.03	68	0.83	0.83	0.00

計算値は須和田橋の比流量 $0.03\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ を用いて算出

大柏川 地点	No.	面積 km <sup>2</sup>	観測期間	データ数	実測値 m <sup>3</sup> /s	計算値 m <sup>3</sup> /s	差 m <sup>3</sup> /s
道野辺横下(二和川)	B101	5.2	98.05-04.02	24	0.15	0.27	-0.12
鎌ヶ谷橋下(中沢川)	B102	2.9	98.05-04.02	24	0.11	0.15	-0.04
白旗橋下(合流後)	B103	8.1	98.05-04.02	24	0.33	0.43	-0.10
戸崎橋下(根郷川)	B202	3.9	98.05-04.02	24	0.10	0.20	-0.11
中沢新橋下	B203	12.4	98.05-04.02	39	0.48	0.65	-0.17
霊園前	B301	13.7	98.03-01.03	37	0.62	0.72	-0.10
大柏水路	B302	1.9	98.03-01.03	13	0.07	0.10	-0.03
浅間橋	B501	26.7	98.03-04.03	55	1.39	1.39	0.00

計算値は浅間橋の比流量 $0.05\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ を用いて算出

a. 国分川



b. 大柏川

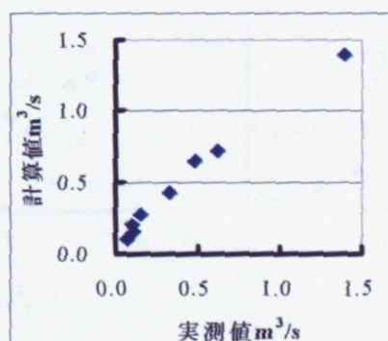


図16. 真間川流域の流量の実測値と計算値の比較。

イオン種ごとに、流量と濃度および負荷量との相関関係をみると（表 11、図 17）、イオン濃度は流量と有意な相関を示さない。すなわち、地点ごとの流量の違いは水質濃度には大きな影響を与えていないといえる。負荷量は流量が大きいほど多くなる。濃度の地域差が相対的に小さいため、負荷量は流量と強い相関を示し、相関係数は、国分川の  $\text{NO}_3^-$  の 0.707、 $\text{Na}^+$  の 0.896 除き、すべてのイオン種で 0.92 以上を示す。

表 11. 真間川における量とイオン濃度・負荷量の相関係数。

	相関係数	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	TMI
国分川流域	負荷量	0.896	0.975	0.991	0.983	0.923	0.707	0.985	0.991	0.992
	濃度	-0.477	0.261	0.194	0.413	-0.390	0.360	-0.290	0.290	-0.394
大柏川流域	負荷量	0.992	0.984	0.999	0.998	0.997	0.961	0.997	0.999	1.000
	濃度	0.068	0.162	0.053	-0.253	0.043	-0.272	0.100	0.398	0.007

：有意水準5%のt-検定で有意

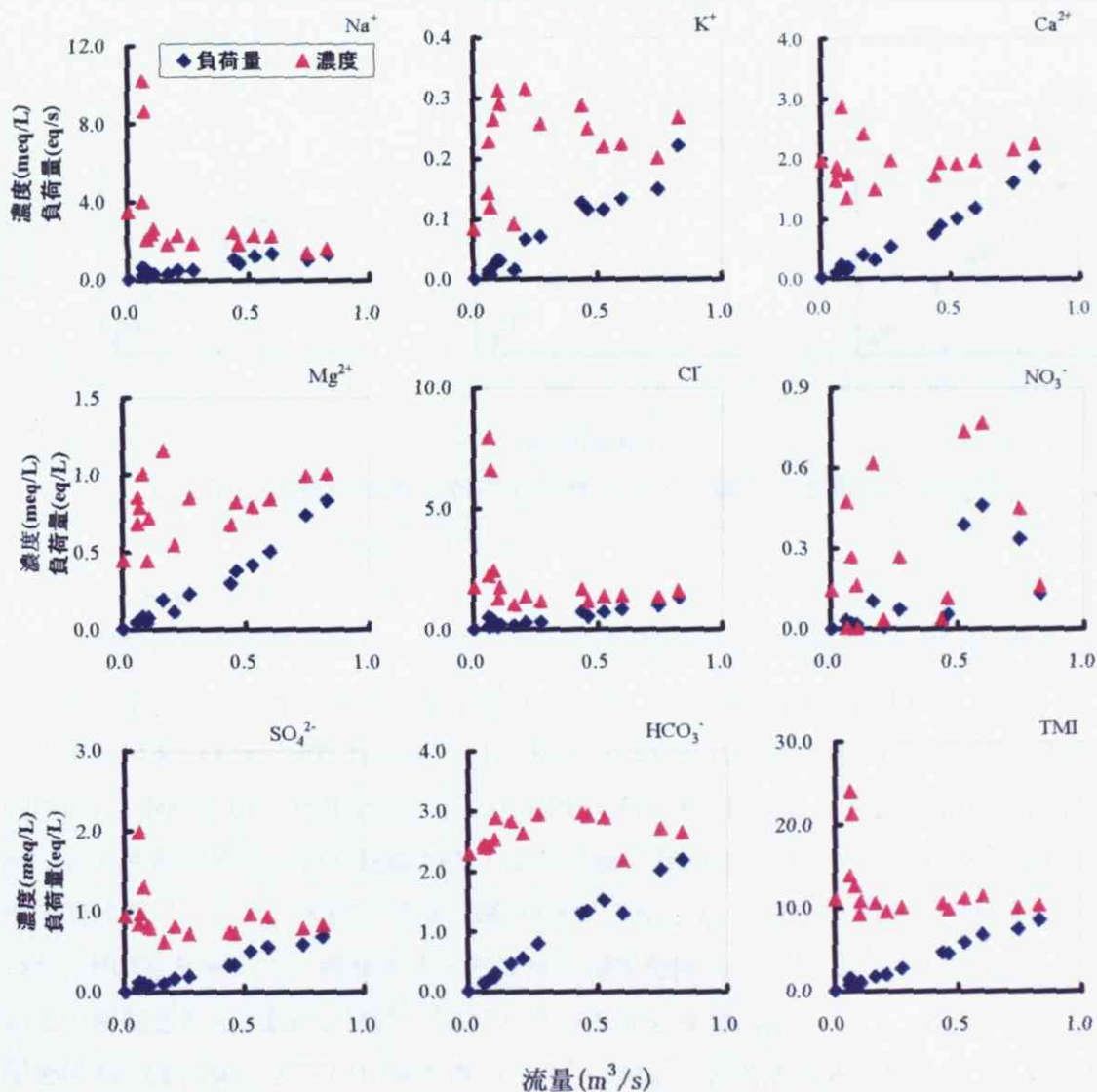


図 17a. 国分川流域における流量とイオン濃度・負荷量の関係。



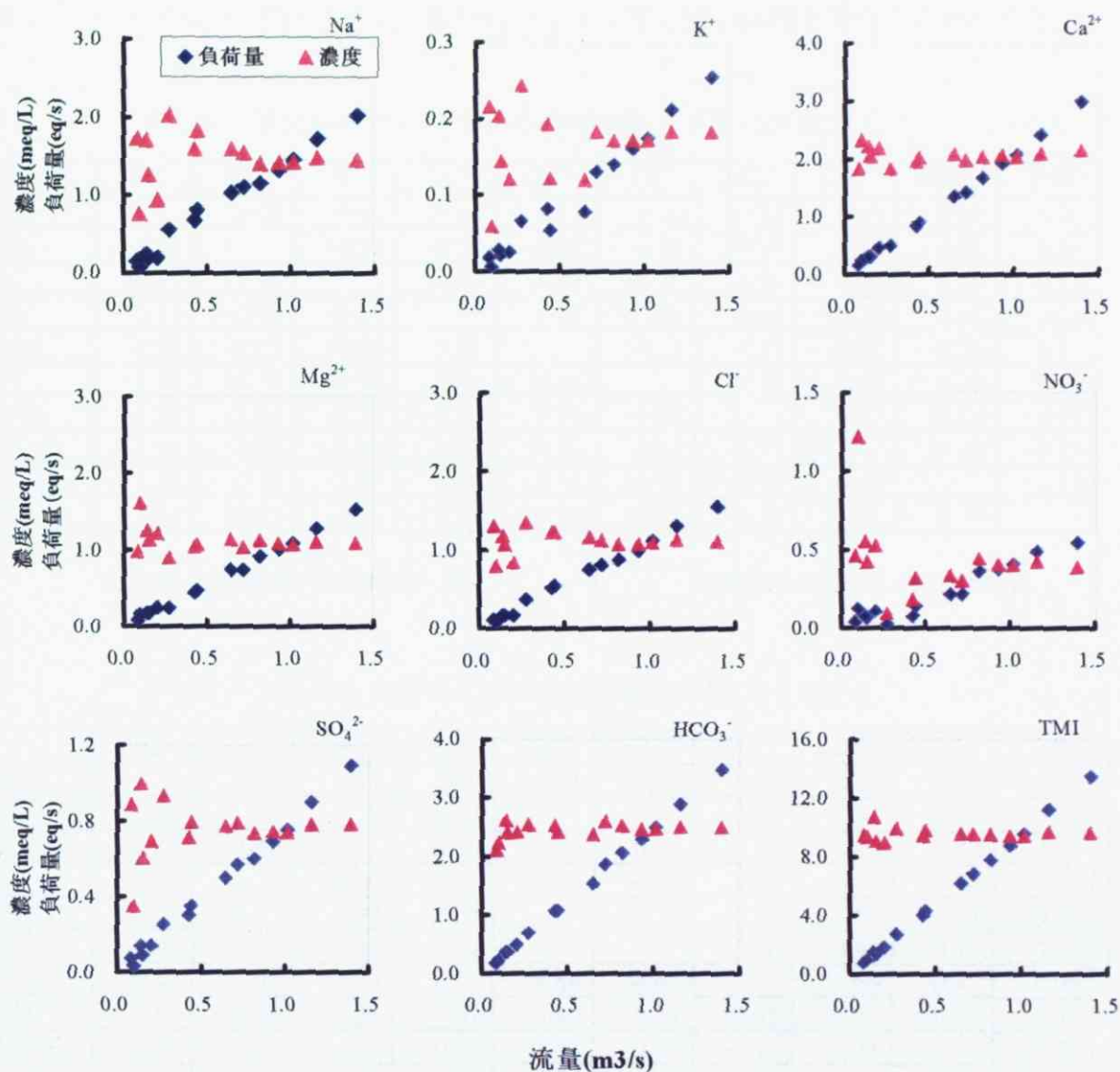


図 17b. 大柏川流域における流量とイオン濃度・負荷量との関係。

## 5-2 国分川の水質と大柏川の水質

イオン種間の相互関係の特徴を把握するために、国分川、大柏川それぞれの河川および両河川を一括して、イオン種間の単相関分析を行った（表 12a, b、表 13）。

まず国分川をみると、EC は  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、TMI と高い正の相関を持つが、他のイオンとの相関は低い。 $\text{Na}^+$  は  $\text{Cl}^-$ 、TMI と高い正の相関を持ち、 $\text{K}^+$  は  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  は  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$  は TMI と高い正の相関を持つ。いく種類かのイオンは強い相関をもつが、多くの場合、イオン種間の相関は低い。一方、大柏川では、EC は  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、TMI と高い正の相関を持つが、 $\text{HCO}_3^-$  を除いて、残りイオンとは負の相関を持つ。 $\text{Na}^+$  は  $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、TMI と高い正の相関を持ち、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$  と負の相関を持つ。 $\text{K}^+$  は  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$  と負の相関を持ち、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  と正の相関を持つ。 $\text{Ca}^{2+}$  は  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$  と正の相関を持ち、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  と負の相関を持つ。 $\text{Mg}^{2+}$  は  $\text{NO}_3^-$  と正の相関、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  とは負の相関を示す。 $\text{Cl}^-$  は  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  とそれぞれ負、正の相関を示す。 $\text{NO}_3^-$  は  $\text{SO}_4^{2-}$  と負の相関を示している。以上のように

に、大柏川では、いずれのイオン種も他のイオン種と強い相関を持つことがわかる。

表 12a. 国分川の水質項目間の相関係数と  $t$ -値 (21 地点)。

	EC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TMI
EC		0.90	-0.08	-0.03	0.15	0.90	-0.32	0.25	0.27	0.93
Na <sup>+</sup>	8.98		-0.32	-0.20	-0.02	0.98	-0.35	0.19	0.06	0.96
K <sup>+</sup>	-0.35	-1.45		-0.15	-0.15	-0.30	-0.26	0.04	0.49	-0.27
Ca <sup>2+</sup>	-0.14	-0.90	-0.68		0.78	-0.09	0.34	0.20	0.20	0.03
Mg <sup>2+</sup>	0.66	-0.07	-0.65	5.41		0.11	0.37	-0.07	0.29	0.21
Cl <sup>-</sup>	9.03	19.15	-1.35	-0.40	0.46		-0.38	0.14	0.03	0.97
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-1.46	-1.64	-1.15	1.60	1.76	-1.76		0.17	-0.22	-0.25
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1.11	0.82	0.18	0.87	-0.30	0.62	0.77		-0.10	0.25
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.23	0.25	2.47	0.88	1.34	0.14	-0.97	-0.45		0.17
TMI	11.34	15.95	-1.21	0.11	0.92	16.98	-1.11	1.13	0.76	

上三角(相関係数)下三角( $t$ -値)

: 有意水準5%の $t$ -検定で有意

表 12b. 大柏川の水質項目間の相関係数と  $t$ -値 (18 地点)。

	EC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TMI
EC		0.82	0.73	-0.49	-0.51	0.71	-0.52	0.70	0.51	0.58
Na <sup>+</sup>	5.76		0.75	-0.64	-0.74	0.96	-0.78	0.83	0.31	0.44
K <sup>+</sup>	4.24	4.50		-0.76	-0.83	0.74	-0.75	0.73	0.42	0.13
Ca <sup>2+</sup>	-2.24	-3.36	-4.70		0.83	-0.61	0.74	-0.37	-0.22	0.31
Mg <sup>2+</sup>	-2.34	-4.37	-5.92	6.07		-0.75	0.91	-0.65	-0.25	0.19
Cl <sup>-</sup>	3.99	13.13	4.46	-3.12	-4.59		-0.76	0.80	0.13	0.37
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-2.43	-5.01	-4.59	4.34	8.88	-4.61		-0.66	-0.47	0.05
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	3.95	5.85	4.25	-1.57	-3.40	5.29	-3.55		0.27	0.54
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.39	1.30	1.83	-0.89	-1.04	0.52	-2.14	1.11		0.24
TMI	2.86	1.96	0.52	1.30	0.77	1.61	0.22	2.54	1.00	

上三角(相関係数)下三角( $t$ -値)

: 有意水準5%の $t$ -検定で有意

表 13. 真間川 (国分川・大柏川一括) の水質項目間の相関係数と  $t$ -値 (39 地点)。

	EC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TMI
EC		0.91	0.11	-0.14	-0.20	0.91	-0.34	0.33	0.28	0.94
Na <sup>+</sup>	13.72		-0.06	-0.28	-0.30	0.98	-0.38	0.29	0.09	0.96
K <sup>+</sup>	0.68	-0.37		-0.34	-0.50	-0.09	-0.46	0.26	0.46	-0.09
Ca <sup>2+</sup>	-0.86	-1.79	-2.22		0.72	-0.17	0.47	0.02	0.13	-0.04
Mg <sup>2+</sup>	-1.24	-1.89	-3.47	6.31		-0.18	0.60	-0.35	0.08	-0.09
Cl <sup>-</sup>	13.31	26.81	-0.54	-1.05	-1.11		-0.37	0.23	0.05	0.97
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-2.17	-2.50	-3.12	3.25	4.59	-2.41		-0.11	-0.25	-0.24
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2.16	1.85	1.66	0.14	-2.24	1.42	-0.69		-0.04	0.31
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.78	0.53	3.15	0.78	0.48	0.33	-1.56	-0.23		0.18
TMI	16.23	21.33	-0.52	-0.27	-0.54	23.58	-1.51	2.02	1.14	

上三角(相関係数)下三角( $t$ -値)

: 有意水準5%の $t$ -検定で有意

ちなみに、国分川と大柏川を一括して、真間川全体でイオン種間の相関をみると(表 13)、



EC と TMI の変化が  $\text{Na}^+$  と  $\text{Cl}^-$  の変化に強く依存していることがわかる。

国分川（図 12）と大柏川（図 14）は、イオン組成とその下流に向かっての変化が両河川で大きく異なっていることを示している。イオン種ごとの河川縦断面方向の濃度変化を図 18 に示した。

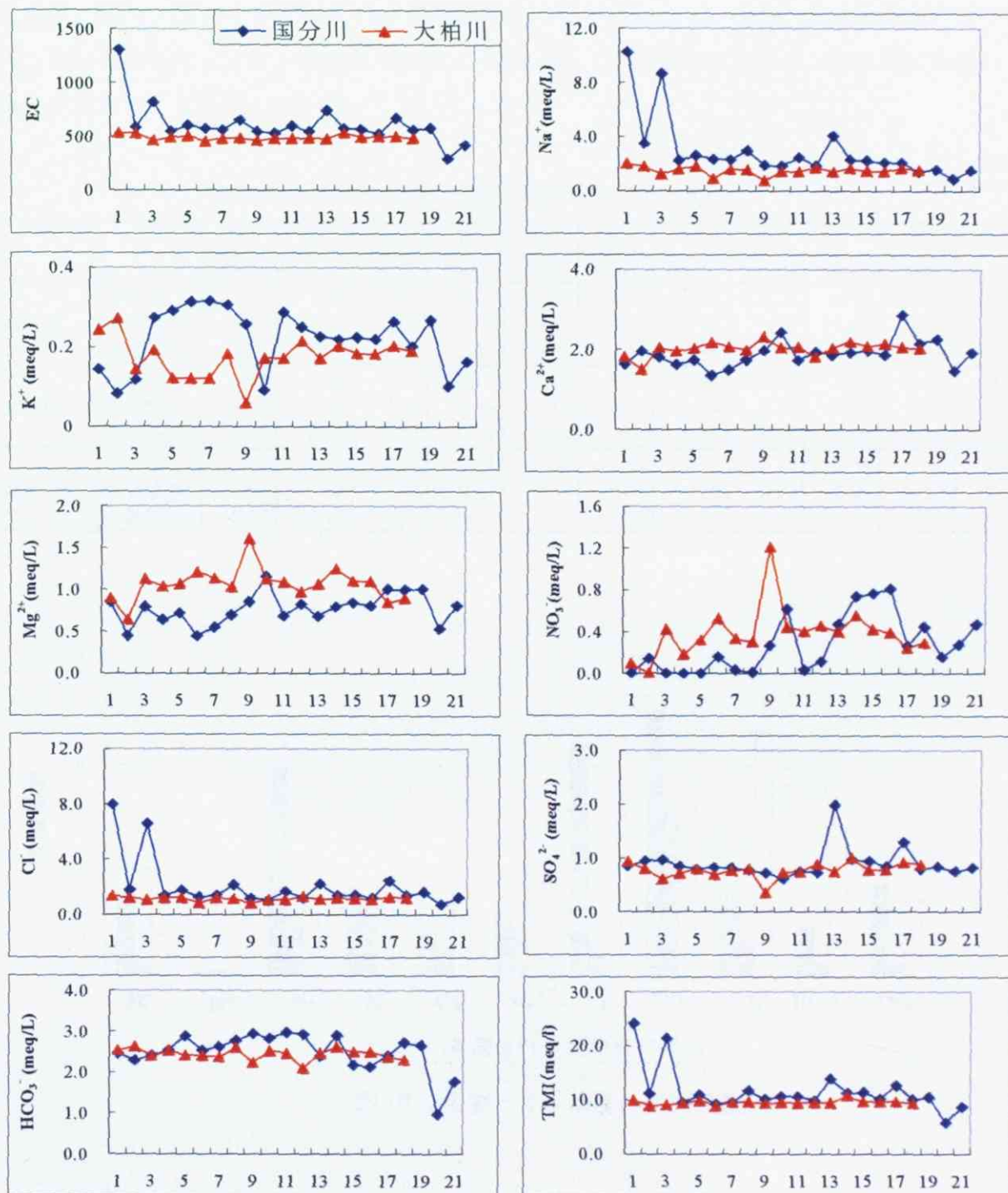


図 18. 国分川・大柏川におけるイオン濃度の縦断面変化。

図 18 において、大柏川においては  $\text{NO}_3^-$  の変動が大きいですが、他のイオン濃度はほぼ一定の

値を示し、ヘキサダイアグラムの形や大きさ（図 14）が地点間で類似していることを裏付けている。それに対して、国分川においては、それぞれのイオン濃度の変動が大きく、ヘキサダイアグラムの変形が激しい（図 12）ことを裏付けている。ちなみに、変動係数を求めると（表 14、図 19）、大柏川では総じて変動係数が小さいのに対して、国分川では総てのイオン種において、変動係数が大柏川のそれを上回っている。また、両河川で特に異なるのは、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ および EC と TMI の変動であることがわかる。なお、大柏川流域の湧水は、 $\text{NO}_3^-$ を除いて、イオン濃度は河川水より低いが、変動係数は大きく、湧水間の水質の違いが大きいことを示している。

表 14. イオン濃度、変動係数の河川の比較。

		EC	pH	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	TMI
		$\mu\text{S}/\text{cm}$		$\text{meq}/\text{L}$	$\text{meq}/\text{L}$	$\text{meq}/\text{L}$	$\text{meq}/\text{L}$	$\text{meq}/\text{L}$	$\text{meq}/\text{L}$	$\text{meq}/\text{L}$	$\text{meq}/\text{L}$	$\text{meq}/\text{L}$
国分川	平均値	612	7.42	2.91	0.22	1.89	0.77	2.05	0.28	0.90	2.49	11.56
	標準偏差	189.7	0.16	2.29	0.08	0.34	0.19	1.80	0.28	0.28	0.47	4.06
	変動係数	0.31	0.02	0.79	0.34	0.18	0.24	0.88	1.00	0.31	0.19	0.35
大柏川	平均値	493	7.48	1.51	0.17	2.02	1.07	1.14	0.39	0.77	2.44	9.52
	標準偏差	22.8	0.14	0.30	0.05	0.18	0.20	0.14	0.25	0.14	0.13	0.41
	変動係数	0.05	0.02	0.20	0.28	0.09	0.18	0.12	0.64	0.18	0.06	0.04
湧水	平均値	396	7.39	0.61	0.04	1.76	1.44	0.76	1.15	0.28	1.43	7.47
	標準偏差	134.4	0.79	0.18	0.02	0.56	0.68	0.26	0.92	0.26	0.81	2.17
	変動係数	0.34	0.11	0.30	0.49	0.32	0.47	0.34	0.80	0.92	0.57	0.29

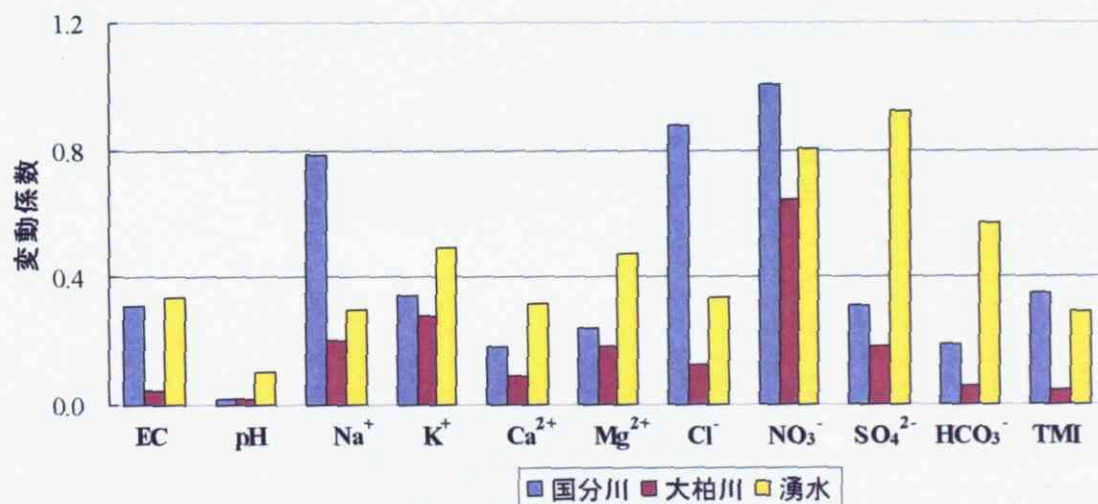


図 19. 主要イオン濃度の変動係数。



### 5-3 国分川の土地利用と大柏川の土地利用

前節でみたように、2河川のイオン組成や濃度は大きな差異があり、それぞれの流域内の人間活動（土地利用）が違っていると推測される。本節では、2流域の土地利用を把握するために、国分川（表6）、大柏川（表9）のそれぞれの流域において、土地利用項目間の単相関分析を行った。結果は表15に示した。

国分川では、山林・荒地は農業用地と高い正の相関を示し、商業・業務用地とは高い負の相関を示す。農業用地は山林・荒地と高い正の相関を持つが、高層住宅地、商業・業務用地、公園・緑地と強い負の相関を示す。造成地・空地は高い相関を示す項目を持たない。工業用地は低層住宅地と負の相関、商業・業務用地と正の相関を示す。低層住宅地は工業用地と負の相関、高層住宅地は農業用地と負の相関を示す。商業・業務用地は山林・荒地や農業用地と負の相関、工業用地と正の相関を示す。こうした相関関係は山林や農地が残されている所では住宅、商業、工業地が少なく、商業地は工業地と接近して存在することなどを示し、都市化地域で常識的に想定される土地利用分布を示していると考えられる。

表 15a. 国分川の土地利用項目間の相関関係。

国分川	山林・荒地	農業用地	造成地・空地	工業用地	低層住宅地	高層住宅地	商業・業務用地	公園・緑地	その他
山林・荒地		0.771	-0.247	-0.379	-0.067	-0.411	-0.636	-0.395	-0.663
農業用地	4.359		0.272	-0.125	-0.223	-0.697	-0.757	-0.515	-0.906
造成地・空地	-0.917	1.020		-0.103	0.151	-0.123	-0.455	-0.357	-0.131
工業用地	-1.478	-0.455	-0.372		-0.676	0.031	0.691	-0.129	-0.008
低層住宅地	-0.243	-0.824	0.550	-3.306		-0.048	-0.279	-0.016	0.111
高層住宅地	-1.624	-3.508	-0.447	0.112	-0.174		0.487	0.078	0.887
商業・業務用地	-2.974	-4.174	-1.844	3.445	-1.049	2.009		0.289	0.583
公園・緑地	-1.550	-2.165	-1.379	-0.471	-0.056	0.283	1.088		0.418
その他	-3.194	-7.721	-0.478	-0.029	0.401	6.908	2.587	1.658	

上三角(相関係数)、下三角(t-値)      : 有意水準5%のt-検定で有意

表 15b. 大柏川流域の土地利用項目間の相関関係。

大柏川	山林・荒地	農業用地	造成地・空地	工業用地	低層住宅地	高層住宅地	商業・業務用地	公園・緑地	その他
山林・荒地		-0.457	-0.436	-0.445	-0.442	-0.379	-0.382	0.284	-0.596
農業用地	-1.853		-0.001	-0.217	-0.349	-0.366	-0.017	0.533	-0.349
造成地・空地	-1.748	-0.005		0.868	0.009	0.424	-0.221	-0.332	0.733
工業用地	-1.790	-0.800	6.289		0.262	0.608	0.124	-0.561	0.838
低層住宅地	-1.776	-1.344	0.033	0.980		0.165	0.391	-0.885	0.519
高層住宅地	-1.477	-1.416	1.688	2.759	0.601		0.202	-0.441	0.900
商業・業務用地	-1.488	-0.060	-0.817	0.451	1.534	0.744		-0.192	0.221
公園・緑地	1.069	2.272	-1.270	-2.445	-6.855	-1.772	-0.705		-0.667
その他	-2.675	-1.343	3.881	5.546	2.187	7.455	0.818	-3.231	

上三角(相関係数)、下三角(t-値)      : 有意水準5%のt-検定で有意



一方、大柏川流域では、国分川と同様に、その他が多くの項目と有意な相関を示すが、山林・荒地は公園・緑地を除いて、残りの項目とは負の相関を示す。農業用地も公園・緑地と正の相関を持つが、残りの項目とは負の相関を示す。造成地・空地は工業用地と高い正の相関を持つ。工業用地は高層住宅地と正の有意な相関を示す。低層住宅地は公園・緑地との負の相関を持ち、上述のように高層住宅地は工業用地と高い正の相関を示す。これらの相関関係は工業用地と高層住宅地とが隣接して立地していること、また、商業地域が未発達であることを示し、大柏川流域が土地利用分布において国分川流域とは大きく異なっていることを意味している。なお、公園・緑地が農業用地と正の相関を、工業用地や低層住宅地などと負の相関を示すのは、谷津（台地を刻む谷の谷底：水田として利用されてきた）が緑地保全地域（大町自然公園）として設置されているためである。

真間川流域を一括した場合の土地利用項目間の相関関係（表 16）をみると、山林・荒地と農業用地が正の相関関係を持ち、これら 2 項目は残り 7 項目と負の相関を示す。また、低層住宅地は工業用地、公園・緑地と負の相関を示すが、高層住宅地は山林・荒地と農業用地とは負の相関を、商業・業務用地、公園・緑地とは正の相関を示し、同じ住宅地でも両者の立地状況が大きく異なることを示している。さらに、個別流域におけるのとは異なっており、公園・緑地が商業・業務用地と有意な正の相関を示すようになる。

表 16. 真間川流域（全域）の土地利用項目間の相関関係。

	山林・荒地	農業用地	造成地・空地	工業用地	低層住宅地	高層住宅地	商業・業務用地	公園・緑地	その他
山林・荒地		0.584	-0.107	-0.509	-0.201	-0.550	-0.731	-0.317	-0.826
農業用地	3.737		0.240	-0.423	-0.194	-0.761	-0.816	-0.415	-0.866
造成地・空地	-0.559	1.287		-0.125	0.078	-0.137	-0.364	-0.381	0.003
工業用地	-3.073	-2.428	-0.652		-0.400	0.292	0.764	0.139	0.426
低層住宅地	-1.066	-1.026	0.407	-2.268		-0.073	-0.065	-0.373	0.176
高層住宅地	-3.423	-6.090	-0.718	1.587	-0.381		0.649	0.352	0.854
商業・業務用地	-5.560	-7.339	-2.029	6.161	-0.340	4.435		0.421	0.783
公園・緑地	-1.735	-2.368	-2.139	0.731	-2.086	1.952	2.409		0.339
その他	-7.613	-8.996	0.018	2.450	0.931	8.533	6.536	1.873	

上三角(相関係数)、下三角(t-値)

   : 有意水準5%のt-検定で有意

#### 5-4 真間川流域の水質と土地利用との関係

5-2 節で示したように、水質は流域（支流）ごとに異なり、また、流下するにしたがって本流の水質は変化する。一方、5-3 節でみたように、土地利用も流域ごとに大きく異なっている。河川水質の違いや変化は、流下中の化学反応による沈殿・付加や水生植物の吸収などによる場合もあるが、上述の水質（イオン濃度や組成）の違いは主として流域内の人間活動（土地利用）の違いに起因すると推測される。そこで、国分川、大柏川両流域の水質と土地利用との関係を把握するために、それぞれの採水地点より上流側の流域の土地

利用構成比（1994年版土地利用；国分川：表6、大柏川：表9）を用いて主成分分析を行い、その結果と水質10（EC、TMIを含む）項目との関係を検討した。

#### 5-4-1 国分川における水質と土地利用との関係

国分川流域の土地利用（表6）の主成分分析を行った結果、3主成分が抽出された（表17）。第1主成分の寄与率は47.3%、第2主成分の寄与率は20.9%、第3主成分の寄与率は19.5%となり、この3主成分で88%が説明できる。

表17. 国分川流域の土地利用の主成分の固有値と寄与率。

	1	2	3
固有値	4.261	1.882	1.758
寄与率	0.473	0.209	0.195
累積寄与率	47.3%	68.3%	87.8%

主成分ごとの、各土地利用項目の固有ベクトルは図20に示した。図21は各土地利用項目の因子負荷量の散布図である。

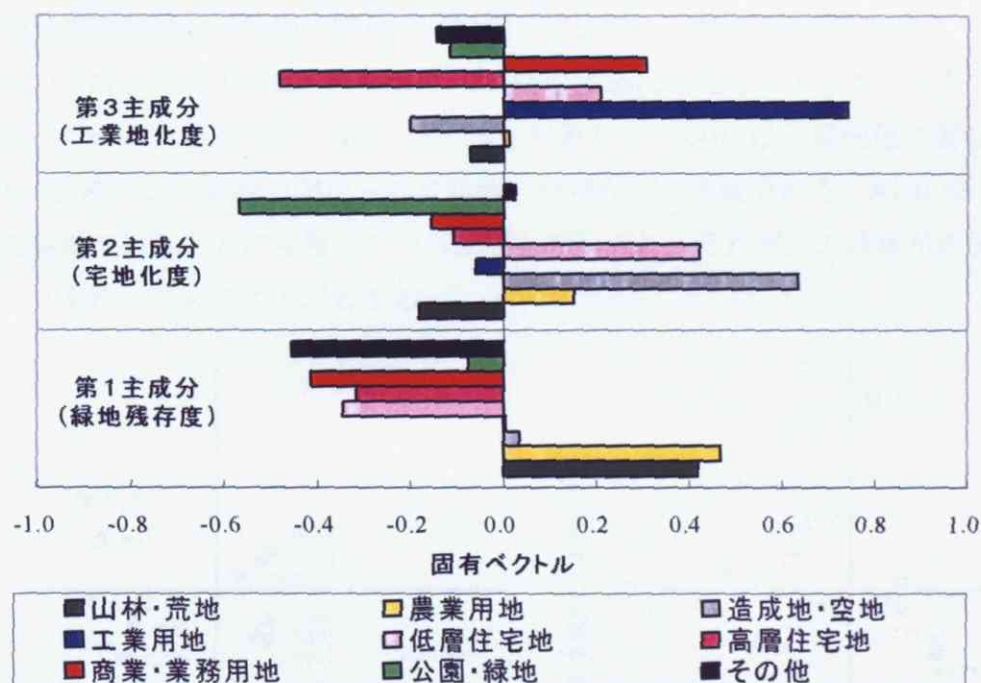


図20. 国分川流域の各主成分における土地利用項目の固有ベクトル。



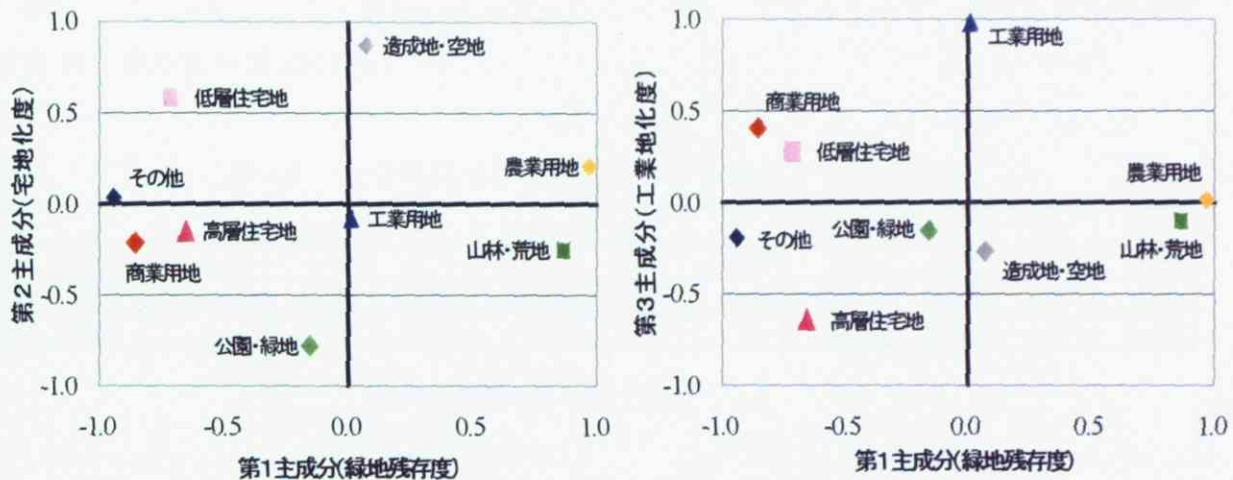


図 21. 国分川流域の土地利用項目の因子負荷量の散布図。

第1主成分は山林・荒地、農業用地が正の大きな値を示し、そのほかの多くの項目が負の値を示すことから、「緑地残存度」を意味し、第2主成分は低層住宅地、造成地・空地が正の値を示すことから、「宅地化度」を表現すると判断される。第3主成分は工業用地が大きな正の値を示すことから、「工業地化度」を表現すると考える。なお、ここでの「緑地」は山林や農地を意味し、公園・緑地の「緑地（芝生や人工林）」とは異なる。

各流域の主成分得点（図 22）をみると、A302 の流域は宅地化や工業地が進んでおらず、山林が残っていることを示す。A601 は宅地化が著しく、A402 は工業地化が著しい。A201 や A202 は公園や公共施設（学校・体育館等）が存在する流域である。A101 や A103 は宅地化と工業用地化がともに進展している流域と判断され、それぞれの流域が特徴ある土地利用タイプを持っていることがわかる。

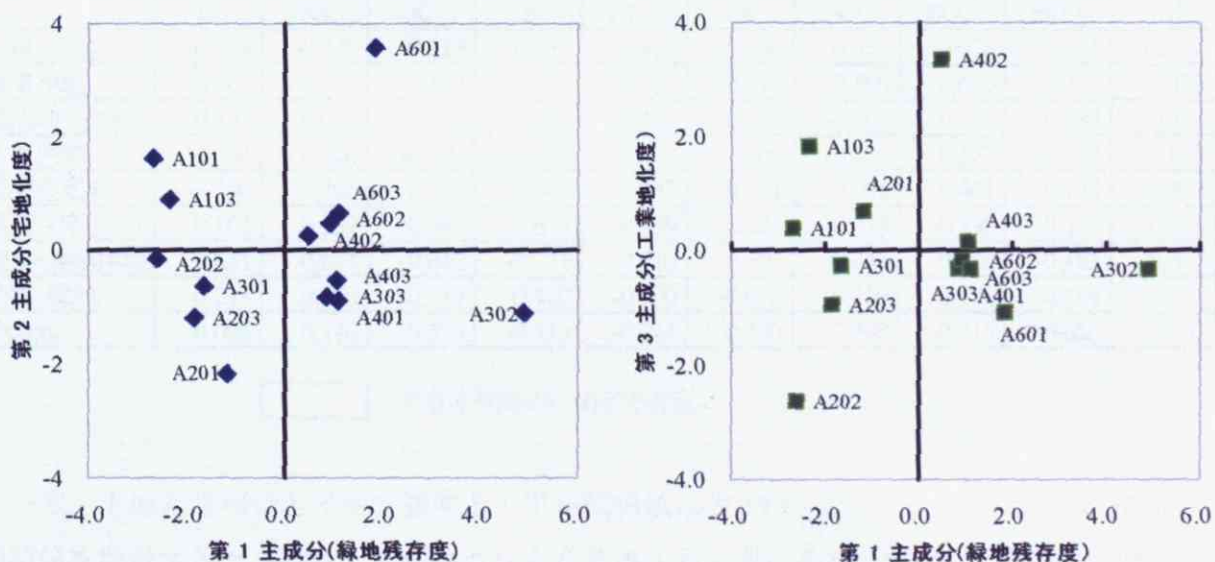


図 22. 国分川流域の主成分得点の散布図。

次に、3主成分とイオン濃度の単相関分析を行った。主成分とイオン濃度との相関係数は表 18、散布図を図 23 に示した。

表 18. 国分川流域の主成分とイオン濃度との相関係数。

	EC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TMI
第1主成分	-0.435	-0.525	-0.274	0.737	0.688	-0.483	0.640	0.026	0.313	-0.399
第2主成分	0.482	0.353	-0.213	0.510	0.335	0.484	-0.005	0.405	-0.705	0.488
第3主成分	0.343	0.444	-0.423	-0.002	0.092	0.371	0.114	0.614	-0.230	0.477

：有意水準5%のt-検定で有意

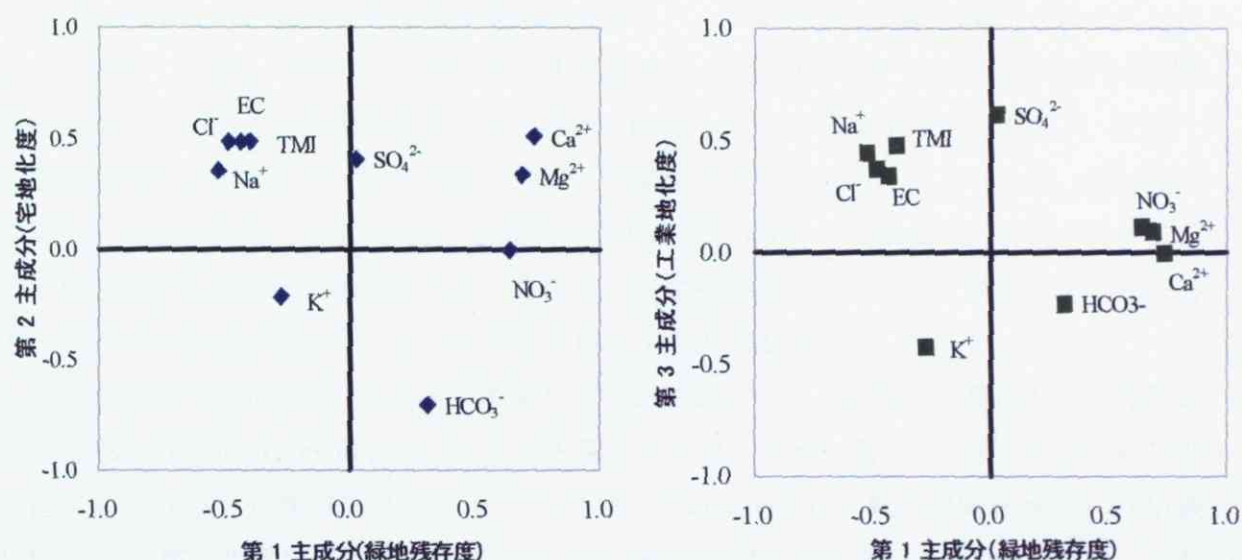


図 23. 国分川流域の主成分とイオン濃度との相関係数の散布図。

表 19. 国分川流域の土地利用と水質の単相関係数。

	EC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TMI
山林・荒地	-0.514	-0.559	-0.225	0.381	0.420	-0.590	0.681	-0.078	0.401	-0.512
農業用地	-0.181	-0.275	-0.469	0.793	0.786	-0.210	0.590	0.059	0.111	-0.126
造成地・空地	0.107	-0.013	0.034	0.680	0.415	0.169	-0.063	0.116	-0.389	0.135
工業用地	0.944	0.826	-0.470	-0.217	0.074	0.806	-0.209	0.177	-0.354	0.832
低層住宅地	-0.580	-0.465	0.532	0.069	-0.333	-0.474	0.092	0.461	-0.138	-0.465
高層住宅地	0.162	0.159	0.383	-0.676	-0.659	0.123	-0.413	-0.330	-0.123	0.019
商業・業務用地	0.651	0.684	-0.042	-0.771	-0.510	0.592	-0.442	0.026	-0.183	0.565
公園・緑地	-0.213	-0.030	0.239	-0.420	-0.300	-0.068	-0.459	-0.471	0.484	-0.132
その他	0.098	0.146	0.525	-0.733	-0.724	0.120	-0.599	-0.315	-0.080	-0.002

：有意水準5%のt-検定で有意

一方、土地利用項目とイオン濃度との単相関係数は表 19 のようになる。ただし、単相関関係を解析するときには、次のような点を考慮する必要がある。例えば、工業用地や商業・業務用地は Na<sup>+</sup> と高い相関を示すが、これは、工業用地や商業・業務用地が増加すると、Na<sup>+</sup> と負の相関を示す山林・荒地や農業用地が増加するためであり（表 15a）、工業用

地や商業・業務用地が大量の  $\text{Na}^+$  を排出することを意味しているとは限らない。すなわち、単相関関係は現象上の関係を示すことがあるので原因を考える場合には注意を要する。

第1主成分「緑地残存度」とイオン濃度との関係においては、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$  が正の有意な相関を示した(表 18)。また、EC や TMI とは負の相関を示す。第1主成分には山林・荒地、農業用地が強く関与している(図 20、21)。これらの土地利用項目は、表 19 に示すように山林・荒地は EC や TMI とは負の相関を、 $\text{NO}_3^-$  とは正の有意な相関を示す。農業用地も EC、TMI と負の相関を示し、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$  と正の有意な相関を示す。第1主成分にプラスに関与する造成地・空地は  $\text{Ca}^{2+}$  と正の有意な相関を示す。

山林・荒地については、有機物や腐植が分解され、アンモニウムから酸化されることによって  $\text{NO}_3^-$  と  $\text{H}^+$  とが生じ、土壌コロイドに吸着している  $\text{Ca}^{2+}$  や  $\text{Mg}^{2+}$  はこの  $\text{H}^+$  と置換して放出されることが指摘されている(塚本、1992)。また、農業用地については、肥料や土壌改良剤などが河川の  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$  を増加させると考えられる(小倉、1983；小川ほか、1998；田淵、1999 など)。造成地・空地の高い  $\text{Ca}^{2+}$  との相関は、新規のコンクリート構造物からの溶出と推測される。さらに、緑地残存度が大きいと、量的に大きな割合を占める  $\text{Na}^+$  や  $\text{Cl}^-$  が減少し、EC や TMI も減少すると判断される。

第2主成分「宅地化度」とイオン濃度との関係においては、 $\text{HCO}_3^-$  が負の有意な相関を示した(表 18)。図 20、21 の固有ベクトルと因子負荷量の分布を見ると、第2主成分には低層住宅地、造成地・空地が正で関与し、これらはいずれも  $\text{HCO}_3^-$  と負の相関を示している(表 19)。一方、第2主成分には森林・荒地や公園・緑地が負に強く関与し(図 20、21)、これらは  $\text{HCO}_3^-$  と正の相関関係を持つ(表 19)。それゆえ、第2主成分が  $\text{HCO}_3^-$  と負の相関を持つのは、森林・荒地、公園・緑地の多い流域で  $\text{HCO}_3^-$  が増加することを示していると考えられる。 $\text{HCO}_3^-$  は  $\text{K}^+$  と正の相関を持ち(表 12a)、かつ、公園・緑地は  $\text{K}^+$  と正の相関を持つことから、公園・緑地からの  $\text{K}^+$  の流出にともなって  $\text{HCO}_3^-$  が増加するものと推測される。なお、 $\text{K}^+$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$  を除いた他のイオン種は第2主成分と正の相関を持つ。すなわち、宅地化度の増加にともなって EC、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、TMI は増加する。

第3主成分「工業地化度」とイオン濃度との関係においては、 $\text{SO}_4^{2-}$  が正の有意な相関を示す(表 18)。第3主成分に対しては、工業用地、商業・業務用地、低層住宅地の3項目が強く関係する(図 21、22)。 $\text{SO}_4^{2-}$  は他のイオン種と特段大きな相関を持たず(表 12a)、また、土地利用と水質の単相関関係(表 19)においても、総ての土地利用と有意な相関が示されなかった。しかし、低層住宅地は  $\text{SO}_4^{2-}$  と相関係数 0.461 の正の相関を示し、工業用地、商業・業務用地も正の相関を持つことから、生活排水(硫酸塩)や工場や商業ビルからの雑排水が  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度を高めている可能性が高いと考えられる。



#### 5-4-2 大柏川における水質と土地利用との関係

大柏川流域の土地利用（表 9）の主成分分析を行った結果、3 主成分が抽出された（表 20）。第 1 主成分の寄与率は 50.0%、第 2 主成分の寄与率は 19.4%、第 3 主成分の寄与率は 17.0% となり、この 3 主成分で 86% が説明できる。

表 20. 大柏川流域の土地利用の主成分の固有値と寄与率。

	1	2	3
固有値	4.502	1.747	1.530
寄与率	0.500	0.194	0.170
累積寄与率	50.0%	69.4%	86.4%

主成分ごとの各土地利用項目の固有ベクトルは図 24 に、図 25 は因子負荷量の散布図を示した。

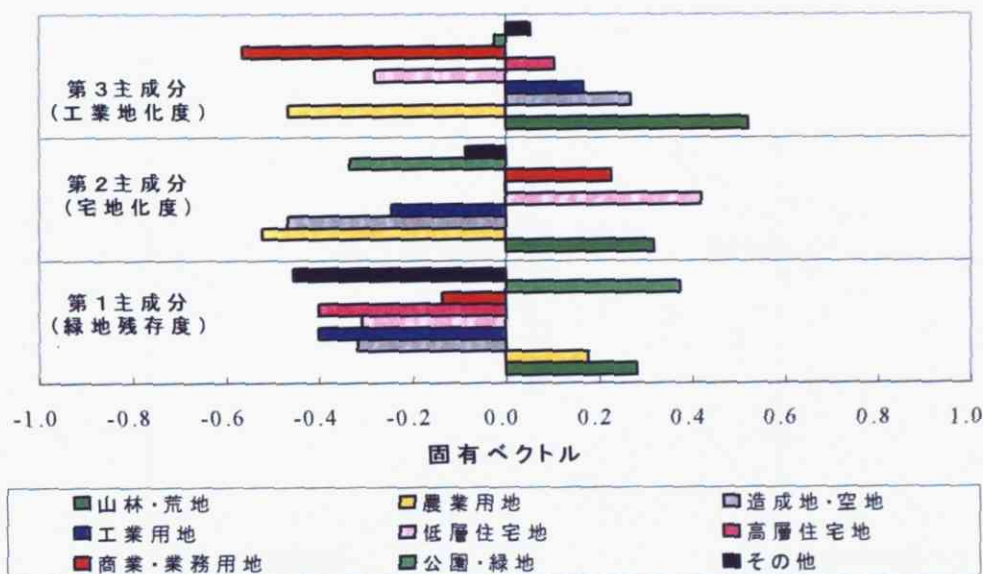


図 24. 大柏川流域の各主成分における土地利用項目の固有ベクトル。

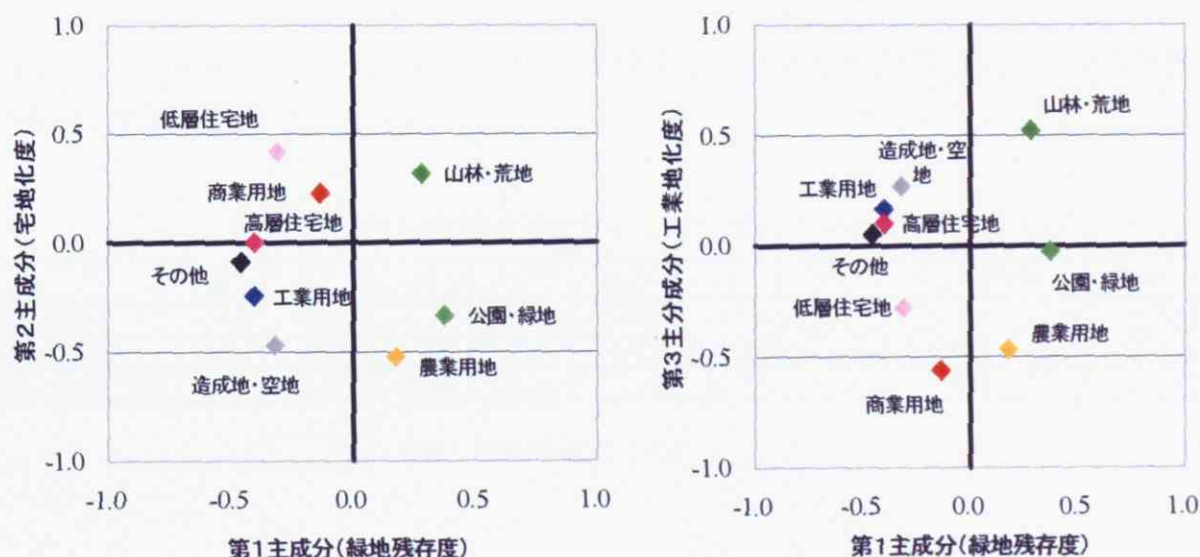


図 25. 大柏川流域の土地利用項目の因子負荷量の散布図。

第1主成分に対しては山林・荒地、農業用地、公園・緑地が正の値を示し、他の項目は負の値を示すことから、「緑地残存度」を表現する。第2主成分は山林・荒地、低層住宅地、高層住宅地、商業・業務用地が正の値を示し、他の項目が負の値を示すことから「宅地化度」を表現する。ただ、商業・業務用地が伴う点で、国分川とは異なる。第3主成分は山林・荒地、高層住宅地、工業用地、造成地・空地、その他が正の値を示し、他の項目は負の相関を示すことから「工業地化度」を示していると考えられる。

各流域の主成分得点（図26）をみると、B302の流域は宅地化や工業地が進んでおらず、山林が残っていることを示す。B202は山林・荒地が残っている割には、低層住宅地や工業用地の割合も大きい流域である。大柏川流域では、国分川に比べれば、グラフの中心付近に分布する流域が多く、B302等を除けば、土地利用が類似しているといえる。

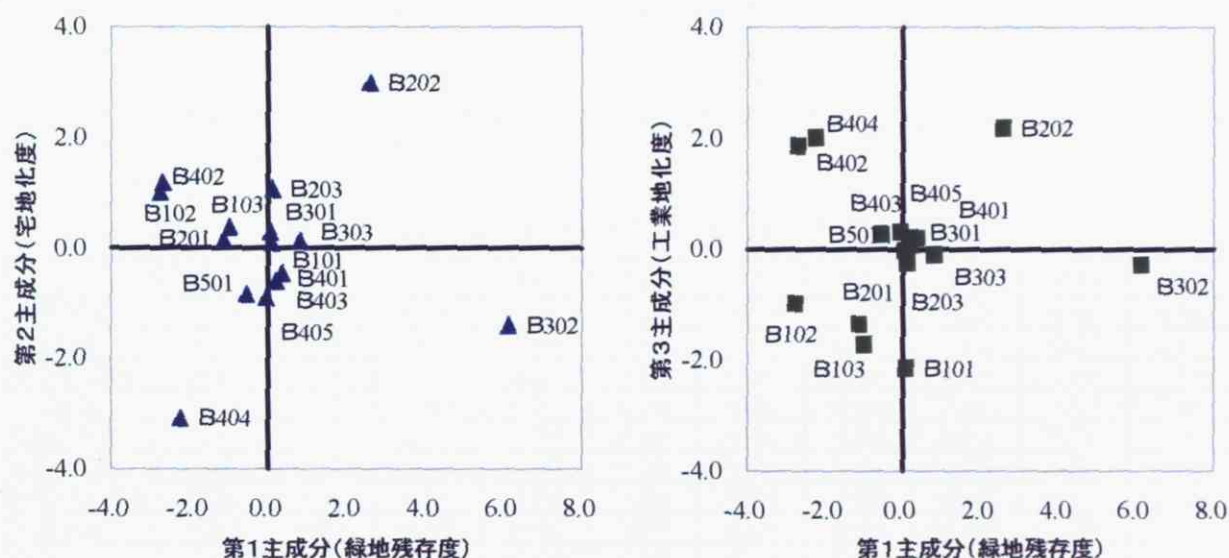


図26. 大柏川流域の主成分得点の散布図。

次に、3主成分とイオン濃度の単相関分析を行った。主成分とイオン濃度との相関係数は表21、散布図を図27に示した。

表21. 大柏川流域の主成分とイオン濃度との相関係数。

	EC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TMI
第1主成分	-0.444	-0.700	-0.640	0.568	0.696	-0.755	0.665	-0.690	-0.174	-0.344
第2主成分	-0.567	-0.147	-0.150	-0.354	-0.320	-0.082	-0.290	-0.129	-0.335	-0.741
第3主成分	-0.171	-0.301	-0.015	0.347	0.243	-0.315	0.362	0.189	-0.232	0.068

：有意水準5%のt-検定で有意



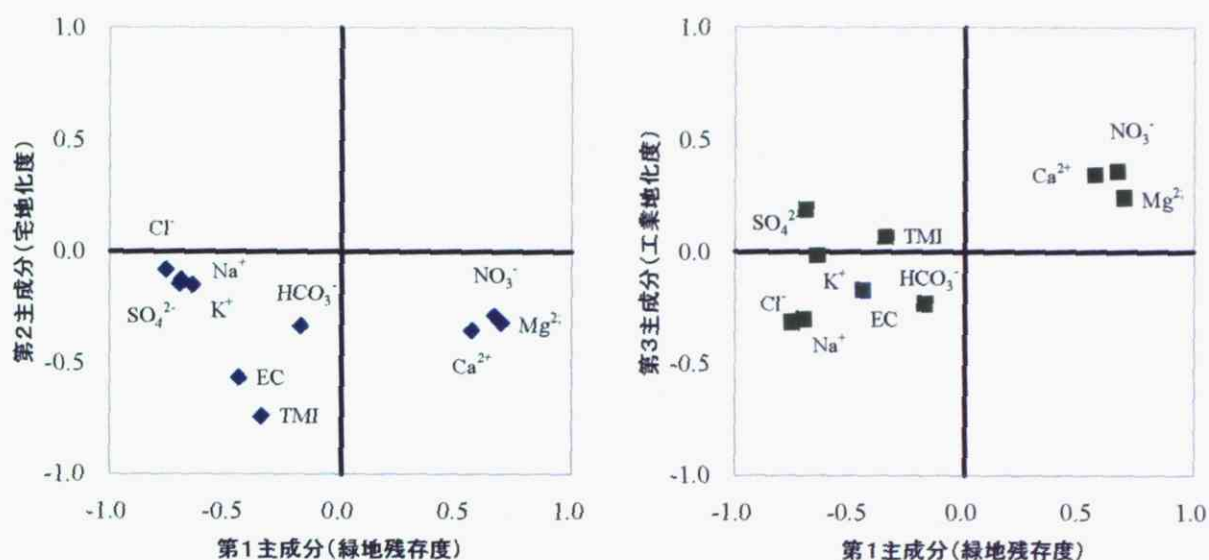


図 27. 大柏川流域の主成分とイオン濃度との相関係数の散布図。

一方、土地利用項目とイオン濃度との単相関係数は表 22 のようになる。

表 22. 大柏川流域の土地利用と水質の単相関係数。

	EC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TMI
山林・荒地	-0.736	-0.794	-0.549	0.516	0.504	-0.807	0.552	-0.453	-0.346	-0.560
農業用地	0.420	0.118	-0.017	0.185	0.225	0.034	0.113	-0.145	0.427	0.411
造成地・空地	0.607	0.456	0.523	0.023	-0.213	0.420	-0.219	0.644	0.394	0.728
工業用地	0.365	0.463	0.500	-0.212	-0.418	0.475	-0.397	0.566	0.316	0.430
低層住宅地	0.243	0.692	0.533	-0.823	-0.906	0.726	-0.920	0.561	0.155	-0.060
高層住宅地	0.169	0.347	0.301	-0.387	-0.206	0.526	0.154	0.235	-0.561	0.181
商業・業務用地	-0.268	0.018	-0.158	-0.247	-0.200	0.106	-0.283	-0.342	0.011	-0.418
公園・緑地	-0.242	-0.624	-0.597	0.644	0.867	-0.634	0.880	-0.714	-0.279	-0.055
その他	0.501	0.653	0.602	-0.459	-0.543	0.710	-0.517	0.663	0.117	0.444

：有意水準5%のt-検定で有意

第 1 主成分「緑地残存度」は  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$  と有意な正の相関を示し、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  とは有意な負の相関を示した(表 21)。第 1 主成分には山林、農業用地、公園・緑地の 3 土地利用項目が正に関与している(図 24、25)。土地利用と水質との単相関(表 22)をみると、山林・荒地や公園・緑地は  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$  と高い正の相関が示し、農業用地も  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$  と正の関係を示す。前節(国分川)で述べたように、山林・荒地については、有機物や腐植が分解され、アンモンニアから酸化されることによって  $\text{NO}_3^-$  と  $\text{H}^+$  とが生じ、土壌コロイドに吸着している  $\text{Ca}^{2+}$  や  $\text{Mg}^{2+}$  はこの  $\text{H}^+$  と置換して放出されることが指摘されている(塚本、1992)。また、農業用地については、肥料や土壌改良剤などが河川の  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$  に大きく影響すると考えられる(小倉、1983; 小川ほか、1998; 田淵、1999 など)。また、緑地残存度が大きいと、量的に大きな割合を占める  $\text{Na}^+$  や  $\text{Cl}^-$  が減少し、EC や TMI も減少すると判断される。

一方、第1主成分は $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ と有意な負の相関を示す。第1主成分の固有ベクトルは、造成地・空地、その他、商業・業務用地、高層住宅地、低層住宅地、工業用地の6項目が負の値を示す。表22によると、造成地・空地はEC、 $K^+$ 、TMIと有意な正の相関を示し、工業用地は $SO_4^{2-}$ と、低層住宅地は $Na^+$ 、 $K^+$ 、 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ と、高層住宅地は $Cl^-$ と、また、その他は $Na^+$ 、 $K^+$ 、 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ と有意な正の相関を示すことから、大柏川流域における $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ の由来は、家庭からの生活排水、工場や公共施設からの雑排水と考えられる。

第2主成分「宅地化度」は総てイオン種と負の相関を示す。特に、ECとTMIとは有意な負の相関を示す(表21)。図24、25の第2主成分における固有ベクトルと因子負荷量の分布から、総イオン量の流出は、山林・荒地、低層住宅地、商業・業務用地のいずれかが増加すると減少し、農業用地、公園・緑地、工業用地、造成地・空地、その他のいずれかが増加すると増加することを意味している。表22によれば、農業用地と工業用地がEC、TMIと正の相関を持つが、造成地・空地はEC、TMIと高い正の相関を示す。大柏川流域の造成地・空地は新規のものが多く、攪乱の度合いが高いためイオンの流出をもたらしていると考えられる。

第3主成分「工業地化度」はいずれの水質測定項目とも有意な相関を示さない(表21)。第3主成分の増加にともなって、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $NO_3^-$ 、 $SO_4^{2-}$ が増加する傾向を示すが(表21)、大柏川流域の第3主成分には山林・荒地、造成地・空地、工業用地、高層住宅地が関与しており、土地利用類型としては一つの類型を示すが、イオン流出という点では、相互に打ち消しあう土地利用項目が混在するため、水質項目と有意な相関を示さないと推察される。

#### 5-4-3 真間川全流域の水質と土地利用との関係

真間川流域全体の水質と土地利用との関係を把握するために、表6、9を一括して(国分川流域14流域と大柏川流域15流域とを合わせた全29流域)、主成分分析を行った。その結果、表23に示すように、3主成分が抽出された。第1主成分の寄与率は50.6%、第2主成分の寄与率18.4%、第3主成分の寄与率は12.5%となり、第3主成分までの累積寄与率は81.5%となる。

表23. 真間川全流域の土地利用の主成分の固有値と寄与率。

	1	2	3
固有値	4.556	1.654	1.128
寄与率	0.506	0.184	0.125
累積寄与率	50.6%	69.0%	81.5%

主成分ごとの各土地利用項目の固有ベクトルは図28に、図29は因子負荷量の散布図を示した。



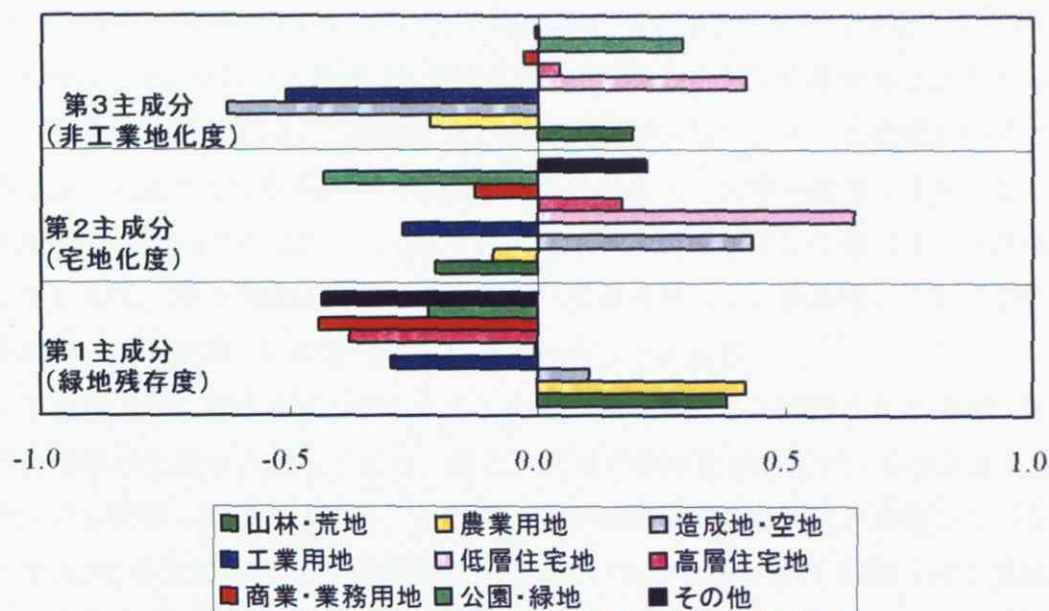


図 28. 真間川全流域の各主成分における土地利用項目の固有ベクトル。

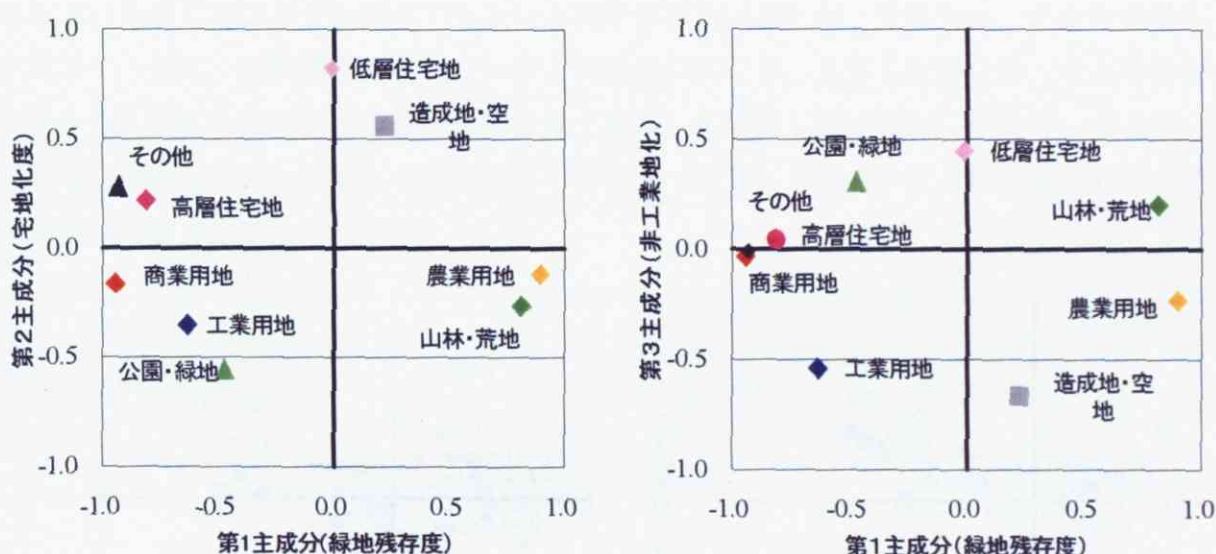


図 29. 真間川全流域の土地利用項目の因子負荷量の散布図。

第 1 主成分に対しては山林・荒地、農業用地、造成地・空地の 3 項目が正の値を示し、公園・緑地、その他、商業・業務用地、高層住宅地、低層住宅地、工業用地 6 項目は負の値を示すことから、「緑地残存度」を表現する。第 2 主成分に対しては低層住宅地、高層住宅地、造成地・空地、その他の 4 項目が正の値を示し、商業・業務用地、公園・緑地、工業用地、農業用地、山林・荒地の 5 項目が負の値を示すことから、「宅地化度」を表現する。第 3 主成分に対しては山林・荒地、低層住宅地、高層住宅地、公園・緑地の 4 項目が正の値を示し、農業用地、造成地・空地、工業用地、商業・業務用地、その他の 5 項目が正の値を示す。先に検討した国分川、大柏川との対応から、第 3 主成分は「非工業地化度」を表現すると考える。

各流域の主成分得点（図 30）をみると、両図において、「A」が付いた地点（国分川流域）が縦軸の左側に、「B」が付いた地点（大柏川流域）が縦軸の右側に分布することがわかる。すなわち、大柏川流域は、国分川流域に比べれば、緑地が残存している流域といえる。主成分分析では、対象とした資料の中で位置づけられるので、真間川流域全体を一括した場合の個別流域は、国分川や大柏川のそれぞれの流域での分析と同じ位置づけになる場合もあるが、たとえば、国分川流域内だけでみると「緑地が残っている流域」でも、全体の中では「緑地が少ない流域」に位置付けが変更されることがある。

大柏川で宅地化や工業地が進んでおらず、山林が残っていると判断された B302 は、全体の中でも同様の位置を占める。また、国分川流域で宅地化が進んでいるとされた A601 は全体の中でも同様の位置を占める。さらに、国分川流域で工業地化が進展していないと判断された A202 や大柏川流域で工業地化が進んでいると判断された B404（非工業地化で負の値）は全体の中でも同様の位置を占める。一方、国分川流域では工業地化が進展していると判断された A402 は、真間川流域全体の中ではグラフの中心部に埋没し、宅地化は進んでいるが工業化がそれほどでもないと判断された A101 は、全体では、宅地化が進んでおらず、逆に、工業地化が進んでいると判断されている。こうした違いは、各主成分に占めるそれぞれの土地利用項目の組成と量（割合）に依拠しているが、同時に、この違いは土地利用の主成分と水質との関係にもそのまま「転写」されるので、解析を進める上では大きな問題を生じない。

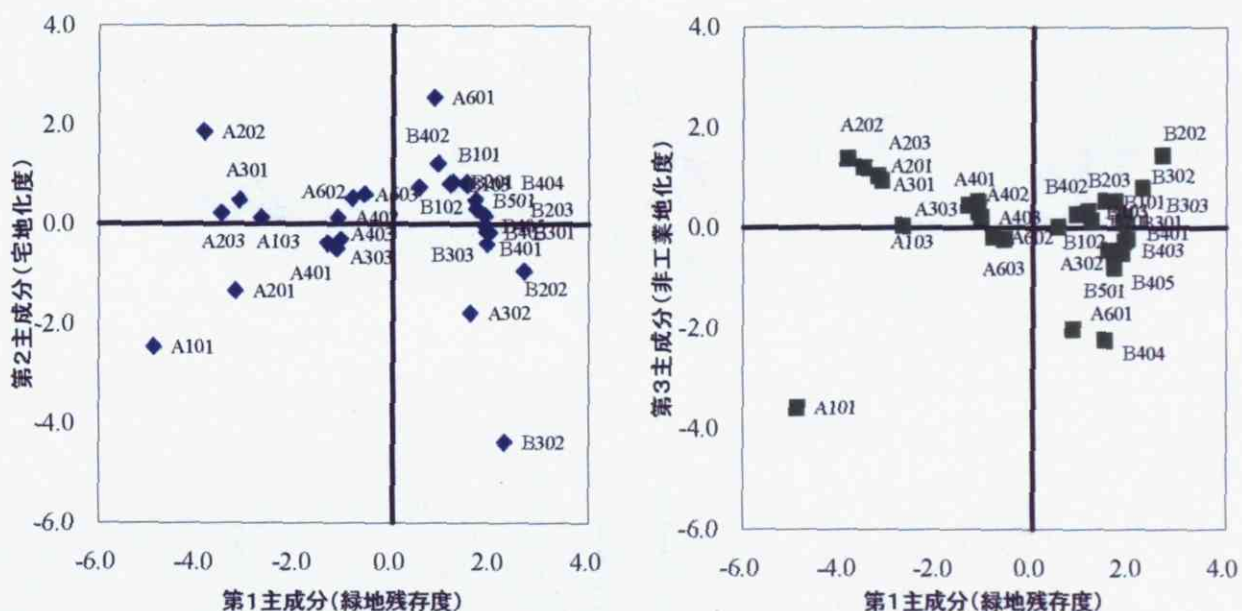


図 30. 真間川全流域の主成分得点の散布図。

次に、3主成分とイオン濃度の単相関分析を行った。相関係数は表 24、相関係数の散布図を図 31 に示した。ちなみに、多くのイオン種と高い相関関係を持つ第 1 主成分に対するイオン濃度の散布図を図 32 に示した。



表 24. 真間川全流域の主成分とイオン濃度との相関係数。

	EC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TMI
第 1 主成分	-0.653	-0.625	-0.532	0.632	0.794	-0.561	0.574	-0.196	-0.397	-0.535
第 2 主成分	-0.210	-0.193	0.499	0.005	-0.364	-0.178	-0.400	0.400	-0.062	-0.215
第 3 主成分	-0.591	-0.454	0.189	-0.339	-0.221	-0.533	0.042	-0.198	0.130	-0.562

■ : 有意水準5%のt-検定で有意

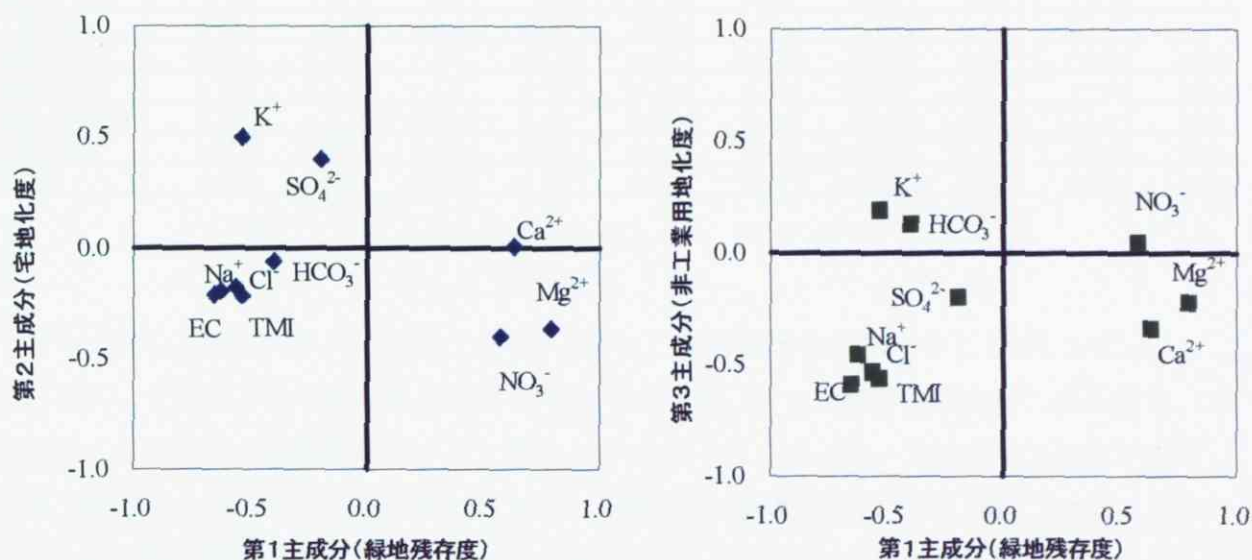


図 31. 真間川全流域の主成分とイオン濃度との相関係数の散布図。

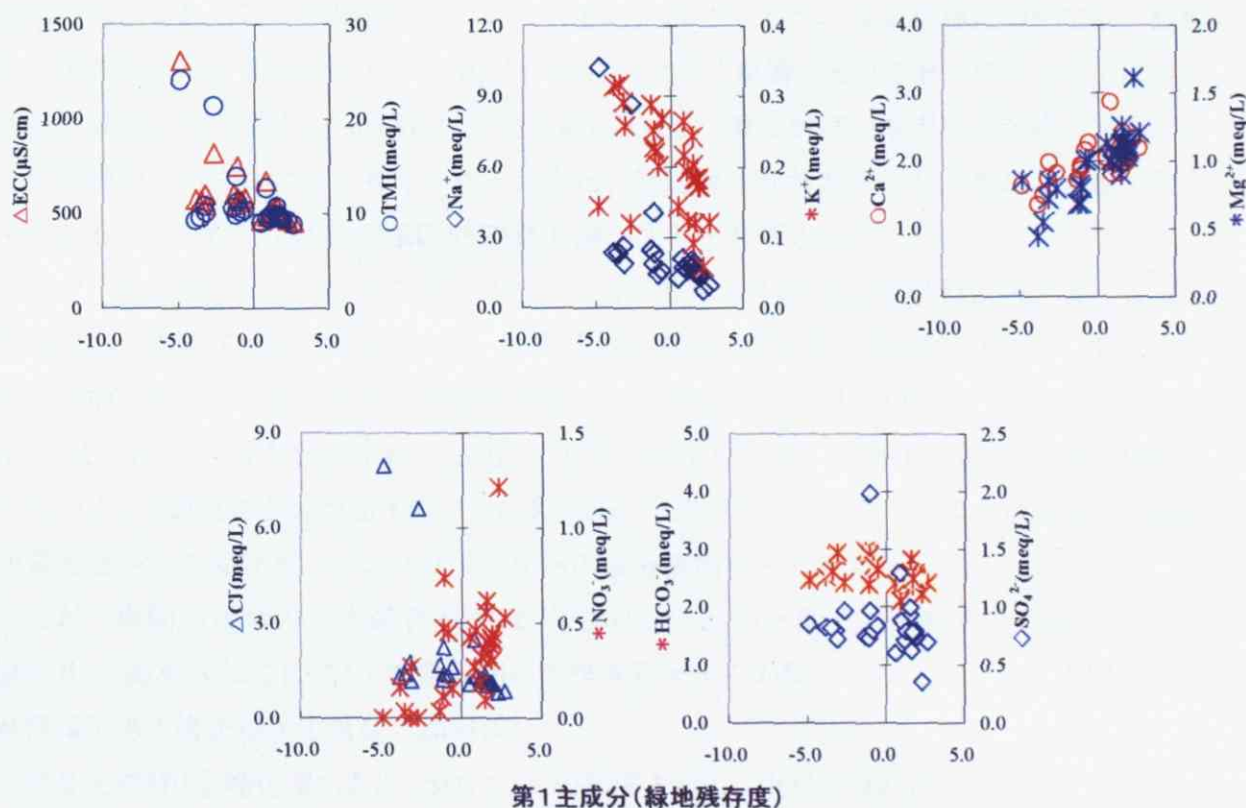


図 32. 第 1 主成分とイオン濃度の関係の散布図。

一方、土地利用項目とイオン濃度との単相関係数は表 25 のようになる。

表 25. 真間川全流域の土地利用と水質の単相関係数。

	EC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TMI
山林・荒地	-0.581	-0.547	-0.581	0.365	0.720	-0.511	0.644	-0.363	-0.424	-0.503
農業用地	-0.440	-0.453	-0.563	0.640	0.779	-0.393	0.529	-0.201	-0.276	-0.351
造成地・空地	0.014	-0.049	0.106	0.478	0.206	0.059	-0.065	0.187	-0.166	0.053
工業用地	0.956	0.859	-0.014	-0.277	-0.324	0.838	-0.323	0.308	0.102	0.863
低層住宅地	-0.330	-0.240	0.457	-0.142	-0.445	-0.274	-0.391	0.439	-0.015	-0.300
高層住宅地	0.385	0.345	0.522	-0.639	-0.730	0.300	-0.453	-0.092	0.169	0.236
商業・業務用地	0.735	0.717	0.333	-0.625	-0.698	0.644	-0.501	0.223	0.344	0.636
公園・緑地	0.095	0.133	0.163	-0.223	-0.156	0.107	-0.009	-0.297	0.404	0.104
その他	0.478	0.440	0.688	-0.539	-0.827	0.387	-0.613	0.219	0.456	0.354

: 有意水準5%のt-検定で有意

第1主成分「緑地残存度」は  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$  と有意な正の相関を示し、EC、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、TMI とは有意な負の相関を示した(表 24)。第1主成分には山林、農業用地、造成地・空地の3土地利用項目が正に関与している(図 28、29)。土地利用と水質との単相関(表 25)をみると、山林・荒地は  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$  と、農業用地は  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$  と、また、造成地・空地は  $\text{Ca}^{2+}$  と有意な正の相関が示す。すでに国分川や大柏川で述べたように、山林・荒地については、有機物や腐植が分解され、アンモンニアから酸化されることによって  $\text{NO}_3^-$  と  $\text{H}^+$  とが生じ、土壌コロイドに吸着している  $\text{Ca}^{2+}$  や  $\text{Mg}^{2+}$  はこの  $\text{H}^+$  と置換して放出されることが指摘されている(塚本、1992)。また、農業用地についても、肥料や土壌改良剤などが河川の  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$  に大きく影響する(小倉、1983; 小川ほか、1998; 田淵、1999 など)。造成地・空地において  $\text{Ca}^{2+}$  濃度が高い原因は、新規コンクリート構造物からの成分溶出と考えられる。また、緑地残存度が大きいと、量的に大きな割合を占める  $\text{Na}^+$  や  $\text{Cl}^-$  が減少し、EC や TMI も減少すると判断される。

一方、第1主成分の固有ベクトルにおいて負の値を示すのは公園・緑地、その他、商業・業務用地、高層住宅地、低層住宅地、工業用地の6項目である。表 25 によれば、公園・緑地は  $\text{HCO}_3^-$  と、その他や商業・業務用地は EC、TMI、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{K}^+$  と、高層住宅地は EC、 $\text{K}^+$ 、低層住宅地は  $\text{K}^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、工業用地は EC、 $\text{Na}^+$ 、TMI と有意な相関を示す。それゆえ、高濃度に含まれる EC、TMI、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  の由来は家庭からの生活排水、工業、商業用地からの雑排水、コンクリートからの成分溶出などと考えられる。

なお、真間川流域の下水道普及率は、人口比で 29% と低く、家庭からの排水等が直接河川へ排水されている(千葉県真間川改修事務所からの聞き取り、および、真間川流域水循環系再生構想検討委員会、2004)。

第2主成分「宅地化度」は  $\text{K}^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  と正の相関を示し、 $\text{NO}_3^-$  と負の相関を示した(表 24)。第2主成分に対しては低層住宅地、高層住宅地、造成地・空地、その他の4項目が正のベクトルを持つ。先に指摘したように、低層住宅地は  $\text{K}^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  と高い相関を持ち、その他



や高層住宅地は  $K^+$ 、EC と、また、造成地・空地は  $Ca^{2+}$  と有意な相関を示すことから、 $K^+$ 、 $SO_4^{2-}$  は宅地からの排水（生活排水中の硫酸塩など）、その他の中に含まれる公共施設や道路用地由来と推察される。また、造成地・空地は  $K^+$ 、 $SO_4^{2-}$  には影響を与えない可能性が示唆される。一方、 $NO_3^-$  が負の相関を示した原因は、第2主成分の固有ベクトルと因子負荷量(図 28、29)および土地利用項目とイオン濃度の単相関関係（表 25）から、低層住宅地や高層住宅地が見かけ上関与している。しかし、 $NO_3^-$  の減少は、住宅地の増加にともなって山林・荒地や農業用地が減少し、それにともなって  $NO_3^-$  も減少するためと考える。

第3主成分「非工業用地化度」は EC、TMI、 $Cl^-$ 、 $Na^+$  が有意な負の相関を示している(表 24)。これらのイオン種は第3主成分において負の固有ベクトルを持つ土地利用項目が大きくなると増加することを意味している。固有ベクトルと因子負荷量の成分をみると(図 28、29)、農業用地、造成地・空地、工業用地、商業・業務用地、その他の5項目が負のベクトルを持つ。工業用地は EC、TMI、 $Na^+$  と、商業・業務用地も EC、TMI、 $Na^+$ 、 $Cl^-$  と、さらに、その他も EC、 $Na^+$ 、 $K^+$ 、 $Cl^-$ 、 $HCO_3^-$  と有意な相関を示すことから、EC、TMI、 $Cl^-$ 、 $Na^+$  は工業用地、商業・業務用地、公共施設用地からの排水に由来すると考えられる(表 25)。

以上をまとめると、国分川、大柏川、および、真間川全流域のいずれの流域でも、3主成分が抽出され、第1主成分は緑地残存度、第2主成分は宅地化度、第3主成分は工業地化度（真間川全流域では、逆の「非工業地化度」となる）を示している。

第1主成分「緑地残存度」は  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $NO_3^-$  と正の相関を示し、EC、 $Na^+$ 、 $K^+$ 、 $Cl^-$ 、TMI とは負の相関を示す。 $SO_4^{2-}$ 、 $HCO_3^-$  とは正と負の相関を示す場合があるが、比較的には正の相関は弱く、負の相関を持つといえる。

第2主成分「宅地化度」が大きいと、 $NO_3^-$  減少し、 $K^+$ 、 $SO_4^{2-}$  は増加する。 $SO_4^{2-}$  は生活排水中の硫酸塩に由来すると考えられる。 $NO_3^-$  の減少は、宅地化度の増加にともなって、 $NO_3^-$  を大量に出す山林・荒地や農業用地が減少するためと考えられる。

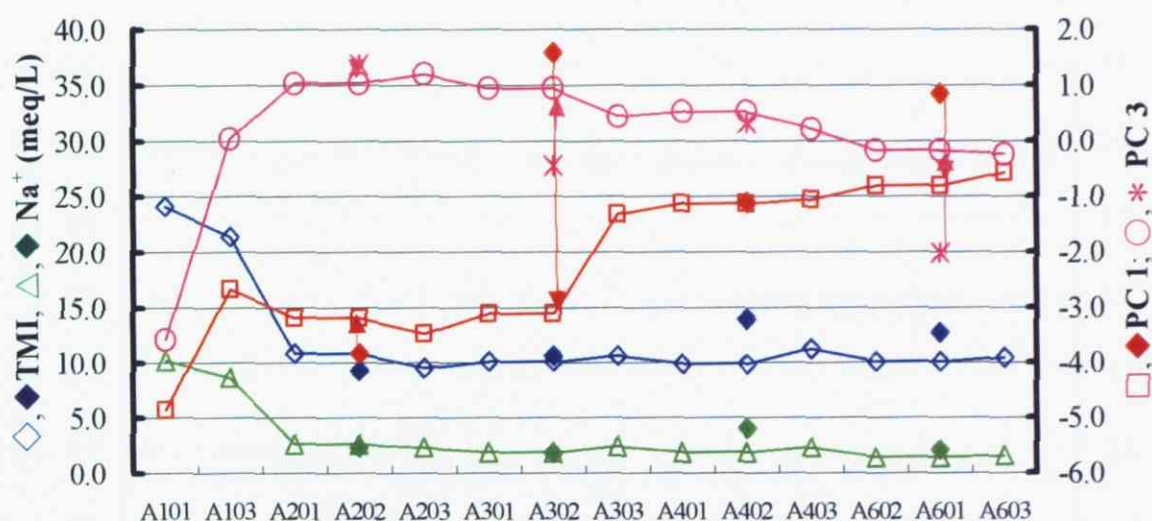
第3主成分（工業用地化に関する成分）も国分川と大柏川とで異なったベクトルを示すことが多い。真間川全体での結果からみると、工業用地化は EC や TMI を始め多くのイオン種を増加させると考えられる（表 24 は「非工業用地化」であるので、負の相関を示す）。

### 5-5 真間川の水質形成過程

前節で検討した主成分と水質との関係に基づいて、本節では、河川の上流から下流にかけての水質の変化とその形成過程について検討する。

既述のように、国分川では上流から下流に向かってヘキサダイアグラムの大きさ（イオン濃度：TMI）と形（イオン組成）が大きく変化する（図 12）。たとえば、最上流部で主要イオン総量（TMI）が大きく、そこから下流に向かって急激に濃度は低下し、その後、横ばいになる（図 18）。山地河川が源流部から下流に向かって TMI が増加するのは対照的で、都市河川の特徴を示しているといえる。TMI、 $Na^+$  およびこれらと有意な負の相関を

示す（表 24）第 1 主成分（PC1：緑地残存度）および第 3 主成分（PC3：非工業地化度）の上流から下流に向かっての変化を図 33 に示した。



A202、A302、A402、A601 で支流が合流する。◇、△、□、○は本流のデータ、◆、◆、◆、\*は支流のデータ。矢印は主成分の支流と本流との違いを示す。

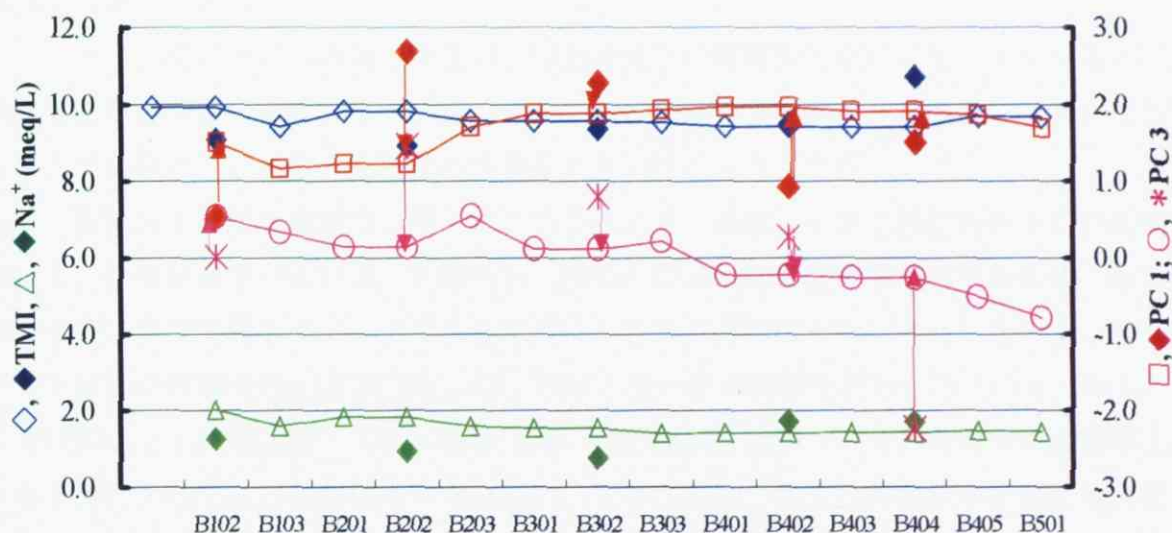
図 33. 国分川沿いの TMI、Na<sup>+</sup> および PC1、PC3 の変化。

最上流部で TMI が高いのは、A101 地点より上流域（A101 流域と表現する）で PC1 および PC3 がともに負の大きな値になるからである。すなわち、A101 流域では山林・荒地や農業用地が少なく、工場地帯（松飛台工業団地）が広がっている（非工業地化が負）ために TMI が高くなっていると考えられる。A101 から A103 にかけて PC1、PC3 とともに急激に増加し、これにともなって TMI は急激に減少する。すなわち、工場地帯をはずれ、山林・荒地や宅地、公園が急速に増加するためである。A202 で TMI のやや低い支流が合流し、本流の TMI もやや低下する。この支流の PC1 は小さいが、PC3 が大きいため TMI がそれほど小さくはならないと考えられる。A302 でやや TMI の高い支流が合流し、本流の値もやや高くなる。この支流では PC1 は大きい PC3 が小さく、両者が打ち消しあって、結果として TMI に大きな影響を与えていないといえる。A402 では TMI の高い支流が合流し、本流の値も大きくなる。この支流の PC1 は中庸の値を示すが、PC3 が小さいため、TMI が大きくなったと考えられる。A601 では TMI のやや高い支流が合流し、本流の TMI もやや高くなる。この支流では PC1 が大きい PC3 が流域の中で最も小さな値を示し、このため TMI が大きくなったものと考えられる。

大柏川では既述のように、上流から下流にかけてヘキサダイアグラムの大きさ（イオン濃度）や形（イオン組成）が大きくは変化しない（図 14）。国分川と異なって、源流部での第 1 主成分の値は正の値を示し、下流に向かっての変化も小さい（図 34）。国分川に比べ、大柏川流域全体に緑地が残っていることを示している。支流が合流するごとに、その



影響を受けてわずかに TMI や  $\text{Na}^+$  は変化するが（図 34）、合流してくる支流の土地利用の主成分得点の値は、本流との差異が小さい。結果として、本流と類似の水質を持った支流の水が合流してくるため、TMI やイオン組成が大きくは変わらないと考えられる。



B102、B202、B302、B402、B401 で支流が合流する。◇、△、□、○は本流のデータ、◆、◇、◆、\*は支流のデータ。矢印は主成分の支流と本流との違いを示す。

図 34. 大柏川沿いの TMI、 $\text{Na}^+$  および PC1、PC3 の変化。

以上のように、支流が合流することによって本流の水質が変化する。支流の土地利用構成（主成分構成）が本流と大きく異なる場合は、支流の水質も本流のそれと大きく異なるため、その影響が顕著に現れる。それぞれの主成分は水質に異なった影響（濃度を高める：+、あるいは、濃度を低める：-）を与えるが、支流の土地利用構成の本流に沿っての変化（主成分構成の変化）において、主成分がともに+（あるいは、-）の方向に変化する場合、影響が顕著に現れ、主成分の一方が+、他方が-に変化するときには、双方の影響が打ち消しあって、結果として、水質に大きな変化が現れない場合のあることがわかる。なお、支流の影響の強さには、本流と支流との流量比が関係すると考えられるが、量的な検討は今後の課題である。

## 第6章 まとめ

本研究では都市河川である真間川を取り上げ、無機イオンを対象に水質の実態を把握するとともに、流域の土地利用と水質との関係、水質の形成過程を考察した。本研究の結果は以下の通りである。

1. イオン種ごとに、流量と濃度および負荷量との相関分析を行った。イオン濃度は流量と有意な相関を示さないことから、地点ごとの流量の違いはイオン濃度には大きな影響を与えていないといえる。負荷量は流量が大きいほど大きくなる。

2. 国分川と大柏川流域は、流下にとまなうイオン組成とその下流に向かっての変化において、性格が異なっている。すなわち、国分川は典型的な都市河川であるため、最上流部でイオン濃度が最も高く、上流から下流にかけて水質は様々なパターンを示す。また、イオン種間の相関では、EC は  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、TMI と高い正の相関を持ち、 $\text{Na}^+$  は  $\text{Cl}^-$ 、TMI と、 $\text{K}^+$  は  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  は  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$  は TMI と高い正の相関を持つ。一方、大柏川の水質は上流から下流にかけて大きな変化はみられない。この原因は、各支流が類似の土地利用構成を持ち、類似の水質の支流が合流するためである。イオン種間の相関では  $\text{HCO}_3^-$  と TMI を除いて、いずれのイオン種も他のイオン種と強い相関を持つ。真間川全流域におけるイオン種間の相関では、 $\text{Na}^+$  と  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  と  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  と  $\text{NO}_3^-$  とが特に高い相関を示し、EC および TMI の変化は  $\text{Na}^+$  と  $\text{Cl}^-$  の変化に強く依存している。

3. 国分川流域および大柏川流域において土地利用項目間の単相関分析を行った結果、国分川では、山林や農地が残されている所では住宅、商業、工業地が少なく、商業地は工業地と接近して存在するなど、通常想定される都市化地域の土地利用分布を示している。大柏川は工業用地と高層住宅地とが隣接して立地していることや商業地域が未発達であることを示し、土地利用分布において国分川流域とは大きく異なっている。なお、大柏川流域で公園・緑地が農業用地と正の相関、工業用地や低層住宅地と負の相関を示すが、これは谷津が緑地保全地域として設置されていることによる。

4. 国分川、大柏川および真間川全流域において土地利用の主成分分析を行った結果、いずれの流域でも、3 主成分が抽出された。第1主成分は緑地残存度、第2主成分は宅地化度、第3主成分は工業地化度（真間川全流域では、逆の「非工業地化度」となる）を意味していると考えられた。因子負荷量の散布図上で、土地利用項目は幾つかのまとまりを示し、それぞれの主成分の意味を代表する土地利用項目のまとまりとして、「緑地」、「宅地」、および、「工業地」に類型化できる（図 35）。一般的な土地利用の時代変化は図 35 中の矢印の方向に進むと考えられるが、詳細は今後の検討課題である。



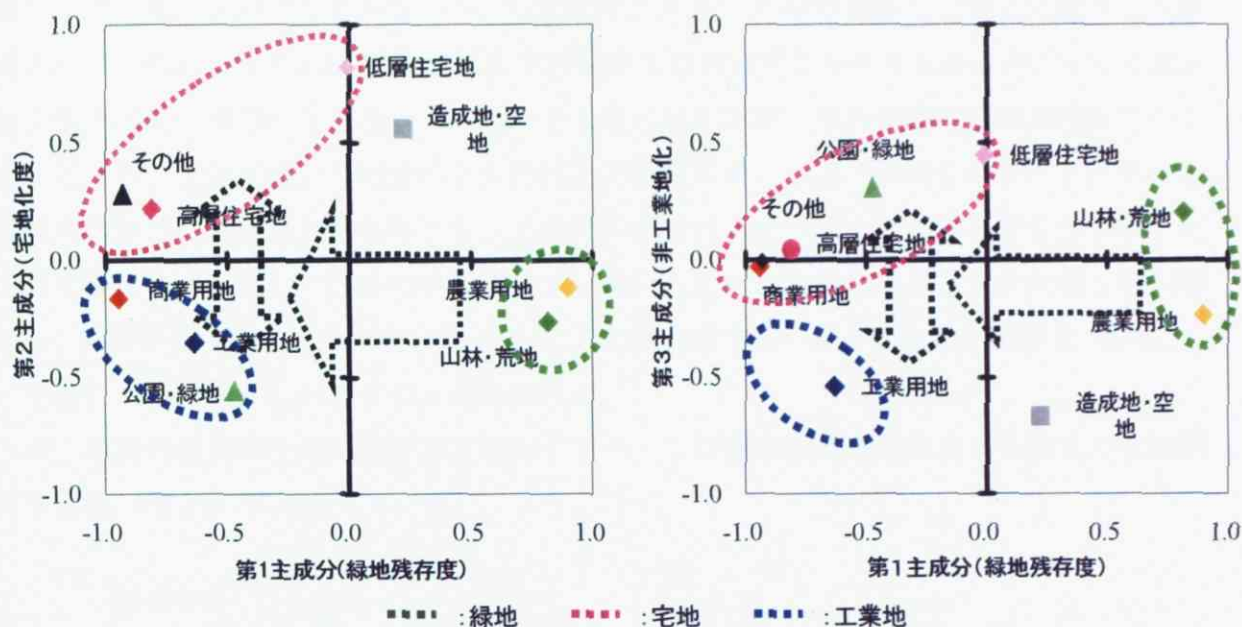


図 35. 真間川全流域における因子負荷量の散布図上での類型。

5. 土地利用の主成分と水質との関係では、第1主成分は  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$  と正の相関を示し、 $\text{EC}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{TMI}$  とは負の相関を示す。 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$  とは正と負の相関を示す場合があるが、比較的には負の相関を持つといえる (図 36)。

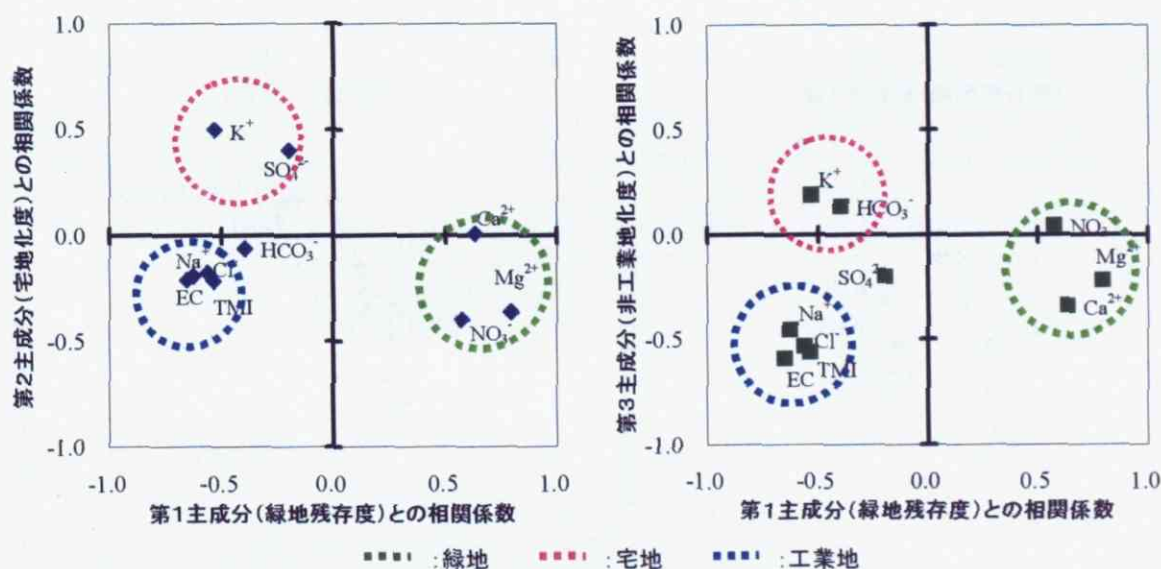


図 36. 土地利用の主成分とイオン種の相関係数の散布図

土地利用と水質との単相関分析にもとづくと、第1主成分で正の固有ベクトルを持つ山林・荒地は  $\text{NO}_3^-$  と、農業用地は  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$  と強い相関を持つ。前者は腐植層の無機化に由来し、後者は肥料や土壌改良剤などに由来すると考えられる。また、第1主成分に対して正の固有ベクトルを持つ造成地・空地は  $\text{Ca}^{2+}$  と高い相関をもつが、これは新規のコンクリート構造物からの溶出と推測される。第2主成分は国分川と大柏川とで水質に

対して逆の相関を示すことが多いが、宅地化度が大きいと  $\text{NO}_3^-$  減少し、 $\text{SO}_4^{2-}$  は増加する傾向を持つ。宅地からの  $\text{SO}_4^{2-}$  は生活排水中の硫酸塩に由来すると考えられるが、 $\text{NO}_3^-$  の減少は、宅地化度の増加にともなって、 $\text{NO}_3^-$  を大量に出す山林・荒地や農業用地が減少するためと考える。第3主成分も国分川と大柏川とで水質に対して逆の相関を示すことが多い。真間川全体での分析結果からみると、工業化の進展は  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  をはじめとする多くのイオン種を溶出させ、EC や TMI の値を高めている。上記の土地利用項目とイオン種との関係から、相関係数の散布図上でのまとまりは、図 36 に示すように、土地利用類型の「緑地」、「宅地」、「工業地」に対応すると考えられる。

6. 本流の水質は下流に向かって変化するが、この変化は調査地点より上流域の土地利用の変化（図 37）に対応している。

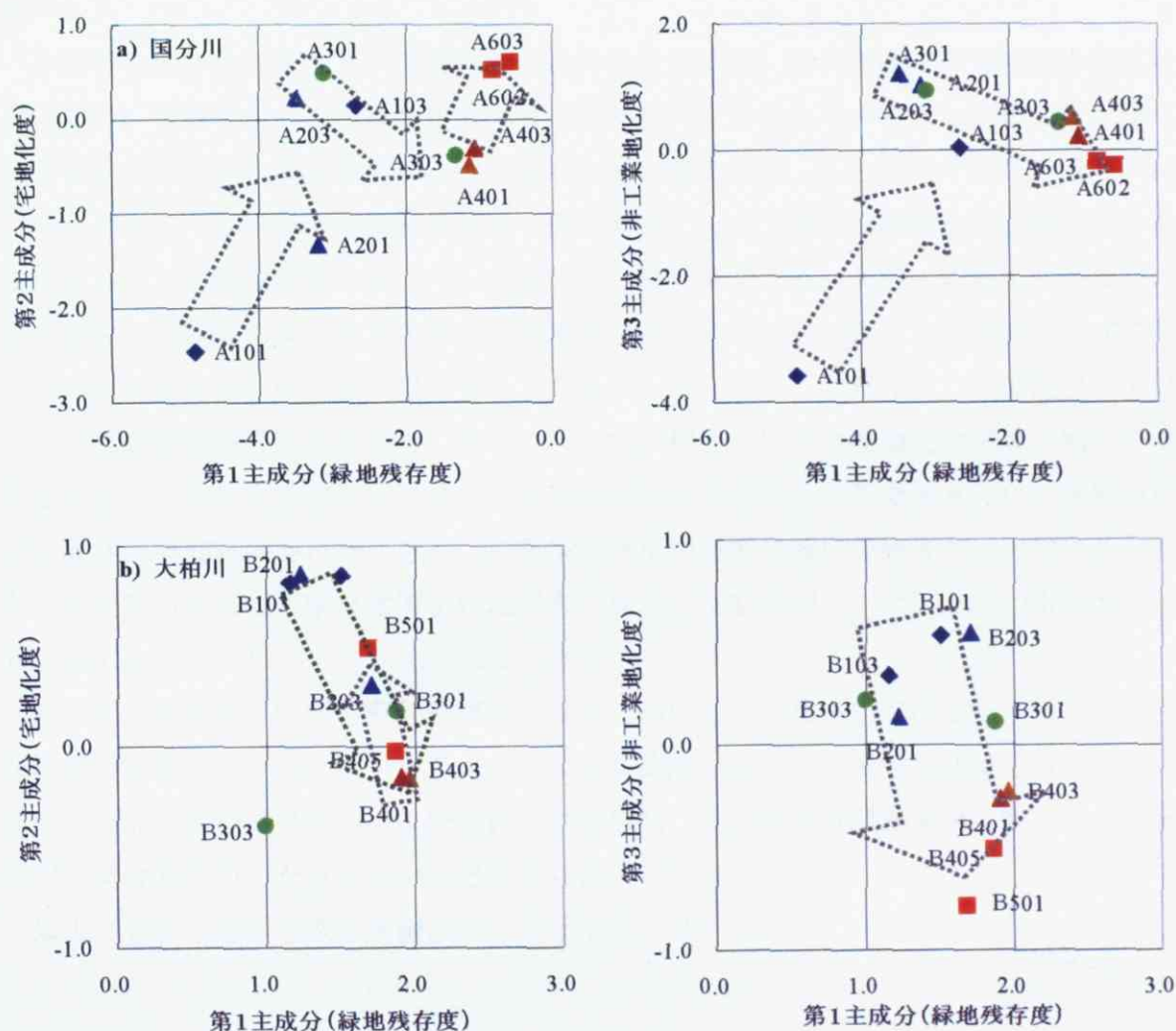


図 37. 上流から下流に向かっての土地利用の主成分得点の変化

国分川では最上流部で主要イオン総量（TMI）が大きく、そこから下流に向かって急激に濃度は低下し、その後、横ばいになるが、これは、最上流部での「工業地」の卓越、そ



の下流側での「緑地」および「宅地」の急増、その後の「緑地」の増加と「宅地」の減少といった土地利用特性の変化に対応する。支流の土地利用構成が本流のそれと大きく異なる場合があり、支流が交わることによって、本流の水質が大きく変化する。大柏川では、上流から下流にかけて水質が大きくは変化しない。これは、国分川と異なって、「宅地」、「工業地」の主成分得点の変動は±1の範囲内にある（図37）ことからわかるように、流域全体に「緑地」が残っており、かつ、他の土地利用種類の違いも小さいためである。なお、上流から下流にかけて並ぶ支流群において、支流の土地利用が変化する場合、水質（イオン濃度）に対して、ある主成分が+に、他の主成分が-に変化するときには、双方の影響が打ち消しあって、水質（イオン濃度）に大きな変化が現れないことがある。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、指導教授大森博雄先生には、研究課題や調査地域の設定などをはじめ、終始暖かいご指導を頂き、大変お世話になりました。また、東京大学大学院新領域創成科学研究科環境学専攻自然環境コースの諸先生方、院生の方々は自然環境学演習（コースゼミ）や自然環境動態学演習（動態ゼミ）などで適切な指摘と有意義な助言をいただきました。現地調査に関して、大森先生、須貝俊彦先生、大田 剛先生には真間川巡検を設定していただき、東京大学理学部地理学課程の学部生の皆さんや新領域創成科学研究科の大学院生の多くの方のご協力をいただきました。また、大森先生、太田先生、本コースの自然環境構造学分野の田林 雄さん、中山大輔さんには現地調査の指導・協力をいただきました。こうした方々のご協力で貴重なデータを得ることができました。水質分析には、理学系研究科の谷川晋一さん、自然環境構造学分野の篠村善徳さん、田林さんを始めとする先輩の方々に丁寧な指導をいただき、また、GISに関しては、安形 康先生に大変お世話になりました。

本研究対象地域に関する資料や情報の提供において、千葉県市川市役所、松戸市役所、鎌ヶ谷市役所の方々および千葉県真間川改修事務所の方々には多大な便宜をはかっていたくとともに、千葉県真間川改修事務所の鎌田精二氏には水質調査実態に関しての丁寧な説明や現地案内の労をとっていただきました。

以上の方々に心から深く感謝に申し上げます。

## 引用文献

- 東田 盛善・佐竹 洋・渡久山 章(2001)：沖縄島の湧水と河川水の化学的特徴と同位体組成。地球化学。35, 27-41.
- Anazawa, K. and Ohmori, H. (2001) Chemistry of surface water at a volcanic summit area, Norikura, Central Japan: Multivariate statistical approach, Chemosphere, 45, 807-816.
- Anazawa, K. and Ohmori, H. (2005) The hydrochemistry of surface waters in andesitic volcanic area, Norikura volcano, Central Japan. Chemosphere, 59, 605-615.
- 新井 正・藤原寿和・船田照子・雨宮 優・植田芳明・岡田浩美・長沼 信 (1987)：東京における河川環境と湧水。地域研究、28, 1-16.
- 千葉県真間川改修事務所(2003)：真間川、22p.
- 半谷高久・安部喜也編著 (1972)：水質汚濁研究法。丸善、346p.
- Hoare, R.A. and Rowe, L.K. (1992): Water quality in NZ. In New Zealand Hydrological Society (ed.): Water of New Zealand, Caxton Press, Christchurch, 207-228.
- 市川 新(1980)：都市河川の環境科学。培風館、247p.
- 市川市環境保全課 (1988)：水質汚濁。市川市の環境 (昭和 62 年度版)、51-69.
- 市川市環境保全課 (1993)：水質汚濁。市川市の環境 (平成 4 年度版)、55-79.
- 市川市環境政策課 (2002)：水環境。市川市の環境 (平成 13 年版)、57-64.
- 市川市環境政策課 (2003)：水環境。市川市の環境 (平成 15 年版)、68-73.
- 井上千晶・小倉紀雄(2000)：大規模農業地域における土地利用と地化水水質の関係。日本水文科学会誌。30(4), 149-162.
- 黒田清一郎・田淵俊雄 (1996)：湧水中の硝酸態窒素濃度と負荷量変動—野菜畑地からの硝酸態窒素流出特性に関する研究(I)—, 農業土木学会論文集, No. 181, 31-38.
- 真間川流域研究会 (1983)：水防都市構想—真間川流域の治水と街づくりの提案。224p.
- 真間川流域水循環系再生構想検討委員会(2004)：真間川流域水循環系再生構想。千葉県真間川改修事務所、41p.
- 永井 茂 (1991)：地下水汚染の水文化学的アプローチ—無機 汚染の実態と問題点—。地下水学会誌, 33, 145-154.
- 永井 茂 (1992)：地下水の無機汚染の実態と問題点。地質ニュース, No. 451, 20-28.
- 小川 祐美・田瀬 則雄・檜山 哲哉・嶋田 純 (1998)：埼玉県金子台地付近における不圧地下水の硝酸性窒素の起源に関する一考察。日本水文科学会誌、28(4), 125-134.
- 小倉紀雄(1978)：多摩川の富栄養化に及ぼす人間活動の影響。「環境科学」研究報告集、B11-R12-12, 35-40.
- 小倉紀雄 (1980)：多摩川流域 (南浅川) における物質循環とそれに及ぼす人間活動の影響。陸水学雑誌、41, 138-146.

- 小倉紀雄 (1983) : 大栗川流域の土地利用が河川水・地下水質に及ぼす影響に関する研究。  
とうきゅう環境浄化財団研究助成、No. 57, 35p.
- 小倉紀雄・宇田川隆男 (1978) : 青柳段丘の浅層地下水質—とくに硝酸塩について—。水道協会雑誌。No. 529, 32-41.
- 小倉紀雄・宝月欣二 (1981) : 南浅川における物質循環と人間活動。「環境科学」研究報告集、B74-R12-4, 217-226.
- 小倉和子・黒田良隆・塩谷 真・浜名 浩・田名部修弘・安孫子晴彦・山崎正夫・落合正宏 (1976) : 夏期多摩川における水質の時間変動ならびにそれによって推定された光合成量および分解量について。用水と廃水、18, 49-58.
- 大森博雄 (1993) : 水は地球の命づな。岩波書店、141p.
- 大森博雄 (2003) : 「高精度測定法による多摩川水系の水収支・物質収支の動態把握と河川水質機構の解明」。とうきゅう環境浄化財団。No. 227, 37pp.
- 太田 剛・大森博雄 (2004) : 「河川の溶存無機イオン負荷量測定法の改良とその精度検討」。日本水文科学会誌。34(3) 173-187.
- 岡田光正 (1990) : 降雨時における中小都市河川からの汚濁負荷流出量の把握と多摩川水系の汚濁に関する研究。とうきゅう環境浄化財団研究助成、No. 125, 30p.
- 桜井善雄 (1975) : 農地排水による河川および地下水の汚染。農業土木学会誌, 43, 518-524.
- 桜井哲朗・福島和夫・山田哲雄(1998) : 北アルプス水の水質特性と地質環境。陸水学雑誌, 59, 87-100.
- 篠村 善徳 (2004) : 下総台地におけるGISを用いた土地利用データと湧水水質との関係について。環境情報科学論文集、18, 399-402.
- 杉盛啓明・大森博雄 (1996) : 土地利用データによる多摩川中下流域の景観動態把握。GIS—理論と応用、4, 51-62.
- 鈴木基之・川島博之 (1979) : 都市河川における汚濁物質の挙動に関する研究—野川最下流における24時間観測の結果の考察を中心として—。生産研究、31, 541-544.
- 田淵俊雄 (1999) : 水・土壌圏における窒素の挙動と循環、用水と排水、41(10)、886-890.
- 田淵俊雄・黒田久雄・稲葉 昭・川野宏明・海老名保孝・堀角京美 (1991) : 非灌漑期の農業集水域からの流出水の窒素濃度と負荷—面源主体の農業集水域からの流出負荷に関する研究(I)—。農業土木学会論文集、154, 45-53.
- 田中良美・小倉紀雄 (1978) : 河川水質に及ぼす人間活動の影響 - 第一報 - 、平日と休日の水質変動。用水と廃水、20, 1168-1175.
- 寺尾 宏・梶川正勝・森下有輝・加藤喜久雄 (1985) : 畑作地帯の地下水に対する農薬・肥料の影響。地球化学、19, 37-38.
- 塚本良則 (1992) : 現在の林学6・森林水文学。文永堂出版、319p.
- 鶴巻道二 (1992) : 浅層地下水の硝酸態窒素。地下水学会誌、34, 153-162.



# 真間川の水質と流域の人間活動との関係

2005 年 9 月環境学専攻自然環境コース 36774 丁 長梅

指導教員 教授 大森博雄

キーワード;河川水質、水質汚染、土地利用、都市化、主成分分析、真間川

## はじめに

高度経済成長期以降急速に拡大した東京都市圏は、既存市街地における高密度化および都市近郊の台地や丘陵地の都市的土地利用によって特徴づけられ、現在もこの傾向は続いている(杉盛・大森, 1996)。研究対象とした真間川は典型的な都市河川であり、1970 年代以降、汚濁対策がとられてきたが、流域の人間活動を敏感に反映する溶存無機イオンについては実態も明らかにされていない。本研究では無機イオンを取り上げ、真間川の水質の実態を把握し、流域の土地利用と水質との関係および水質の形成過程を考察した。

## 調査対象地域

真間川流域は千葉県西端の南部、江戸川の左岸の下総台地西部に位置し、首都圏近郊の市川、松戸、鎌ヶ谷、船橋の 4 市にまたがった長さ 37.6 km、流域面積 66km<sup>2</sup> の首都圏の代表的な都市河川である(図 1)。2003 年度の河川汚濁状況(環境省 2004 年 12 月発表)によると、真間川流域の春木川は全国ワースト 1、国分川はワースト 5 となっている。真間川は国分川(本流)と大柏川(支流)からなり、2 河川は合流し東京湾に注ぐ。

## 方法

真間川流域を幾つかの支流域に区分し、支流との合流点において、合流前の本流、支流、合流後の本流の水質を測定した。水質測定は現地で行い、水温、電気伝導度(EC)、pH、アルカリ度を測定し、サンプル水を採取した。イオンクロマトグラフィーを用いて、サンプル水の主要無機イオン濃度(Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)を実験室で測定した。各水質調査地点より上流域の土地利用状況は、国土地理院発行の細密数値情報(10m メッシュ土地利用、1994 年版)をデータとして、GIS ソフトを用いて、土地利用構成比率を算出した。また、流域の土地利用特性を把握するために主成分分析を行った。

各流域の土地利用の主成分と水質との相関関係を吟味し、それぞれの土地利用(人間活動)から流出する水質の特徴、および、河川縦断方向の水質の変化過程を考察した。

## 結果及び考察

国分川は典型的な都市河川で、最上流部でイオン濃度が高く、下流に向かって水質は様々な型を示す(図 1)。

一方、大柏川の水質は上流から下流にかけて大きな変化は見られない。各支流が類似の土地利用構成を持ち、類似の水質の支流が合流するためである。

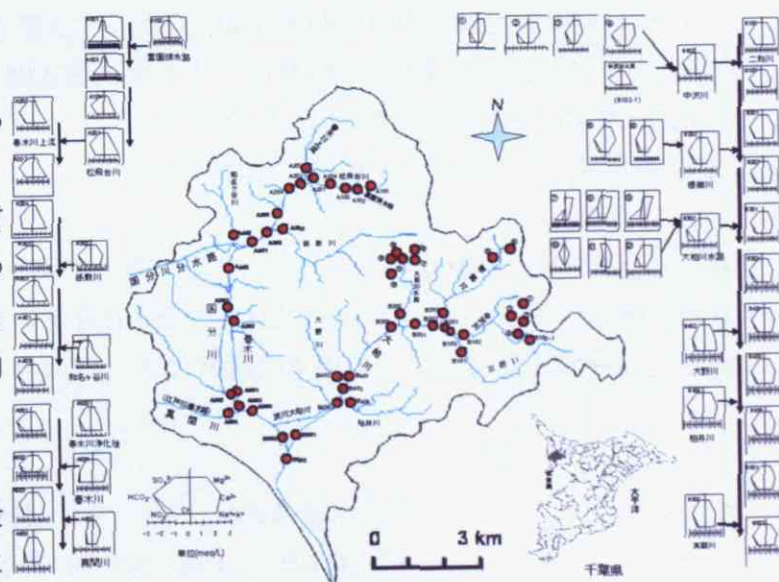


図 1. 真間川の縦断面方向の水質変化



土地利用の主成分分析を行った結果、3主成分が抽出された。第1主成分は緑地残存度、第2主成分は宅地化度、第3主成分は工業地化度（真間川全流域では「非工業用地化度」）を意味していると考えられる。土地利用項目は因子負荷量の散布図上で一定のまとまりを示し、「緑地」、「宅地」及び「工業地」に類型化できる（図2）。

土地利用主成分と水質の関係は、緑地残存度は $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$ と正の相関、EC、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、TMIとは負の相関を示す。 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ は負の相関を持つ（図3）。特に、緑地残存度で正の固有ベクトルを持つ山林・荒地は $\text{NO}_3^-$ と、農業用地は $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$ と強い相関を持つ。前者は腐植層の無機化に由来し（塚本,1992）、は肥料や土壌改良剤などに由来する（小川ほか,1998など）。また緑地残存度に正の固有ベクトルを持つ造成地・空地は $\text{Ca}^{2+}$ と高い相関を持つが、コンクリート構造物からの溶出と推測される。宅地化度が大きいと $\text{NO}_3^-$ は減少し、 $\text{SO}_4^{2-}$ は増加する。 $\text{SO}_4^{2-}$ は生活排水中の硫酸塩に由来し、 $\text{NO}_3^-$ の減少は宅地化度の増加にともなう、 $\text{NO}_3^-$ を大量に出す山林・荒地や農業用地が減少するためと考える。工業地化度の進展は $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ をはじめとする多くのイオン種を溶出させ、ECやTMIの値を高めている。上記のように、主成分とイオン種との関係は「緑地」、「宅地」、「工業地」に対応すると考えられる（図3）。

一方、支流が合流することによって本流の水質は変化する。支流の土地利用構成（主成分構成）が本流と大きく異なる場合は、支流の水質も本流のそれと大きく異なるため、その影響が顕著に現れた。類似している場合は影響が小さい。なお、支流の本流に対する影響の度合いは流量も関係しているが、今後の課題である。

#### 文献

- 小川 祐美・田瀬 則雄・檜山 哲哉・嶋田 純（1998）：埼玉県金子台地付近における不圧地下水の硝酸性窒素の起源に関する一考察。日本水文学会誌、28(4)、125-134。
- 杉盛啓明・大森博雄（1996）：土地利用データによる多摩川中下流域の景観動態把握。GIS—理論と応用、4、51-62。
- 塚本良則（1992）：現在の林学6・森林水文学。文永堂出版、319p。

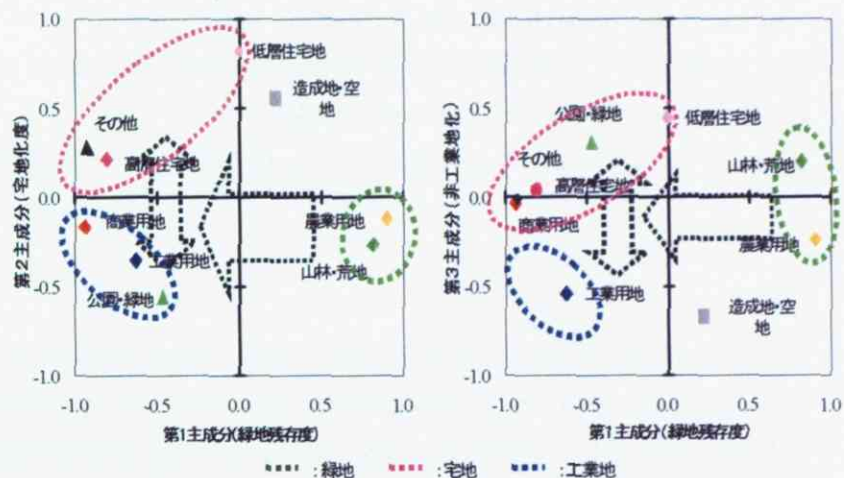


図2. 土地利用項目の因子負荷量の分布

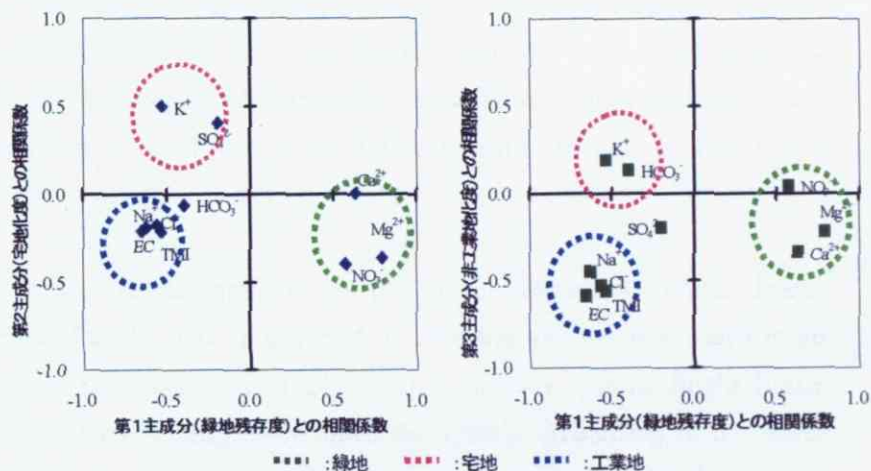


図3. 主成分とイオン濃度との関係



# Relationship between Water Quality and Human Activities in the Mamagawa River, Tokyo Metropolitan Area

Sept. 2005, Institute of Environmental Studies,

Course of Natural Environmental Studies, 36774, Ding Chang Mei

Supervisor; Professor, Hiroo OHMORI

Keywords; River water quality, Deterioration of water quality, Land use, Urbanization, Principal component analysis, Mamagawa river

## I. Introduction

Tokyo metropolitan area, having expanded quickly after rapid economic growth, is characterized by both densely utilization of existing city area and urbanization of suburban uplands. This tendency is still going on. Changes in land use from forests and agricultural fields to residential, commercial and industrial sites have caused remarkable changes in discharge and water quality of the rivers running in the urbanized uplands. Relation between water quality and human activities, however, has not been systematically investigated yet. Land use is considered to be a representative index indicating sensitively the types and degree of human activities. Thus, in this research, water quality will be discussed in relation to land use in a drainage basin running in the Tokyo Metropolitan Area.

## II. Study area

The Mamagawa River which is located in the southwestern part of the Shimousa Upland, Tokyo Metropolitan Area was investigated (Fig. 1). The river length is 37.6 km and the basin area is 66 km<sup>2</sup>. It consists of the Kokubugawa river system and Okashiwagawa river system. In the basin, urbanization has been quickly and intensely progressed since the 1960's. According to the water pollution report by the Ministry of Environment, the Mamagawa river system includes the worst 1 and 5 rivers for water quality in Japan.

## III. Methods

Water temperature, electric (EC), pH, alkalinity were measured in the field, and major inorganic ion concentrations of Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> were analyzed by ion-chromatography in laboratory. Land use in upper-river basins of individual survey points was analyzed on the basis of the detailed digital information of land use in 1994. Principal component analysis was performed to classify land use characteristics in basins.

## IV. Results and Discussion

The Kokubu river is a typical urban river whose uppermost stream shows the highest concentration

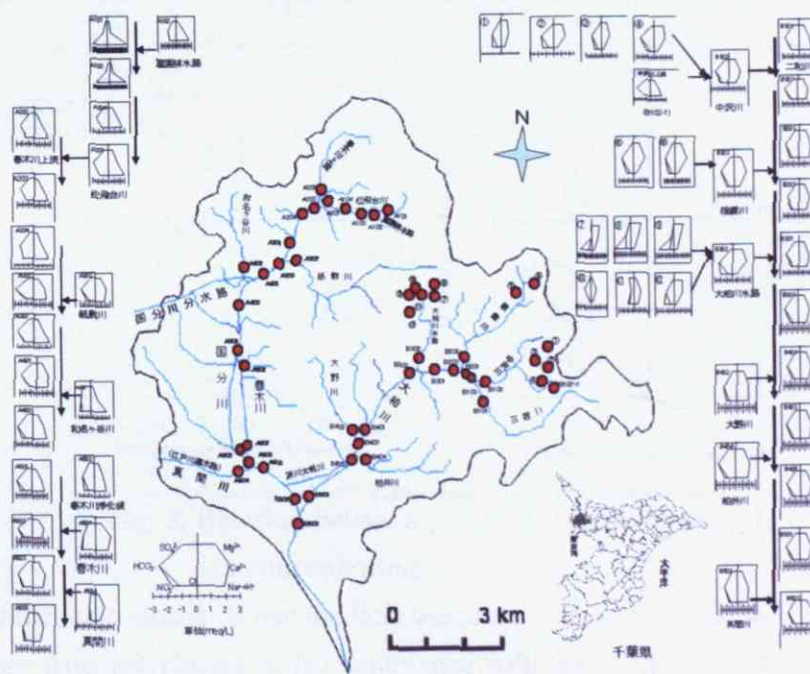


Fig. 1. Along-stream change in water quality of the Mamagawa river.



of TMI (total major ions) and changes in quality down stream (Fig. 1). On the other hand, the Okashiwa river does not show serious change in quality along the stream. The tributaries with a land use type similar to that of main river produce the water with the same quality as that of the main stream.

Principal component analysis yields 3 principal components. The first principal component expresses the degree of coverage with green, the second one indicates the degree of occupation by residential area, and the third one shows the degree of industrial development (negative relation in Figs. 2 and 3).

Land use types are grouped on the basis of the function affecting water quality; the green area, the residential area and the industrial area (Fig. 2).

The green area has a positive correlation to  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{NO}_3^-$ , and a negative correlation to EC,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , TMI at 5 % significant level of t-test. It shows a weak negative correlation to  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{HCO}_3^-$  (Fig. 3).

The forest has a positive correlation to  $\text{NO}_3^-$  in chemical process of production of inorganic matter from humus. The agriculture area has a high correlation to  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{NO}_3^-$  due to fertilizer. The reclaiming area shows a high correlation to  $\text{Ca}^{2+}$ , due to solution from concrete materials.

$\text{NO}_3^-$  decreases and  $\text{SO}_4^{2-}$  increases with an increase in residential area.  $\text{SO}_4^{2-}$  is originated from sulfuric salt included in waste water in residential areas.  $\text{NO}_3^-$  is considered to be decreased due to increasing of the forest and agriculture areas which supply much  $\text{NO}_3^-$  and decrease with an increase in residential areas.

Development of industrial area induces increase in concentration of almost all ions, resulting in increase in EC and TMI.

On the other hand, water quality changes along stream at junctions with tributaries. The tributary with a land use type different from that of main stream strongly affect on water quality of main stream, because the water quality of the tributary is also different from that of the main stream. When the land use of a tributary is similar to that of the main stream, water quality does not change at the confluence with the tributary. The effect of tributary on water quality of main stream should also be controlled with the ratio of discharge between main stream and tributary. This is a future study.

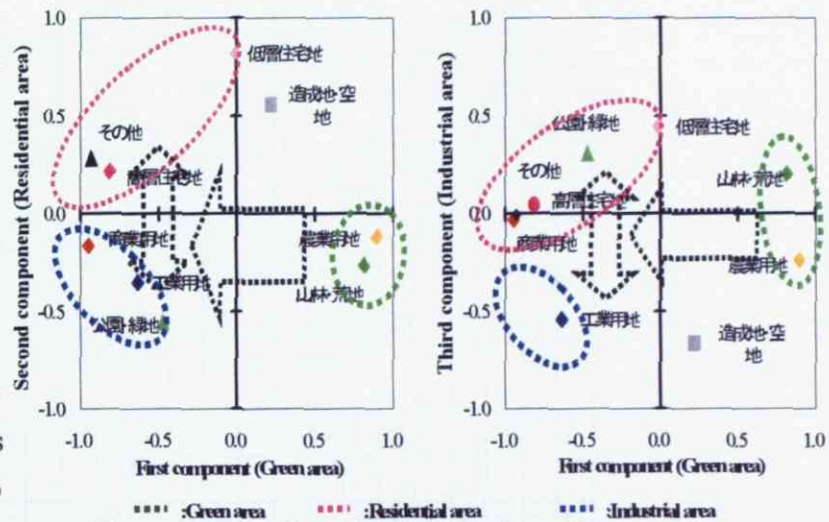


Fig. 2. Distribution of factor loading of land use items.

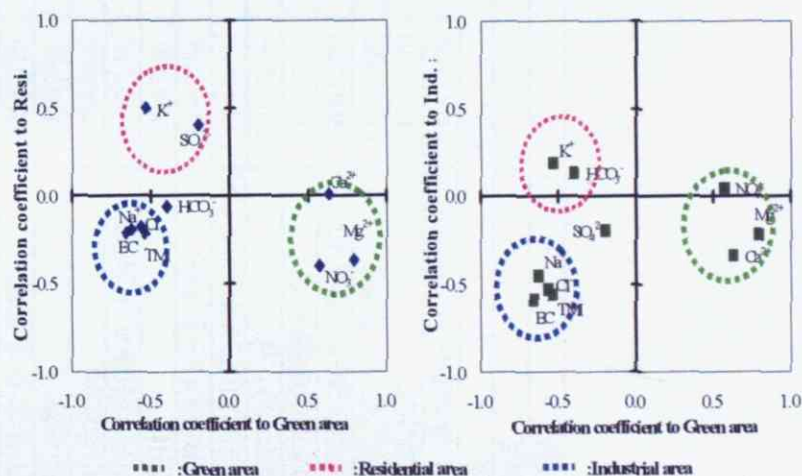


Fig. 3. Relation between principal components and ion concentration.

付表1. 国分川の河川水質データ。

	No.	調査地点	調査年月日	時刻	EC [μS/cm]	水温 °C	pH	Na <sup>+</sup> [meq/L]	K <sup>+</sup> [meq/L]	Ca <sup>2+</sup> [meq/L]	Mg <sup>2+</sup> [meq/L]	Cl <sup>-</sup> [meq/L]	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [meq/L]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [meq/L]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [meq/L]	TMI [meq/L]
国分川流域	A101	松飛台川墓地内上流	2004/3/16	11:30	1307	15.8	7.6	10.23	0.14	1.63	0.86	7.95	0.00	0.84	2.46	24.11
	A102	霊園排水路(支流)	2004/3/16	12:05	586	19.8	7.6	3.48	0.08	1.96	0.45	1.77	0.14	0.94	2.30	11.12
	A103	松飛台川(合流後)	2004/3/16	11:55	822	16.9	7.5	8.66	0.12	1.81	0.79	6.60	0.00	0.97	2.42	21.37
	A104	松飛台川(中間)	2004/3/16	11:00	547	16.1	7.4	2.23	0.27	0.64	1.63	1.38	0.00	0.84	2.54	9.37
	A201	松飛台川(合流前)	2004/3/16	10:15	604	15.5	7.4	2.63	0.29	1.74	0.72	1.76	0.00	0.80	2.89	10.82
	A202	春木川(合流前)	2004/3/16	10:30	574	17.3	7.4	2.35	0.31	1.35	0.44	1.29	0.16	0.83	2.53	9.26
	A203	春木川橋(春木川・合流後)	2004/3/16	10:45	567	17.4	7.4	2.31	0.32	1.49	0.55	1.39	0.03	0.82	2.62	9.53
	A204	小玉橋(春木川中間)	2004/3/16	15:03	656	18.2	7.4	2.96	0.31	0.70	1.74	2.15	0.01	0.78	2.77	11.60
	A301	高槻橋(春木川・合流前)	2004/3/16	15:15	547	17.4	7.5	1.88	0.26	1.97	0.85	1.19	0.27	0.72	2.94	10.09
	A302	音色橋(紙敷川)	2004/3/16	15:30	530	15.6	7.6	1.84	0.09	2.42	1.16	1.03	0.62	0.62	2.83	10.61
	A303	春木川(合流後)	2004/3/16	15:50	602	17.5	7.4	2.47	0.29	1.72	0.68	1.66	0.04	0.75	2.97	10.58
	A401	国分川分水路(春木川・合流前)	2004/3/16	16:05	547	17.8	7.4	1.87	0.25	1.93	0.83	1.19	0.11	0.73	2.93	9.85
	A402	和名谷川	2004/3/16	14:20	747	16.9	7.4	4.06	0.23	1.87	0.69	2.22	0.47	1.98	2.39	13.91
	A403	大橋右岸(春木川・合流後)	2004/3/16	16:35	578	17.2	7.4	2.31	0.22	1.92	0.80	1.38	0.74	0.97	2.89	11.23
	A501	国分川取水口(派川春木川浄化前)	2004/3/16	17:30	569	16.9	7.4	2.26	0.22	0.85	1.97	1.42	0.77	0.94	2.18	11.42
	A502	派川春木川浄化後	2004/3/16	17:37	527	16.9	7.2	2.11	0.22	0.81	1.87	1.22	0.82	0.84	2.13	10.22
	A601	ゆりの木橋(派川春木川)	2003/12/20	16:00	674	10.5	7.5	2.10	0.26	2.87	1.01	2.45	0.27	1.30	2.42	12.68
	A602	排水機場前(国分川・合流前)	2003/12/20	16:20	564	12.2	6.8	1.42	0.20	2.16	1.00	1.36	0.45	0.80	2.72	10.11
	A603	須和田橋(国分川・合流後)	2003/12/20	16:20	581	11.3	7.5	1.60	0.27	2.27	1.01	1.61	0.16	0.84	2.65	10.40
	A604	江戸川導水路	2003/12/20	16:30	300	6.7	7.5	0.91	0.10	1.47	0.53	0.75	0.28	0.75	0.97	5.76
	A605	真間川(導水路・国分川合流後)	2003/12/20	16:40	427	8.8	7.5	1.51	0.16	1.92	0.81	1.25	0.47	0.82	1.76	8.71
平均値					612.2	15.4	7.4	2.91	0.22	1.89	0.77	2.05	0.28	0.90	2.49	11.56
標準偏差					189.7	3.4	0.16	2.29	0.08	0.34	0.19	1.80	0.28	0.28	0.47	4.06
変動係数					0.31	0.22	0.02	0.79	0.34	0.18	0.24	0.88	1.00	0.31	0.19	0.35

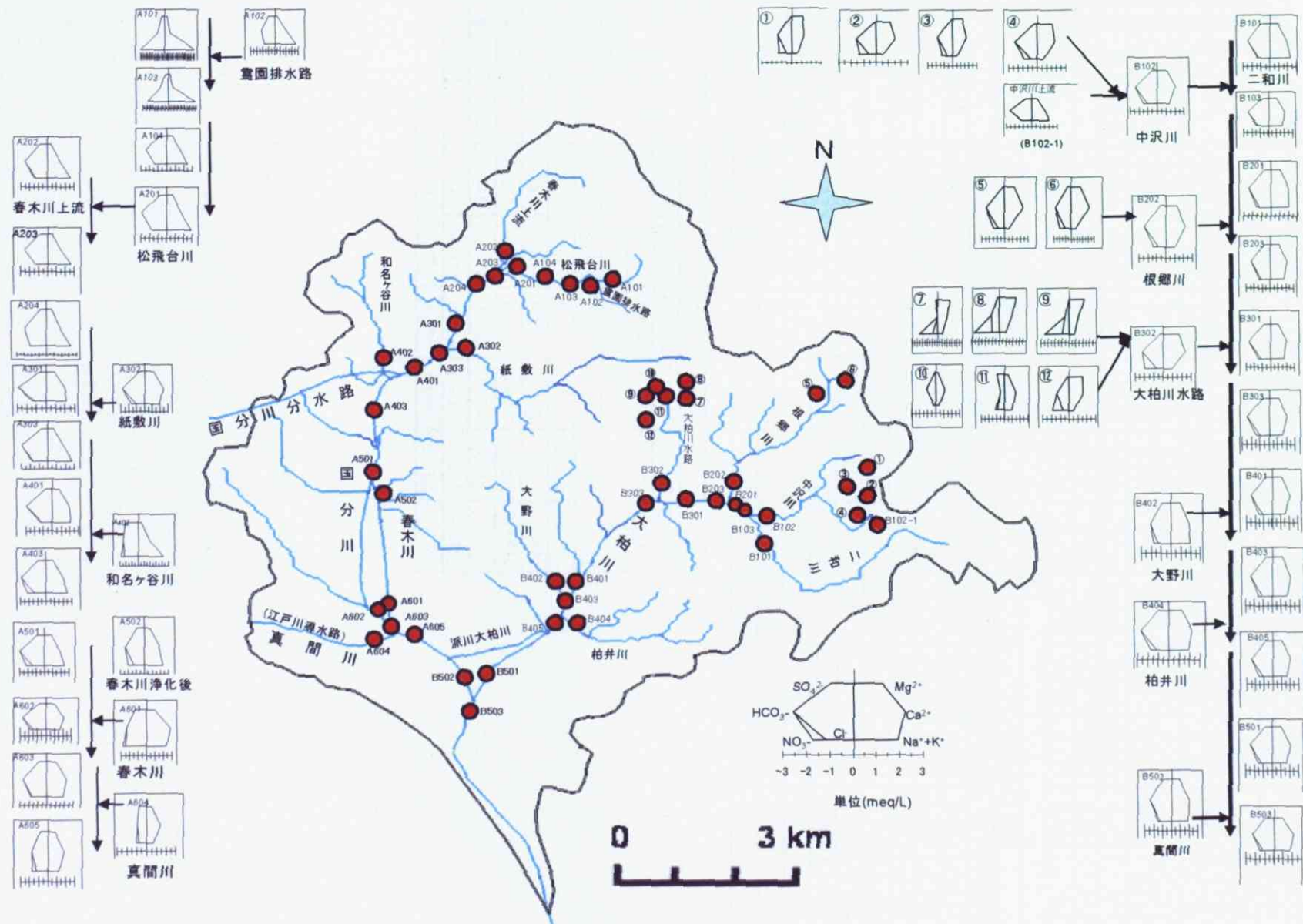
付表2. 大柏川の河川水質データ。

	No.	調査地点	調査年月日	時刻	EC [μS/cm]	水温 ℃	pH	Na <sup>+</sup> [meq/L]	K <sup>+</sup> [meq/L]	Ca <sup>2+</sup> [meq/L]	Mg <sup>2+</sup> [meq/L]	Cl <sup>-</sup> [meq/L]	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [meq/L]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [meq/L]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [meq/L]	TMI [meq/L]
大柏川流域	B101	二和川(合流前)	2004/12/18	10:23	534	14.5	7.3	2.02	0.24	1.82	0.90	1.35	0.09	0.93	2.54	9.91
	B102-1	中沢川上流	2004/12/18	11:00	530	16.1	7.7	1.80	0.27	1.49	0.65	1.21	0.00	0.80	2.62	8.84
	B102	中沢川(合流前)	2004/12/18	9:36	465	13.6	7.5	1.25	0.14	2.05	1.13	1.07	0.42	0.60	2.40	9.06
	B103	白旗橋下(二和川・合流後)	2004/12/18	9:50	493	14.1	7.3	1.59	0.19	1.96	1.04	1.23	0.18	0.71	2.53	9.43
	B201	二和川(合流前)	2004/12/4	16:00	506	15.6	7.3	1.83	0.12	2.02	1.07	1.23	0.32	0.80	2.42	9.80
	B202	根郷川(支流)	2004/12/4	15:50	455	14.7	7.2	0.93	0.12	2.18	1.21	0.84	0.53	0.69	2.41	8.92
	B203	中沢新橋下(二和川・合流後)	2004/12/4	16:15	482	15.0	7.5	1.59	0.12	2.07	1.14	1.16	0.34	0.77	2.37	9.57
	B301	二和川(合流前)	2004/12/18	14:28	488	14.4	7.4	1.54	0.18	1.98	1.03	1.13	0.30	0.79	2.60	9.57
	B302	市川北高校横(支流大柏川水路)	2004/12/18	14:15	465	12.5	7.8	0.75	0.06	2.32	1.61	0.80	1.21	0.35	2.23	9.34
	B303	二和川(合流後)	2004/12/18	14:40	483	14.1	7.7	1.40	0.17	2.04	1.13	1.08	0.44	0.73	2.52	9.51
	B401	古里橋(大柏川)	2004/12/18	15:57	482	13.8	7.5	1.42	0.17	2.06	1.09	1.07	0.41	0.74	2.46	9.42
	B402	大野川(支流)	2004/12/18	16:07	489	14.8	7.5	1.72	0.22	1.82	0.97	1.31	0.46	0.89	2.10	9.48
	B403	貝之花橋上(大柏川・合流後)	2004/12/18	15:23	484	14.2	7.6	1.43	0.17	2.04	1.07	1.11	0.40	0.74	2.46	9.41
	B404	柏井川(支流)	2004/12/18	15:14	537	15.4	7.4	1.71	0.20	2.21	1.25	1.18	0.55	1.00	2.61	10.71
	B405	大柏川(合流後)	2004/12/18	15:39	494	14.0	7.5	1.48	0.18	2.08	1.10	1.14	0.42	0.78	2.50	9.69
	B501	浅間橋(大柏川・合流前))	2004/12/18	16:48	498	13.9	7.4	1.45	0.18	2.15	1.10	1.11	0.39	0.78	2.50	9.67
	B502	豊貴島橋(真間川・合流前)	2004/12/18	16:57	504	13.5	7.6	1.68	0.20	2.06	0.84	1.29	0.24	0.92	2.38	9.62
	B503	八方橋(大柏川・真間川合流後)	2004/12/18	17:10	486	13.4	7.5	1.56	0.19	2.03	0.90	1.20	0.29	0.88	2.30	9.35
	平均値				493.1	14.3	7.5	1.51	0.17	2.02	1.07	1.14	0.39	0.77	2.44	9.52
	標準偏差				22.8	0.9	0.14	0.30	0.05	0.18	0.20	0.14	0.25	0.14	0.13	0.41
	変動係数				0.05	0.06	0.02	0.20	0.28	0.09	0.18	0.12	0.64	0.18	0.06	0.04



付表3. 大柏川流域の湧水の水質データ。

	No.	調査地点	調査年月日	時刻	EC [μS/cm]	水温 ℃	pH	Na <sup>+</sup> [meq/L]	K <sup>+</sup> [meq/L]	Ca <sup>2+</sup> [meq/L]	Mg <sup>2+</sup> [meq/L]	Cl <sup>-</sup> [meq/L]	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [meq/L]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [meq/L]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [meq/L]	TMI [meq/L]
中沢川上流	①	道辺調整池	2004/12/18	11:20	293	16.0	7.4	0.54	0.03	1.30	1.09	0.59	0.75	0.09	1.42	5.81
	②	嚙子水公園湧水③	2004/12/18	11:25	314	20.2	7.2	0.47	0.02	1.50	1.15	0.57	0.78	0.09	1.58	6.16
	③	道辺調整池木橋	2004/12/18	11:40	326	16.6	8.9	0.49	0.02	1.73	1.17	0.58	0.71	0.10	1.84	6.64
	④	嚙子水公園階段下	2004/12/18	11:13	391	15.3	7.2	0.59	0.03	1.84	1.60	0.61	0.74	0.33	2.34	8.08
根郷川上流	⑤	貝柄公園噴水内	2004/12/18	13:40	394	10.1	8.5	0.50	0.04	2.34	1.26	0.78	0.64	0.19	2.40	8.15
	⑥	貝柄公園内	2004/12/18	13:30	525	15.7	8.0	0.63	0.04	3.21	1.65	0.99	0.96	0.60	2.72	10.80
大柏川水路	⑦	大町自然公園湧水-1(バケツ)	2004/12/4	10:10	668	14.3	6.3	0.87	0.06	1.90	2.42	1.08	2.62	0.33	0.00	9.28
	⑧	大町自然公園湧水-1(奥)	2004/12/4	10:30	537	14.7	6.7	0.84	0.06	1.88	2.41	1.08	2.62	0.32	1.15	10.37
	⑨	大町自然公園湧水-2	2004/12/4	10:50	467	15.3	6.4	0.74	0.02	1.40	2.22	0.99	2.54	0.04	0.58	8.53
	⑩	大町自然公園谷頭の池水	2004/12/4	11:10	166	14.6	7.7	0.31	0.04	1.08	0.26	0.24	0.01	0.13	1.15	3.23
	⑪	大町自然公園谷頭の水道水	2004/12/4	11:20	314	—	7.4	0.88	0.07	1.46	0.51	0.90	0.24	0.93	0.55	5.54
	⑫	大町自然公園もみじの里の池水	2004/12/4	12:10	359	11.7	7.2	0.47	0.02	1.54	1.55	0.67	1.19	0.19	1.45	7.08
	平均値				396.2	15.0	7.4	0.61	0.04	1.76	1.44	0.76	1.15	0.28	1.43	7.47
	標準偏差				134.4	2.6	0.79	0.18	0.02	0.56	0.68	0.26	0.92	0.26	0.81	2.17
	変動係数				0.34	0.17	0.11	0.30	0.49	0.32	0.47	0.34	0.80	0.92	0.57	0.29



付図 1. 真間川流域のイオン濃度の従断面変化。

付表4. 国分川各支流の土地利用構成比率の経年変化

	霊園内暗渠下(松飛台川上流(A101))						松飛台川(A201)					
	1974年	1979年	1984年	1989年	1994年	増減率	1974年	1979年	1984年	1989年	1994年	増減率
山林・荒地	0.022	0.021	0.016	0.015	0.015	-0.7%	0.030	0.030	0.022	0.019	0.019	-1.1%
農業用地	0.174	0.177	0.168	0.158	0.153	-2.1%	0.152	0.156	0.144	0.137	0.133	-1.9%
造成地・空地	0.120	0.113	0.109	0.105	0.103	-1.7%	0.111	0.093	0.084	0.081	0.080	-3.1%
工業用地	0.048	0.051	0.053	0.052	0.050	0.2%	0.064	0.069	0.074	0.075	0.076	1.2%
低層住宅地	0.284	0.314	0.308	0.315	0.316	3.2%	0.200	0.220	0.208	0.212	0.214	1.5%
高層住宅地	0.035	0.036	0.040	0.044	0.046	1.1%	0.021	0.023	0.025	0.027	0.028	0.7%
商業・業務用地	0.065	0.063	0.079	0.081	0.086	2.1%	0.045	0.044	0.071	0.072	0.074	2.9%
公園・緑地	0.012	0.013	0.016	0.015	0.017	0.5%	0.203	0.207	0.212	0.212	0.212	0.9%
その他	0.240	0.213	0.213	0.215	0.214	-2.6%	0.174	0.158	0.159	0.164	0.164	-1.1%

	上流春木川(A202)						紙敷川(A302)					
	1974年	1979年	1984年	1989年	1994年	増減率	1974年	1979年	1984年	1989年	1994年	増減率
山林・荒地	0.087	0.080	0.067	0.061	0.057	-3.0%	0.185	0.188	0.167	0.158	0.154	-3.1%
農業用地	0.108	0.121	0.122	0.119	0.108	0.0%	0.430	0.448	0.421	0.404	0.396	-3.4%
造成地・空地	0.152	0.116	0.081	0.079	0.084	-6.9%	0.090	0.067	0.064	0.082	0.078	-1.2%
工業用地	0.000	0.001	0.009	0.009	0.009	0.8%	0.038	0.039	0.048	0.050	0.052	1.4%
低層住宅	0.219	0.264	0.267	0.271	0.272	5.3%	0.117	0.124	0.126	0.129	0.128	1.1%
高層住宅地	0.123	0.135	0.135	0.139	0.142	1.8%	0.003	0.003	0.003	0.004	0.006	0.3%
商業・業務用地	0.047	0.049	0.065	0.068	0.071	2.3%	0.019	0.022	0.037	0.038	0.042	2.2%
公園・緑地	0.030	0.030	0.050	0.051	0.051	2.0%	0.042	0.045	0.057	0.056	0.056	1.4%
その他	0.233	0.205	0.204	0.204	0.207	-2.5%	0.075	0.064	0.077	0.079	0.088	1.3%

	和名ヶ谷川(A402)					
	1974年	1979年	1984年	1989年	1994年	増減率
山林・荒地	0.110	0.117	0.095	0.094	0.079	3.1%
農業用地	0.261	0.268	0.243	0.234	0.220	4.2%
造成地・空地	0.076	0.065	0.071	0.074	0.071	0.5%
工業用地	0.113	0.113	0.122	0.118	0.120	-0.7%
低層住宅	0.288	0.303	0.294	0.300	0.304	-1.6%
高層住宅地	0.001	0.001	0.003	0.005	0.006	-0.5%
商業・業務用地	0.046	0.049	0.062	0.064	0.075	-2.9%
公園・緑地	0.010	0.009	0.014	0.014	0.014	-0.4%
その他	0.095	0.075	0.095	0.097	0.112	-1.7%



付表5. 大柏川各支流の土地利用構成比率の経年変化

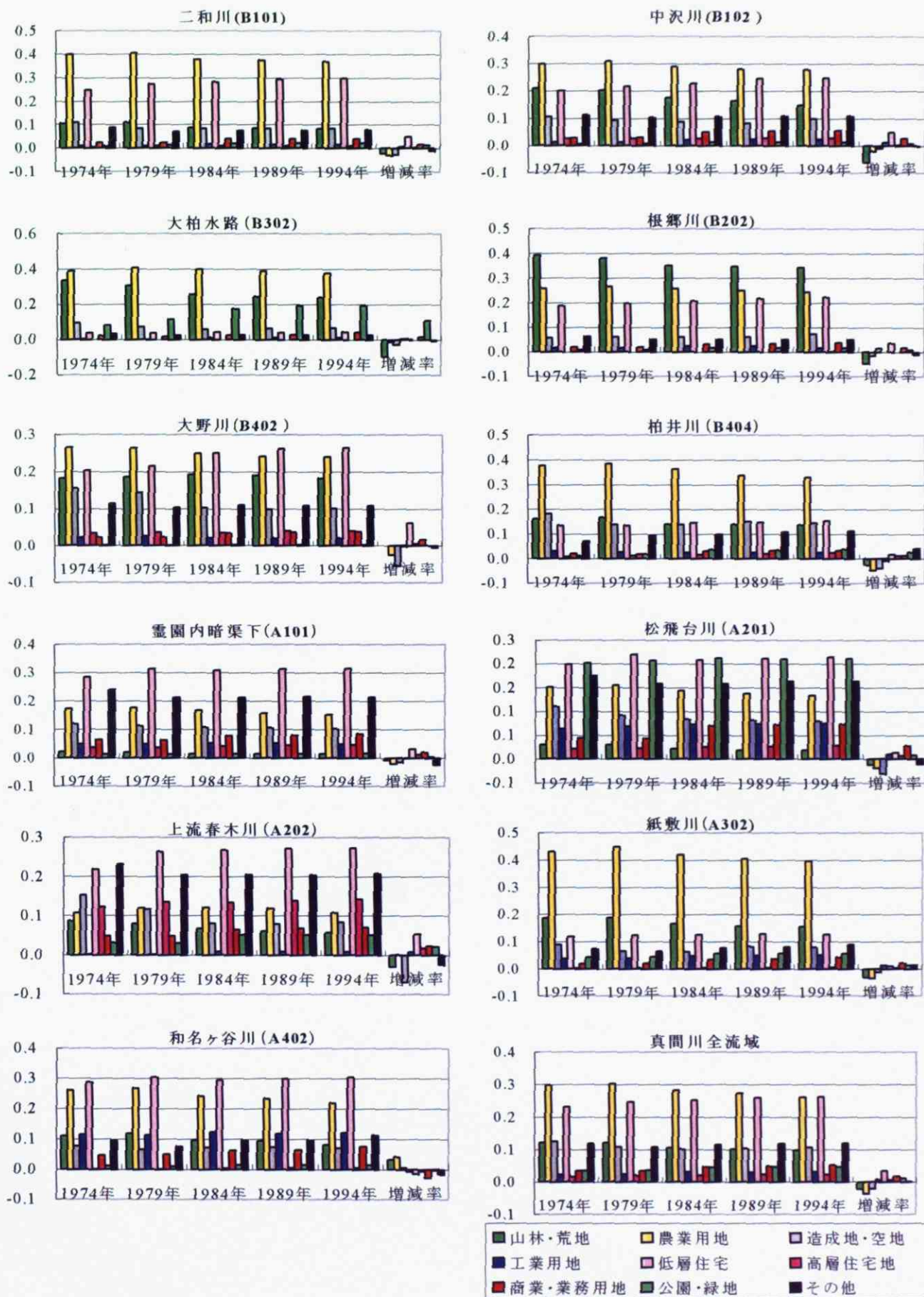
	二和川(B101)						中沢川(B102)					
	1974年	1979年	1984年	1989年	1994年	増減率	1974年	1979年	1984年	1989年	1994年	増減率
山林・荒地	0.106	0.108	0.087	0.084	0.082	-2.4%	0.210	0.202	0.176	0.165	0.148	-6.2%
農業用地	0.400	0.406	0.380	0.374	0.369	-3.0%	0.298	0.309	0.291	0.281	0.278	-2.1%
造成地・空地	0.111	0.085	0.086	0.086	0.085	-2.6%	0.107	0.093	0.088	0.084	0.099	-0.8%
工業用地	0.008	0.009	0.017	0.015	0.015	0.7%	0.011	0.013	0.020	0.023	0.022	1.1%
低層住宅	0.248	0.273	0.283	0.293	0.298	4.9%	0.200	0.217	0.229	0.246	0.248	4.8%
高層住宅地	0.005	0.010	0.011	0.011	0.011	0.6%	0.026	0.026	0.026	0.028	0.029	0.2%
商業・業務用地	0.024	0.025	0.041	0.041	0.042	1.8%	0.029	0.031	0.051	0.054	0.056	2.6%
公園・緑地	0.008	0.013	0.019	0.020	0.020	1.2%	0.006	0.006	0.013	0.013	0.013	0.7%
その他	0.089	0.071	0.076	0.076	0.078	-1.1%	0.111	0.102	0.107	0.108	0.108	-0.3%

	大柏水路(B302)						根郷川(B202)					
	1974年	1979年	1984年	1989年	1994年	増減率	1974年	1979年	1984年	1989年	1994年	増減率
山林・荒	0.336	0.309	0.258	0.244	0.240	-9.6%	0.391	0.381	0.352	0.346	0.342	-4.9%
農業用地	0.389	0.408	0.399	0.392	0.378	-1.1%	0.259	0.267	0.258	0.250	0.245	-1.4%
造成地・	0.094	0.073	0.058	0.066	0.067	-2.7%	0.058	0.061	0.062	0.062	0.072	1.4%
工業用地	0.004	0.003	0.012	0.012	0.011	0.7%	0.014	0.014	0.024	0.024	0.014	0.0%
低層住宅	0.038	0.039	0.044	0.043	0.044	0.6%	0.187	0.197	0.206	0.218	0.222	3.5%
高層住宅	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0%	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.1%
商業・業	0.022	0.015	0.025	0.027	0.040	1.8%	0.019	0.020	0.031	0.033	0.037	1.8%
公園・緑	0.084	0.117	0.176	0.190	0.192	10.8%	0.009	0.008	0.016	0.015	0.016	0.7%
その他	0.033	0.025	0.028	0.027	0.028	-0.5%	0.062	0.051	0.051	0.051	0.052	-1.1%

	大野川(B402)						柏井川(B404)					
	1974年	1979年	1984年	1989年	1994年	増減率	1974年	1979年	1984年	1989年	1994年	増減率
山林・荒地	0.183	0.186	0.194	0.190	0.183	0.0%	0.160	0.167	0.139	0.139	0.137	-2.4%
農業用地	0.265	0.264	0.250	0.241	0.240	-2.4%	0.377	0.386	0.363	0.338	0.331	-4.6%
造成地・空地	0.156	0.143	0.103	0.098	0.101	-5.5%	0.182	0.139	0.139	0.151	0.145	-3.7%
工業用地	0.022	0.027	0.021	0.020	0.020	-0.2%	0.031	0.028	0.026	0.024	0.024	-0.7%
低層住宅	0.204	0.216	0.251	0.263	0.266	6.3%	0.136	0.135	0.147	0.149	0.155	1.9%
高層住宅地	0.034	0.036	0.035	0.040	0.040	0.7%	0.010	0.012	0.018	0.022	0.023	1.4%
商業・業務用地	0.022	0.023	0.033	0.036	0.038	1.6%	0.021	0.019	0.031	0.032	0.034	1.3%
公園・緑地	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.1%	0.011	0.019	0.037	0.036	0.038	2.7%
その他	0.113	0.104	0.109	0.109	0.108	-0.5%	0.072	0.095	0.101	0.109	0.114	4.2%

付表6. 真間川全流域の土地利用構成比率の経年変化

	真間川全流域					
	1974年	1979年	1984年	1989年	1994年	増減率
山林・荒地	0.120	0.120	0.106	0.102	0.099	-2.1%
農業用地	0.297	0.303	0.283	0.273	0.261	-3.7%
造成地・空地	0.125	0.108	0.101	0.102	0.105	-2.1%
工業用地	0.024	0.025	0.031	0.031	0.031	0.7%
低層住宅	0.230	0.246	0.252	0.260	0.264	3.4%
高層住宅地	0.017	0.019	0.020	0.022	0.023	0.6%
商業・業務用地	0.034	0.034	0.047	0.048	0.051	1.7%
公園・緑地	0.034	0.036	0.045	0.046	0.046	1.2%
その他	0.118	0.108	0.114	0.117	0.119	0.1%



付図2. 各支流域の土地利用構成率の経年変化