

諏訪湖流域の主要河川における堆積物の全岩化学組成

葉田野 希¹

諏訪湖に流入する主要な河川を対象に、河床堆積物の主要元素組成と、風化・侵食・運搬過程による堆積物の主要元素組成の変化を明らかにした。河川堆積物試料は、諏訪湖の南側から流入する2河川の懸濁水と支流の河床からそれぞれ採取された。給源域に近接した支流の河床堆積物の主要元素組成は、背景地質の違いを顕著に反映している。また、これらは、源岩と比べてアルカリ・アルカリ土類元素の枯渇と Al_2O_3 の濃集に特徴づけられ、給源域での化学風化によって初生的な組成が変更されていることを意味する。化学風化は、流域の地質・地形・土壌や風化時間の違いに応じて異なる程度で進行している。一方、懸濁泥の主要元素組成は、河川ごとに均一でばらつきが小さい。また、懸濁泥では、 Al_2O_3 と K_2O の濃度が高く、水理学的分別・分級作用による浮流へのアルミノ-フィロ珪酸塩鉱物の濃集を示す。諏訪湖流域の堆積物組成は、化学風化や水理学的分別・分級作用によって特定の鉱物・元素の濃集・枯渇が生じることで、上流から下流にかけて空間的に変化する。こうした風化・侵食・運搬過程における堆積物組成の改変は、盆地の埋積物を対象に供給源解析等を行う場合も考慮する必要がある。

キーワード：主要元素組成，河床堆積物，懸濁粒子，風化，供給源解析，水理分別

1 はじめに

土砂やそれに含まれる元素は、その給源となる岩体や土壌の風化・侵食過程、河川等による運搬過程を経て下流域へ供給され、山間盆地や低地、平野部を埋積する。近年、豪雨に起因する斜面災害や洪水等の水災害が多発し、過剰な土砂生産と下流域への土砂供給が促されていることが指摘されている¹⁾。斜面災害の形態や土砂の生産に関わる土壌形成速度、風化・侵食・運搬の様式は、流域の地質・地形の違いに応じて異なる^{2), 3)}。

長野県は、急峻かつ標高差の大きな地形、多様で複雑な地質構造からなる県土を有する。そのため、土砂災害等の防災・減災、土地利用の計画といった面で、地質・地形に応じた土砂の生産や下流域への運搬・堆積過程の傾向を把握することは重要な課題である。

近年、河床堆積物の化学組成から、地球表層の元素濃度の空間分布図が整備され^{4), 5)}、土砂の供給源解析や環境影響評価等に利用されている。一般に、河床堆積物の化学組成は、初生的には給源を構成する岩石や土壌の構成物によって規定されるが⁶⁾、風化・侵食・運搬・堆積の過程で、特定の鉱物や元素の濃集・枯渇が生じることで空間的に変化する^{7), 8)}。すなわち、給源に近接し

た上流の河床堆積物には、その流域に分布する地質帯・岩体や土壌の初生的かつ代表的な組成が記録されるが、下流に向かって、水理学的作用の特性によって多様化することが想定される。

本研究では、長野県の中央部に位置する諏訪湖流域を対象に、河川の上流に位置する支流の河床堆積物の主要元素組成からその流域に分布する岩体・土壌の代表的な組成を検出した。それらと源岩における既存の主要元素組成とを比較し、風化・侵食過程での堆積物組成の変化を考察した。また、支流の河床堆積物と本流の懸濁泥の主要元素組成を比較し、土砂の運搬過程での水理学的分別・分級作用による堆積物組成の改変を考察した。

2 調査地域

諏訪湖が位置する諏訪盆地は、中部日本に位置する構造性的内陸盆地である。この盆地は、糸魚川—静岡構造線と中央構造線が交差することや(図1)、鮮新世末期から更新世の火成活動によって噴出および堆積した火山岩・火山砕屑岩(以下、火砕岩)が分布するなど^{9), 10)}、複雑な地質構造と多様な岩石が分布する広大な集水域をもつことに特徴づけられる(図2)。

諏訪湖は、諏訪盆地の北西部に位置する湖であ

1 長野県環境保全研究所 自然環境部 〒381-0075 長野市北郷 2054-120

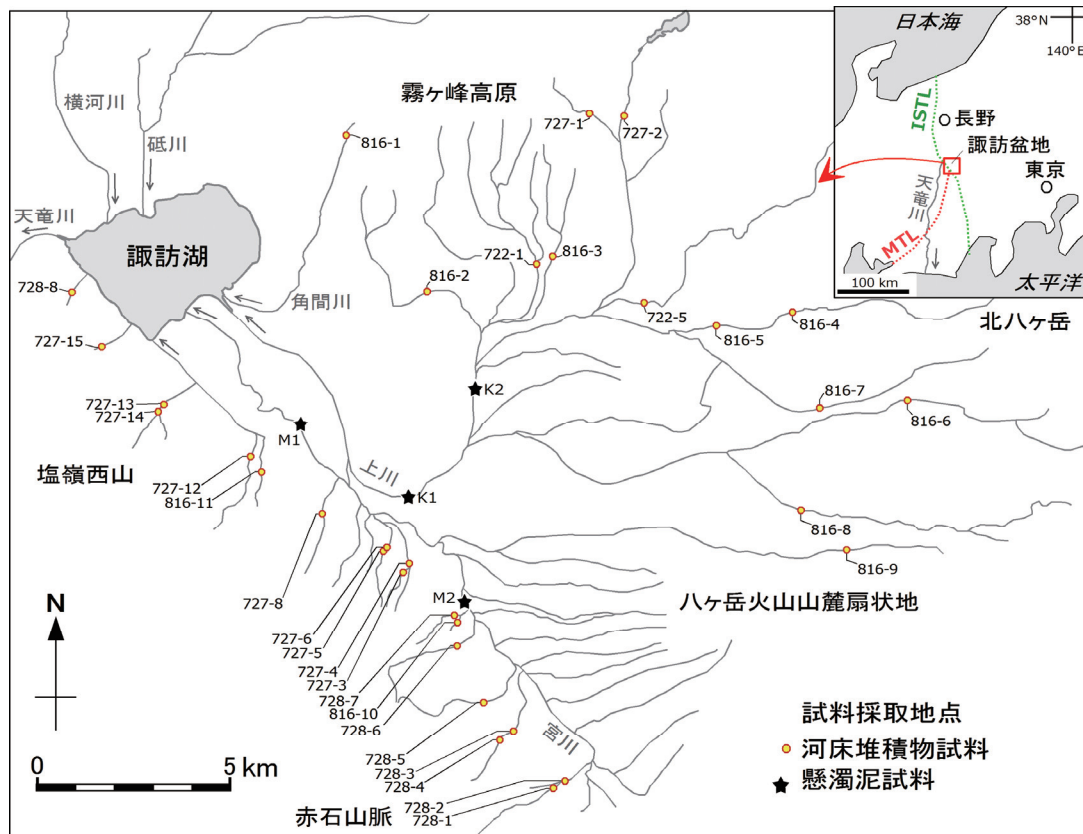


図 1 インデックスマップ。諏訪盆地に流入する主要な河川と試料採取地点。ISTL = 糸魚川－静岡構造線; MTL = 中央構造線。

り、湖面積（13.3 km²）に対して約 41 倍と広大な集水域面積（531 km²）を有し¹¹⁾、計 31 本の流入河川をもつ。このうち、湖の南から流入する宮川と上川の流域面積の合計は、諏訪湖の全流域面積の約 70%以上を占める。そこで本研究では、湖の南から流入する河川とその支流を調査対象とした（図 1）。

諏訪湖の南側の集水域には、赤石山脈北部、霧ヶ峰高原、塩嶺西山、八ヶ岳火山列が含まれる（図 2）。赤石山脈北部には白亜系～ジュラ系付加コンプレックス（三波川帯、秩父帯）と中新統花崗閃緑岩類が、霧ヶ峰高原と塩嶺西山には新第三系の守屋層や上部鮮新統～下部更新統の塩嶺火山岩類が、北八ヶ岳には下部～上部更新統の八ヶ岳の火山噴出物がそれぞれ分布する¹⁰⁾（図 2）。

宮川の支流流域に分布する三波川帯は、結晶片岩類、御荷鉢緑色岩類および蛇紋岩化した超苦鉄質岩類からなる⁹⁾。秩父帯は、調査対象の支流（大沢川）の流域において、千枚岩、玄武岩溶岩、ドレライト、斑れい岩および蛇紋岩からなる¹²⁾。中新統花崗閃緑岩類は、木舟花崗閃緑岩類に相当する中一粗粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩である¹²⁾。守屋

層は、凝灰岩、礫岩、砂岩、泥岩および安山岩質・デイサイト～流紋岩質の酸性火山岩・火砕岩からなり、本調査地域の支流（唐沢川）には、デイサイト～流紋岩質溶岩と火砕岩が分布する¹²⁾。塩嶺火山岩類は、塩嶺西山地域において主に安山岩質溶岩および火砕岩から構成され、一部に凝灰角礫岩、礫岩、砂岩、泥岩を伴う¹³⁾。霧ヶ峰地域では、主に安山岩～デイサイト質溶岩および火砕岩からなる¹²⁾。北八ヶ岳の火山噴出物は、玄武岩・安山岩～デイサイト質火山岩および火砕岩からなる¹⁴⁾。

調査地域に分布する土壌は、母材となる岩石種や標高、地形の特徴に応じて多様である¹⁵⁾。八ヶ岳山麓の尾根筋、山頂や山腹斜面には岩屑土が、これより低標高地の尾根筋や緩斜面にはポドゾルが、さらに低い亜高山帯の山腹緩斜面や尾根には褐色森林土壌がそれぞれ分布する¹⁵⁾。霧ヶ峰高原と八ヶ岳火山山麓扇状地には黒ボク土が分布する¹⁵⁾。

3 研究手法

河床堆積物は、2019 年 7～8 月にかけて、図 1 に示す支流において 1～2 kg ずつ計 32 試料を採取し

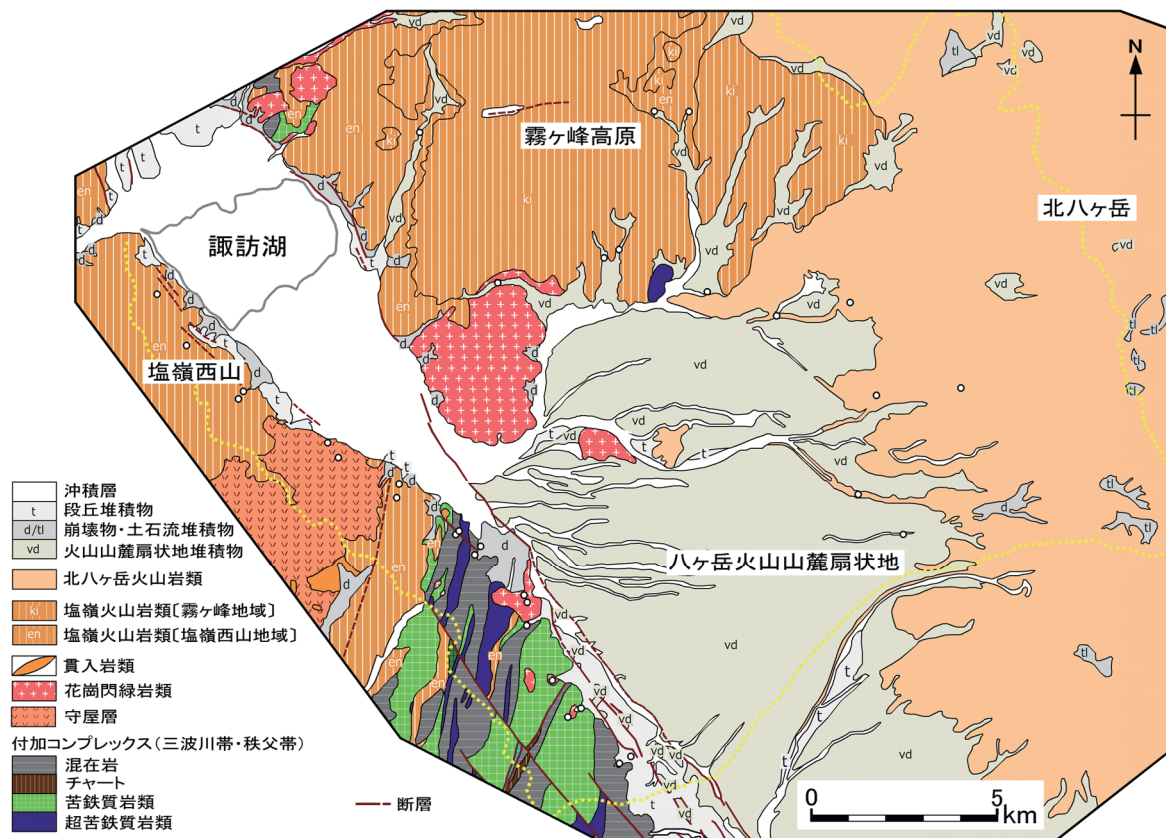


図2 諏訪湖の流域における地質概略図。長野県デジタル地質図¹⁰⁾と高橋・西来 (2006)¹⁴⁾とをもとに作成。白丸は支流の河床堆積物試料の採取地点を示す。破線は諏訪湖に流入する河川の分水界を示す。

た(附表1)。試料採取に際して、人為的に運搬された盛土・埋立土や土壤肥料による影響をできる限り排除するために、民家や田畑、工場のある地域よりも上流で採取するよう気をつけた。懸濁泥の採取は、宮川本流(2地点)と上川本流(2地点)の計4地点(図1, 附表2)の橋上で行い、河道の中央部からバケツを用いて懸濁水を約20ℓずつ採水した。上川の採水地点は、宮川との合流地点より上流に設定した(図1)。採水は、2019年10月12日(令和元年台風第19号上陸時)と2020年7月8日(令和2年梅雨前線豪雨)の増水時に実施し(附図1)、計8試料を採取した(附表2)。懸濁水は、採水後、約5日間静置させ上澄みを捨てた後、沈殿物のみを回収した。

支流の河床堆積物試料と懸濁泥試料は、ともに室温で風乾させた後、篩掛けにより63μm以下のシルト・粘土分を選別した。選別の目的は、採取地点の近辺の土手、崖や特定の粗粒粒子の混入による影響を防ぐためと、泥分を対象にすることで上流に分布する岩体の組成の代表値を得るためである。

選別した試料を磁製のつぼに入れ、880°Cの電気炉で3時間かけて灼熱し、灼熱減量(LOI: loss on ignition)を求めた。灼熱後の試料を対象に、10倍希釈法によりガラスビードを作成した。融剤には四ホウ酸リチウムを用いた。分析は、高知大学海洋コア総合研究センター設置の波長分散型蛍光X線分析装置(PHILIPS社製PW2400)を用いて行い、主要10元素を対象とした。各酸化物の濃度は、それらの合計に灼熱減量を足した値が酸化物のみの合計と等しくなるように再計算した。

4 河川堆積物の主要元素組成

4.1 支流の河床堆積物-岩体ごとの組成差-

主要元素のハーカー図を図3に示す。三波川帯と秩父帯を通る支流の河床堆積物では、MgOが高く、Al₂O₃が低い。特に、御荷鉾緑色岩類の分布域では、MgOが11wt.%以上と高い濃度を示す(附表3)。中新統花崗閃緑岩類の分布域では、SiO₂、Na₂O、K₂Oが高い濃度を示し、石英やアルカリ長石粒子の多さを反映している。守屋層の分布域に

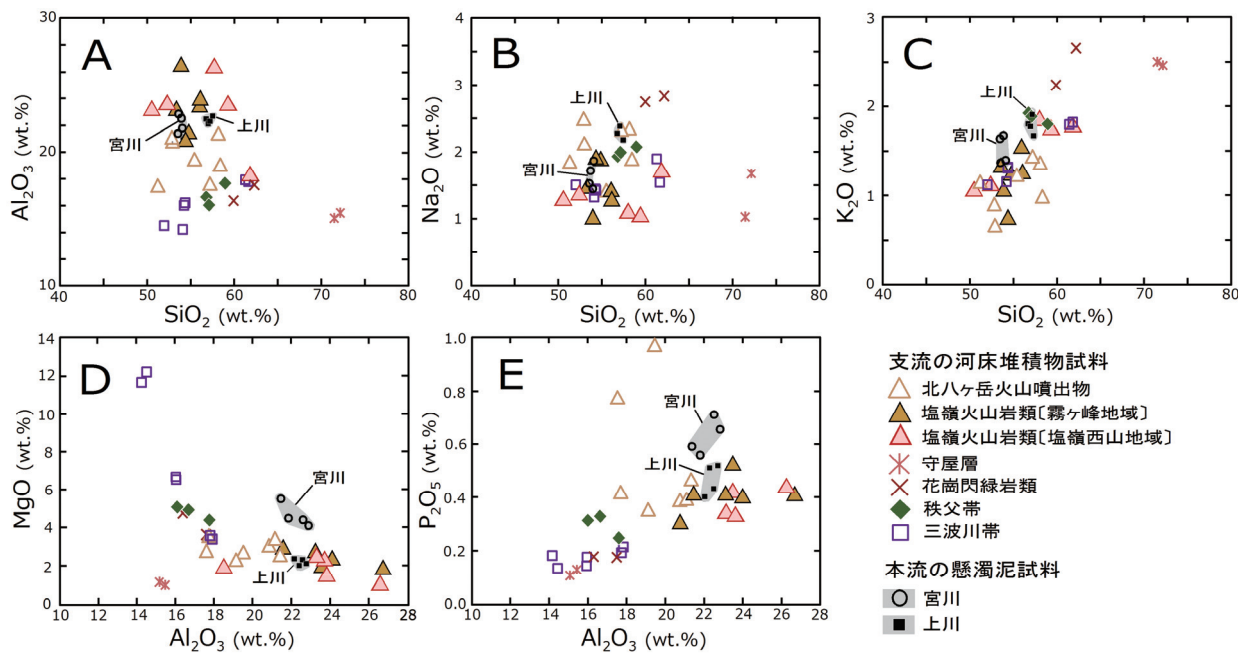


図3 宮川と上川の支流の河床堆積物試料と本流の懸濁泥試料のハーカー図。
 (A) SiO₂-Al₂O₃. (B) SiO₂-Na₂O. (C) SiO₂-K₂O. (D) Al₂O₃-MgO. (E) Al₂O₃-P₂O₅.

における SiO₂ の濃度は、他の岩体の分布域と比べて著しく高く (71.47~72.12 wt.%), 本層における石英粒子の多さを示す。また K₂O 濃度も同様に高く、酸性火山岩類を構成する長石類の豊富さを表す。塩嶺火山岩類では、霧ヶ峰地域と塩嶺西山地域ともに、Al₂O₃ と灼熱減量が高い。特に、霧ヶ峰地域の塩嶺火山岩類では、灼熱減量が 25 wt.% 以上と著しく高く、黒色系の土色を呈する (附表 1)。北八ヶ岳の火山噴出物の分布域では、P₂O₅ 濃度が高い。源岩と支流の河床堆積物における P₂O₅ 濃度の比較を図 4 に示す。ここで、源岩の組成は、既存の分析値を引用している^{12), 14), 16)~23)}。塩嶺火山岩類〔霧ヶ峰地域〕と北八ヶ岳の火山噴出物の分布域では、それぞれの源岩に対し P₂O₅ が著しく濃集している。

図 5 に、Al₂O₃-(CaO + Na₂O)-K₂O 図 (A-CN-K 図)^{25), 26)} と Al₂O₃-(CaO + Na₂O + K₂O)-(Fe₂O₃ + MgO) 図 (A-CN-K-FM 図)²⁷⁾ および CIA 値 (Chemical Index of Alternation) を示す。CIA 値は、風化に際して岩石や土壌外へ溶出しやすいアルカリ・アルカリ土類元素 (CaO, Na₂O, K₂O) と、難溶性の Al₂O₃ の比率を示した化学風化指標であり、以下の式から算出される²⁵⁾。

$$\text{CIA 値} = \text{molar ratio} \left[\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}} \right] \times 100 \quad (1)$$

CaO* は珪酸塩鉱物に含まれる CaO の総量を示す。

A-CN-K 図 (図 5A) において、理想的な化学風化は、A-CN 辺と平行に A 成分に向かうトレンドを示す²⁶⁾ (図 5A, 破線の矢印)。すなわち、このトレンドの出発点は、風化生成物の母岩の組成と一致する。なお、本図には、源岩から得られている既存の分析値^{12), 16), 18)~22), 24)} をプロットしている。

A-CN-K 図 (図 5A) によると、三波川帯、秩父帯、守屋層、塩嶺火山岩類〔霧ヶ峰地域・塩嶺西山地域〕および北八ヶ岳の火山噴出物の分布域の河床堆積物は、源岩と比べてアルカリ・アルカリ土類元素の枯渇と Al₂O₃ の濃集が示唆される。特に、塩嶺火山岩類〔霧ヶ峰地域・塩嶺西山地域〕を給源とする支流堆積物の CIA 値は、源岩のそれよりも明らかに高い (塩嶺西山地域: CIA 値 = 74~79, 霧ヶ峰地域: CIA 値 = 71~84)。このことは、A-CN-K-FM 図 (図 5B) でも同様に認められる。北八ヶ岳の火山噴出物では、塩嶺火山岩類〔霧ヶ峰地域・塩嶺西山地域〕よりも低い CIA 値 (65~74) を示す。中新統花崗閃緑岩類の分布域の CIA 値は最も低く (58~63)、この値は源岩のそれと類似する。

4. 2 懸濁泥の主要元素組成

懸濁泥の主要元素は、宮川と上川で異なる組成を示す (図 3)。また、支流の河床堆積物と比べて懸濁泥では、ばらつきが小さく、河川ごとに均一な

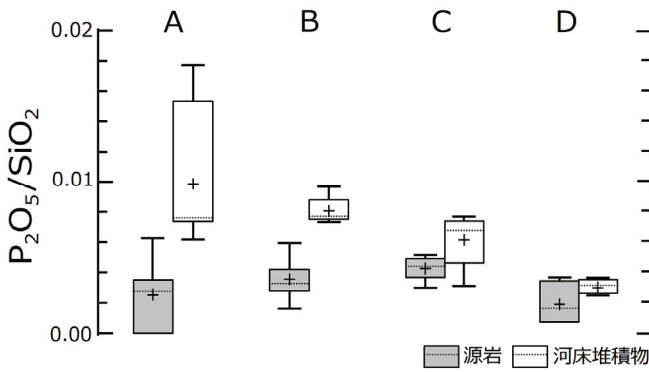


図4 源岩と支流の河床堆積物における P_2O_5/SiO_2 の箱ひげ図。箱は第1四分位数と第3四分位数を、箱内の横線は中央値を、+は平均値を、箱から伸びる縦線は最大値および最小値をそれぞれ示す。(A) 北八ヶ岳火山噴出物。(B) 塩嶺火山岩類〔霧ヶ峰地域〕。(C) 塩嶺火山岩類〔塩嶺西山地域〕。(D) 三波川帯。源岩組成の引用：河内 (1974)¹⁶⁾; 大貫ほか (1978)¹⁷⁾; 中村 (1991)¹⁸⁾; 手島・河内 (1994)¹⁹⁾; 牧本ほか (1996)¹²⁾; 山岸ほか (1999)²⁰⁾; 中井ほか (2000)²¹⁾; 高橋・西来 (2006)¹⁴⁾; 向井ほか (2009)²²⁾; 新井ほか (2011)²³⁾。

組成を示す。両河川ともに、支流の河床堆積物試料と比べて、 Al_2O_3 と K_2O 濃度が高い (図3)。

宮川の懸濁泥は、 MgO 濃度 (4.15~5.51 wt.%) が高い (図3)。図5BのA-CN-K図において、

宮川の懸濁泥は、安山岩を出発物質とする化学風化トレンド上にプロットされる。これらの P_2O_5 濃度 (0.56~0.71 wt.%) は、支流の河床堆積物と比べて圧倒的に高い (図3)。

上川の懸濁泥は、 Na_2O (2.22~2.41 wt.%) と K_2O (1.69~1.91 wt.%) の濃度が相対的に高い (図3)。これら懸濁泥は、A-CN-K図とA-CN-K-FM図 (図5) において、花崗閃緑岩~安山岩を出発物質とする化学風化トレンド上にプロットされる。

5 議論

5.1 風化・侵食・運搬過程の堆積物組成の改変

諏訪湖の流域において、支流の河床堆積物の主要元素組成は、その流域の地質帯や岩体を構成する岩種の違いを反映している。一方、支流の河床堆積物と懸濁泥、源岩との組成差は、風化・侵食・運搬過程での堆積物組成の改変を意味する。

中新統花崗閃緑岩類を除くすべての岩体の分布域の河床堆積物において、源岩と比べてアルカリ・アルカリ土類元素の枯渇と、 Al_2O_3 の濃集が認められる。これは、給源地域での化学風化により、源岩の主要元素組成が変更されていることを示す。特に、上部鮮新統~更新統火山岩類の分布域の河床堆積物の化学風化度 (CIA値) は高い。CIA値は、塩嶺火山岩類〔霧ヶ峰地域〕、塩嶺火山岩類〔塩嶺

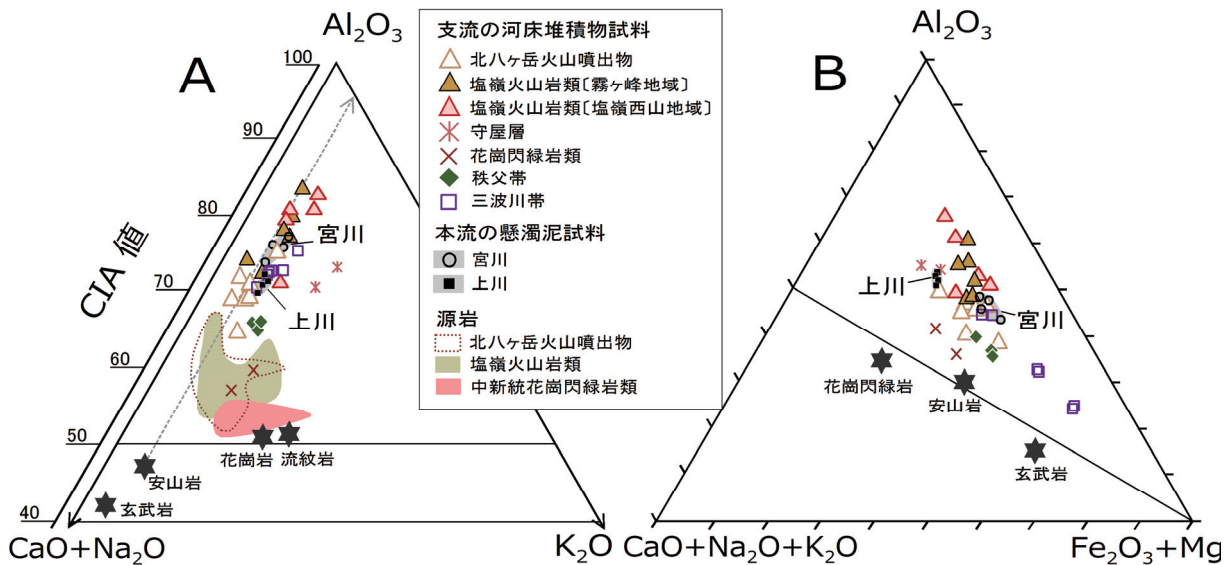


図5 (A) Al_2O_3 -($CaO + Na_2O$)- K_2O 図とCIA値。破線は安山岩を源岩とする理想的な化学風化トレンドを示す。(B) Al_2O_3 -($CaO + Na_2O + K_2O$)-($Fe_2O_3 + MgO$)図。源岩組成の引用：河内 (1974)¹⁶⁾; 中村 (1991)¹⁸⁾; 手島・河内 (1994)¹⁹⁾; 牧本ほか (1996)¹²⁾; 山岸ほか (1999)²⁰⁾; 中井ほか (2000)²¹⁾; 向井ほか (2009)²²⁾; 佐藤 (2012)²⁴⁾。

西山地域), 北八ヶ岳の火山噴出物の順に高く, 古い噴出年代を示す火山岩類ほど高い化学風化度を示す。一般に, 化学風化度は, 温暖湿潤で季節性を伴う気候条件や風化時間が長期にわたる場合に高くなる^{28), 29)}。上部鮮新統~下部更新統の塩嶺火山岩類〔霧ヶ峰地域・塩嶺西山地域〕では, 下部~上部更新統の北八ヶ岳の火山噴出物と比べて, 陸上露出後の風化時間が長く, 高い化学風化度を示すのかもしれない。また, 風化時間のほかに, 地形や植生によって左右する土壌の排水性が, 化学風化に作用している可能性もある。塩嶺火山岩類〔霧ヶ峰地域〕の分布域は, 溶岩台地の平坦な地形に特徴づけられ, 土壌が熟成しやすい地形条件にある。一方, 北八ヶ岳の火山噴出物の分布域は, 標高 1,600 m 以上の亜高山帯や標高 2,500 m 以上の急峻な高山帯であり, 岩屑土やポドゾルといった未熟な土壌が分布する¹⁵⁾。諏訪盆地周辺の上部鮮新統~更新統火山岩類の化学風化度の差は, 風化時間, 地形, 土壌の排水性など, 複数の地形・土壌条件の違いによって生じていると考えられる。

塩嶺火山岩類〔霧ヶ峰地域〕と北八ヶ岳の火山噴出物の分布域の河床堆積物において, 著しく高い灼熱減量は, 粘土鉱物の層間水や有機物に起因する可能性がある。また, これら河床堆積物は, 源岩と比べて, Al_2O_3 と P_2O_5 が著しく濃集している。塩嶺火山岩類〔霧ヶ峰地域〕と北八ヶ岳の火山噴出物の分布域には, 黒ボク土が広く分布する¹⁵⁾。一般的に, 黒ボク土は, アルミニウム化合物が多く, リン酸固定力が著しく高いことで知られる³¹⁾。塩嶺火山岩類〔霧ヶ峰地域〕と北八ヶ岳の火山噴出物の分布域の河床堆積物における Al_2O_3 と P_2O_5 の濃集は, 黒ボク土由来の土壌粒子の寄与による可能性がある。

支流の河床堆積物と比べて, 宮川と上川の懸濁泥では, Al_2O_3 と K_2O が総じて高い濃度を示す。これは, 碎屑物の運搬過程における水理学的分別・分級作用によって, 浮流中にアルミノ-フィロ珪酸塩鉱物(雲母類, 雲母粘土鉱物など)が分配されやすいこと³¹⁾を反映していると考えられる。

以上のように, 風化・侵食・運搬過程で特定の鉱物や元素の濃集(もしくは枯渇)が生じることで, 諏訪湖流域の堆積物組成は, 上流から下流にかけて空間的に変化することが示唆される。

5. 2 懸濁泥の均一性と河川ごとの違い

懸濁泥の主要元素組成は, 河川ごとに均一であ

りばらつきが小さい。これは, 異なる岩体を起源とする碎屑物が河川による運搬過程で混合されたことを意味する。

宮川の懸濁泥における MgO 濃度は, 上川のそれよりも高く, 三波川帯の超苦鉄質岩や緑色岩, 秩父帯の玄武岩や斑れい岩, 蛇紋岩からの寄与を示す。一方, P_2O_5 濃度は, 宮川の懸濁泥において高く, これは集水域に分布する源岩よりも高い濃度である。支流の河床堆積物の検討より, 上部鮮新統~更新統火山岩類由来の堆積物には, 黒ボク土を起源とする高 $P_2O_5 \cdot Al_2O_3$ 濃度を示す土壌粒子が含まれていることが示唆された。宮川の集水域の大部分を占める八ヶ岳火山山麓扇状地には, 黒ボク土が広く分布する¹⁵⁾。したがって, 宮川の懸濁泥における高い P_2O_5 濃度は, 黒ボク土由来の碎屑物や土壌粒子に起因していると考えられる。また, 田畑の土壌肥料や人為的に持ち込まれた堆積物由来の元素濃度も懸濁泥の P_2O_5 濃度を規定している可能性も考えられる。上川の懸濁泥は, 高 $Na_2O \cdot K_2O$ 濃度を示し, A-CN-K-FM 図上で, 花崗閃緑岩~安山岩からの化学風化トレンドを示す。よって, 上川の懸濁泥は, アルカリ長石やイライトを多く含むことが示唆され, 中新統花崗閃緑岩類や上部鮮新統~更新統火山岩類を主要な給源にもつと考えられる。

6 結論と課題

本研究では, 諏訪湖の流域を対象に, 河川堆積物の主要元素組成とそれらの風化・侵食・運搬過程による変化を検討した。

給源に近接した支流の河床堆積物の主要元素組成は, その流域の地質帯・岩体を構成する岩種の違いを顕著に反映するが, 化学風化によって二次的に改変していることが示唆された。化学風化は, 地質・地形・土壌の違いや風化時間の差によって流域ごとに異なる程度で進行している。懸濁泥の主要元素組成は, 河川ごとに均一であり, 流域に分布する複数の岩体を起源とする碎屑物が河川による運搬過程で混合され均質化していることを示す。

本研究では, $63 \mu m$ 以下の碎屑粒子を対象としており, 対象から除外された粗粒粒子の挙動は不明のままである。粒度による試料の選別は, 岩石種によって異なる機械的風化の違い(たとえば細片化のしやすさなど)を強調してしまう可能性が考えられる。今後は, 細粒粒子と併せて, 粗粒粒子も

対象に、鈹物・化学組成とそれらの風化・侵食・運搬過程での挙動を把握する必要がある。

謝 辞

化学組成分析に際して、高知大学海洋コア総合研究センターの松崎琢也博士、村山雅史博士、山本裕二博士にお世話になった。信州大学理学部の吉田孝紀教授には、採水方法に関してご助言をいただいた。試料処理に際して、長野県環境保全研究所循環型社会部の小口文子主任研究員、渡辺哲子部長にご助力いただいた。採水にあたって、同所自然環境部の皆様にご協力いただいた。校閲者 2 名による校閲によって本資料は改善された。化学組成分析は、高知大学海洋コア総合研究センター令和元年度・2 年度全国共同利用（採択番号 19B057, 20A018, 20B016）によって実施された。本研究の一部は、(公財)河川財団河川基金助成事業および(公財)住友財団年度環境研究助成を受けた。以上の方々に感謝いたします。

文 献

- 1) 国土交通省 近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所 (2016) 紀伊山地の大規模土砂災害対策における計画段階評価, 7-11
- 2) 松倉公憲 (1994) 風化過程におけるロックコントロール—従来の研究の動向と今後の課題—。地形, 15: 203-222
- 3) 西山賢一・若月 強 (2015) 日本の山地斜面における豪雨に起因した斜面崩壊・土石流の発生頻度。応用地質, 55: 325-333
- 4) 今井 登・寺島 滋・太田充恒・御子柴真澄・岡井貴司・立花好子・金井 豊・上岡 晃・富樫茂子・松久幸敬 (2004) 日本の地球化学図。産総研地質調査総合センター
- 5) Ohta, A., Imai, N., Terashima, S., Tachibana, Y., Ikehara, K., Nakajima, T. (2004) Geochemical mapping in Hokuriku, Japan: Influence of surface geology, mineral occurrences and mass movement from terrestrial to marine environments. Applied Geochemistry, 19: 1453-1469
- 6) Garzanti, E., Padoan, M., Peruta, L. (2013) Weathering geochemistry and Sr-Nd fingerprints of equatorial upper Nile and Congo muds. Geochemistry Geophysics Geosystems, 14: 292-316
- 7) Johnsson, M. J. (1993) The system controlling the composition of clastic sediments, in Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments, in: Johnsson, M.J., Basu, A. (Eds.), Geological Society of America Special Papers, 284: 1-19
- 8) 太田充恒・今井 登・岡井貴司・遠藤秀典・川辺禎久・石井武政・田口雄作・上岡 晃 (2002) 山形市周辺地域における元素分布の特徴について—山形盆地南部地域の地球化学図—。地球化学, 36: 109-125
- 9) 沢村孝之助・大和栄次郎 (1953) 諏訪 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅)。地質調査所, 45p
- 10) 長野県地質図活用普及事業研究会 (2015) 長野県デジタル地質図
- 11) 沖野外輝夫 (1990) 諏訪湖—マイクロコスモスの生物 (自然史双書)。八坂書房, 東京, 204p
- 12) 牧本 博・高木秀雄・宮地良典・中野 俊・加藤禎一・吉岡敏和 (1996) 高遠地域の地質。地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅)。地質調査所, 114p
- 13) 窪田安打 (1999) 長野県諏訪湖南西方における塩嶺累層の火山層序と地質構造—鳥弧会合部における後期鮮新世～前期更新世の火山活動史—。地質学雑誌, 105: 25-44
- 14) 高橋 康・西来邦章 (2006) 中部日本, 北八ヶ岳火山北麓に分布する前期更新世火山岩類の火山層序—北八ヶ岳～塩嶺地域における大規模マグマ活動について—。地質学雑誌, 112: 549-567
- 15) 国土交通省 (1974) 土地分類基本調査土地分類図 (表層地質図)。長野県
- 16) 河内晋平 (1974) 蓼科山地域の地質。地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅)。産総研地質調査総合センター, 114p
- 17) 大貫 仁・吉田武義・鈴木堯士 (1978) 四国中央部, 三波川変成帯の藤原苦鉄質—超苦鉄質複合岩体, 1. 岩石化学と造岩鈹物: 岩石鈹物鈹床学会誌, 73: 311-322
- 18) 中村美千彦 (1991) 北八ヶ岳火山新期の岩石学的モデル。火山, 36: 93-112
- 19) 手島秀一・河内晋平 (1994) 和田峠東方・鷹山火山岩類の地質と岩石。信州大教育志賀自然

- 教育研究施設業績, 31: 1-8
- 20) 山岸貴美子・青山朋美・河内晋平 (1999) 茅野市八子ヶ峰の地質と岩石. 信州大教育志賀自然教育研究施設業績, 36: 1-11
- 21) 中井光一・内山 慶・山田 大・河内晋平 (2000) 霧ヶ峰火山, 池のくるみ-車山-虫倉の地質・岩石, 活断層. 信州大教育志賀自然教育研究施設業績, 37: 23-35
- 22) 向井理史・三宅康幸・小坂共栄 (2009) 中部日本, 美ヶ原高原とその周辺地域における後期鮮新世-前期更新世の火山活動史. 地質学雑誌, 115: 400-422
- 23) 新井宏嘉・宮下 敦・田辺克幸・村田 守 (2011) 群馬県下仁田地域に分布する御荷鉾緑色岩類中のひすい輝石とその岩石鉱物学的特徴. 岩石鉱物科学, 40: 177-194
- 24) 佐藤興平 (2012) フォッサマグナ中央部の和田峠周辺に分布する花崗岩質岩体群の K-Ar 年代. 群馬県立自然史博物館研究報告, 16: 77-84
- 25) Nesbitt, H.W., Young, G.M. (1982) Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299: 715-717
- 26) Nesbitt, H.W., Young, G.M. (1984) Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48: 1523-1534
- 27) Nesbitt, H.W., Young, G.M. (1989) Formation and diagenesis of weathering profiles. *The Journal of Geology*, 97: 129-147
- 28) White, A.F., Blum, A.E. (1995) Effects of climate on chemical-weathering in watersheds. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59: 1729-1747
- 29) 西山賢一 (2018) 日本における岩石の風化研究の進展と課題. 地質学雑誌, 124: 877-888
- 30) 庄子貞雄 (1984) 黒ボク土-その今日的課題を探る. 化学と生物, 22: 242-250
- 31) Chaokrapani, C.J. (2005) Major and trace element geochemistry in upper Ganga River in the Himalayas. *India Environmental Geology*, 48: 189-201

Bulk chemical compositions of the sediments in major streams in the watershed of Lake Suwa, central Japan

Nozomi HATANO¹

¹ Nagano Environmental Conservation Research Institute, Natural Environment Division, 2054-120 Kitago, Nagano 381-0075, Japan

Key words : Major element compositions, bedload sediments, suspended particles, weathering, provenance analysis, hydraulic fractionation



附図1 懸濁泥試料の採取時における宮川と上川の濁流。(A) 宮川(採水地点 M1, 採水日時 2019年10月12日15時00分)。(B) 上川(採水地点 K2, 採水日時 2019年10月12日14時20分)。

附表1 諏訪湖流域における支流の河床堆積物試料の採取地点と詳細。土色は、試料採取直後に湿試料を対象として標準土色帖を用いて記載。

試料名	採取地点		支流名	流域に分布する岩体	マンセル式土色
	緯度	経度			
722-5	36° 2'18.11"N	138° 13'54.31"E	滝ノ湯川	北八ヶ岳火山噴出物	2.5Y3/2
816-4	36° 2'7.56"N	138° 16'22.32"E	渋川	北八ヶ岳火山噴出物	10YR3/3
816-5	36° 1'55.75"N	138° 14'59.39"E	渋川	北八ヶ岳火山噴出物	2.5Y3/3
816-6	36° 2'55.21"N	138° 12'2.46"E	名称不明	北八ヶ岳火山噴出物	2.5Y3/1
816-7	36° 0'46.48"N	138° 17'8.86"E	角名川	北八ヶ岳火山噴出物	2.5Y3/3
816-8	35° 59'14.80"N	138° 16'41.55"E	柳川	北八ヶ岳火山噴出物	2.5Y3/2
816-9	35° 58'37.53"N	138° 17'25.19"E	弓振川	北八ヶ岳火山噴出物	2.5Y3/3
722-1	36° 2'47.67"N	138° 11'42.27"E	前島川	塩嶺火山岩類(霧ヶ峰地域)	10YR2/2
727-1	36° 5'5.06"N	138° 12'25.00"E	名称不明	塩嶺火山岩類(霧ヶ峰地域)	2.5Y3/3
816-1	36° 4'43.66"N	138° 8'16.54"E	角間川	塩嶺火山岩類(霧ヶ峰地域)	10YR2/1
816-2	36° 2'27.11"N	138° 9'47.83"E	茅野横河川	塩嶺火山岩類(霧ヶ峰地域)	2.5Y2/1
816-3	36° 0'51.55"N	138° 18'30.12"E	鳴岩川	塩嶺火山岩類(霧ヶ峰地域)	2.5Y4/3
727-2	36° 5'5.86"N	138° 13'20.02"E	音無川	塩嶺火山岩類(霧ヶ峰地域)	2.5Y3/3
727-8	35° 59'10.75"N	138° 7'56.97"E	名称不明	塩嶺火山岩類(塩嶺西山地域)	2.5Y3/2
727-13	36° 0'45.04"N	138° 4'57.92"E	中ノ沢川	塩嶺火山岩類(塩嶺西山地域)	2.5Y3/2
727-14	36° 0'37.91"N	138° 4'53.37"E	中ノ沢川	塩嶺火山岩類(塩嶺西山地域)	2.5Y3/2
728-8	36° 2'11.34"N	138° 3'18.46"E	小田井沢川	塩嶺火山岩類(塩嶺西山地域)	5Y3/2
727-15	36° 1'27.45"N	138° 3'44.81"E	名称不明	塩嶺火山岩類(塩嶺西山地域)	2.5Y3/3
728-7	35° 57'32.00"N	138° 10'20.53"E	名称不明	花崗閃緑岩類(木舟花崗閃緑岩類)	2.5Y3/2
816-10	35° 57'33.03"N	138° 10'22.63"E	名称不明	花崗閃緑岩類(木舟花崗閃緑岩類)	2.5Y4/3
727-12	35° 59'58.04"N	138° 6'34.13"E	唐沢川	守屋層(デイサイト~流紋岩質火山岩・火山砕屑岩類)	2.5Y4/3
816-11	35° 59'44.79"N	138° 6'45.93"E	唐沢川	守屋層(デイサイト~流紋岩質火山岩・火山砕屑岩類)	2.5Y3/2
728-2	35° 55'12.46"N	138° 12'5.74"E	思沢川	秩父帯(千枚岩・玄武岩・ドレライト)	2.5Y4/3
728-3	35° 56'0.48"N	138° 11'21.24"E	大沢川	秩父帯(玄武岩・ドレライト)	2.5Y3/3
728-4	35° 55'53.42"N	138° 11'8.64"E	大沢川	秩父帯(玄武岩・ドレライト)	2.5Y3/2
728-5	35° 56'24.44"N	138° 10'46.47"E	名称不明	三波川帯(御荷鉾緑色岩類・蛇紋岩・泥質片岩)	2.5Y4/3
728-6	35° 57'14.80"N	138° 10'19.19"E	大崩川	三波川帯(御荷鉾緑色岩類・蛇紋岩・苔鉄質岩・泥質片岩・石英片岩)	2.5Y4/3
727-3	35° 58'18.78"N	138° 9'27.02"E	麻侵川	三波川帯(蛇紋岩・泥質片岩)	2.5Y4/3
727-4	35° 58'16.40"N	138° 9'21.52"E	麻侵川	三波川帯(蛇紋岩・泥質片岩)	2.5Y4/3
727-5	35° 58'38.16"N	138° 9'3.24"E	名称不明	三波川帯(蛇紋岩・泥質片岩)	2.5Y4/4
727-6	35° 58'38.16"N	138° 9'3.24"E	名称不明	三波川帯(蛇紋岩・泥質片岩)	2.5Y3/2

附表2 宮川と上川の増水時の懸濁泥試料の採取地点と採取日時.

試料名	採水地点			採水日時/時間
	地点名 (河川)	緯度	経度	
191012-K1 200708-K1	K1 (上川)	35°59'25.25"N	138° 9'12.21"E	2019/10/12/14:00 2020/7/8/11:10
191012-K2 200708-K2	K2 (上川)	36° 0'51.41"N	138°10'36.33"E	2019/10/12/14:20 2020/7/8/11:30
191012-M1 200708-M1	M1 (宮川)	36° 0'30.82"N	138° 7'21.26"E	2019/10/12/15:00 2020/7/8/12:10
191012-M2 200708-M2	M2 (宮川)	35°58'11.31"N	138°10'28.01"E	2019/10/12/15:30 2020/7/8/12:40

附表3 諏訪湖流域の支流の河床堆積物における主要元素組成, CIA 値, 灼熱減量 (LOI).

試料名	SiO2 (wt.%)	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Total	CIA 値	LOI	流域に分布する岩体
722-5	57.25	1.44	17.66	10.67	0.40	3.62	4.75	2.34	1.44	0.42	100.00	65.78	9.45	北八ヶ岳火山噴出物
816-4	51.25	1.24	17.52	19.76	0.17	2.80	3.44	1.87	1.17	0.78	100.00	71.75	12.79	北八ヶ岳火山噴出物
816-5	55.46	1.43	19.42	13.54	0.34	2.74	3.41	1.45	1.23	0.98	100.00	69.37	22.38	北八ヶ岳火山噴出物
816-6	58.40	1.52	19.04	11.80	0.10	2.34	3.53	1.91	1.00	0.36	100.00	69.36	13.47	北八ヶ岳火山噴出物
816-7	58.15	1.02	21.32	8.03	0.33	2.60	4.36	2.36	1.37	0.47	100.00	65.50	17.23	北八ヶ岳火山噴出物
816-8	52.96	1.45	20.74	12.88	0.23	3.11	5.41	2.13	0.68	0.39	100.00	69.73	14.91	北八ヶ岳火山噴出物
816-9	52.85	1.49	21.05	10.53	0.22	3.47	6.58	2.50	0.91	0.40	100.00	63.87	7.68	北八ヶ岳火山噴出物
722-1	53.91	1.74	23.12	11.63	0.24	2.86	3.21	1.49	1.38	0.41	100.00	77.08	21.52	塩嶺火山岩類 (霧ヶ峰地域)
727-1	54.82	1.50	21.46	10.75	0.33	3.01	4.50	1.93	1.26	0.42	100.00	71.29	20.25	塩嶺火山岩類 (霧ヶ峰地域)
816-1	56.01	1.30	23.48	9.91	0.24	2.07	3.43	1.47	1.55	0.53	100.00	76.48	30.84	塩嶺火山岩類 (霧ヶ峰地域)
816-2	56.13	1.53	24.01	9.66	0.21	2.47	2.99	1.32	1.27	0.41	100.00	79.30	27.55	塩嶺火山岩類 (霧ヶ峰地域)
816-3	53.90	1.78	26.63	10.76	0.22	1.95	2.21	1.05	1.09	0.42	100.00	83.67	26.30	塩嶺火山岩類 (霧ヶ峰地域)
727-2	54.87	1.37	20.67	11.39	0.31	2.85	5.56	1.93	0.74	0.31	100.00	78.35	11.01	塩嶺火山岩類 (霧ヶ峰地域)
727-8	61.88	1.53	18.40	9.74	0.17	2.02	2.54	1.75	1.78	0.19	100.00	73.76	18.37	塩嶺火山岩類 (塩嶺西山地域)
727-13	52.36	1.85	23.60	13.31	0.27	2.41	3.34	1.40	1.13	0.33	100.00	78.27	18.31	塩嶺火山岩類 (塩嶺西山地域)
727-14	50.57	2.21	23.18	15.33	0.31	2.58	3.10	1.31	1.06	0.34	100.00	79.10	20.33	塩嶺火山岩類 (塩嶺西山地域)
728-8	57.76	1.10	26.48	8.24	0.14	1.15	1.68	1.13	1.88	0.44	100.00	83.85	21.89	塩嶺火山岩類 (塩嶺西山地域)
727-15	59.23	1.38	23.71	8.74	0.30	1.59	1.80	1.11	1.75	0.41	100.00	82.14	18.61	塩嶺火山岩類 (塩嶺西山地域)
728-7	59.94	1.03	16.31	7.45	0.25	4.79	5.04	2.76	2.25	0.17	100.00	58.42	8.13	花崗閃緑岩類 (木舟花崗閃緑岩類)
816-10	62.24	0.80	17.50	5.81	0.24	3.66	4.07	2.84	2.66	0.17	100.00	63.00	9.62	花崗閃緑岩類 (木舟花崗閃緑岩類)
727-12	71.47	0.87	15.09	6.46	0.18	1.17	1.12	1.03	2.51	0.10	100.00	76.05	7.31	守屋層 (デイサイト~流紋岩質火山岩・火山砕屑岩類)
816-11	72.12	0.70	15.41	5.33	0.15	1.01	1.01	1.68	2.47	0.13	100.00	77.39	10.68	守屋層 (デイサイト~流紋岩質火山岩・火山砕屑岩類)
728-2	58.98	1.21	17.67	9.40	0.21	4.41	3.98	2.10	1.80	0.24	100.00	65.80	17.36	秩父帯 (千枚岩・玄武岩・ドレライト)
728-3	56.85	2.12	16.61	10.57	0.29	4.97	4.40	1.95	1.92	0.32	100.00	64.17	18.72	秩父帯 (玄武岩・ドレライト)
728-4	57.13	1.99	16.03	10.63	0.26	5.10	4.65	2.01	1.89	0.31	100.00	62.61	15.99	秩父帯 (玄武岩・ドレライト)
728-5	52.01	1.18	14.46	12.50	0.21	12.17	4.73	1.51	1.11	0.13	100.00	64.44	11.90	三波川帯 (御荷鉾緑色岩類・蛇紋岩・泥質片岩)
728-6	54.16	1.25	14.19	11.68	0.21	11.64	4.23	1.32	1.14	0.18	100.00	66.20	13.62	三波川帯 (御荷鉾緑色岩類・蛇紋岩・苦鉄質岩・泥質片岩・石英片岩)
727-3	61.73	1.00	17.74	10.63	0.23	3.55	1.57	1.54	1.81	0.19	100.00	78.63	12.84	三波川帯 (蛇紋岩・泥質片岩)
727-4	61.39	1.09	17.86	10.26	0.21	3.40	1.93	1.89	1.78	0.21	100.00	76.66	11.21	三波川帯 (蛇紋岩・泥質片岩)
727-5	54.32	1.39	15.97	15.72	0.26	6.65	2.81	1.44	1.30	0.14	100.00	71.62	13.65	三波川帯 (蛇紋岩・泥質片岩)
727-6	54.35	1.41	15.99	15.69	0.29	6.49	2.90	1.42	1.30	0.17	100.00	71.47	15.97	三波川帯 (蛇紋岩・泥質片岩)

附表4 宮川と上川の増水時の懸濁泥試料における主要元素組成, CIA値, 灼熱減量(LOI).

試料名	SiO ₂ (wt.%)	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Total	CIA値	LOI
191012-K1	57.41	1.48	22.67	8.16	0.22	2.12	3.53	2.22	1.69	0.52	100.00	73.35	17.65
200708-K1	57.25	1.34	22.30	8.55	0.45	2.02	3.37	2.31	1.91	0.51	100.00	73.14	18.65
191012-K2	57.01	1.43	22.05	8.21	0.33	2.40	3.96	2.41	1.79	0.40	100.00	70.70	21.65
200708-K2	56.76	1.45	22.48	8.30	0.33	2.36	3.79	2.30	1.80	0.43	100.00	71.81	22.65
191012-M1	53.90	1.68	22.51	9.92	0.36	4.47	3.32	1.47	1.66	0.71	100.00	75.67	19.65
200708-M1	53.61	1.72	21.34	10.31	0.31	5.51	3.44	1.53	1.64	0.60	100.00	74.22	20.65
191012-M2	54.07	1.72	21.76	9.55	0.29	4.50	4.28	1.88	1.40	0.56	100.00	71.94	23.65
200708-M2	53.62	1.79	22.81	9.71	0.29	4.15	3.89	1.72	1.38	0.66	100.00	74.37	24.65