

氏名	高須 佳奈		
学位の種類	博士（理学）		
学位記番号	総博甲第134号		
学位授与年月日	平成31年3月22日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項		
文部科学省報告番号	甲第640号		
専攻名	総合理工学専攻		
学位論文題目	Multilateral research of stream sediment based on its geochemical composition and heavy minerals - Case study for modern river mouth sediments around Lake Biwa, southwest Japan - (化学組成と重鉱物に基づく河川堆積物の多角的解析 －琵琶湖の河口堆積物の事例－)		
論文審査委員	主査	島根大学教授	亀井 淳志
		島根大学教授	三瓶 良和
		島根大学教授	酒井 哲弥

## 論文内容の要旨

The composition of terrigenous sedimentary rocks contains important information which allows to identify their provenance and the tectonic setting of their respective source rocks. Especially the development of detailed geochemical analytical techniques has improved our ability to discriminate ancient sedimentary suites and their respective tectonic setting. However, to investigate clastic rocks from an etiological point of view, it is necessary to accumulate a comprehensive database on the hinterland and the clastic material brought from it. This study focuses on a modern sedimentary basin with sediment influx from a variety of distinct sources. Several analytical approaches have been employed to provide a comprehensive “source to sink” dataset instead of only using one single analytical method. This paper reports a detailed geochemical and mineralogical study of modern river mouth sediments around Lake Biwa using geochemical analysis and heavy mineral analysis in order to link sediment characteristics with potential source areas.

Sediment samples were collected from the mouths of 17 rivers entering Lake Biwa. The area around Lake Biwa consists of Mesozoic and Paleozoic Tamba terrane rocks, late Cretaceous to Paleogene granitoids and ignimbrites, Miocene marine sediments (Ayukawa Group), Pliocene to Pleistocene non-marine sediments (Kobiwako Group) and late Pleistocene to Holocene alluvium. Each of the 17 rivers traverses variable proportions of basement source rocks and these rivers were divided into three groups based on the geological distribution in their catchments: Group 1 – alluvium derived; Group 2 – mainly granitoid derived; and

Group 3 – Tamba terrane derived. Heavy mineral analysis and geochemical analysis were performed on unconsolidated estuary sediments.

Heavy minerals were distinguished using optical microscopy and X-ray micro analyzer. As a result of heavy mineral analysis, the following points were clarified. Heavy mineral assemblages of the three groups are characterized by the presence of amphibole in Group 1, ilmenite in Group 2, and Fe-oxides in Group 3. A good relationship exists between the heavy mineral assemblages in the sediments and the phases present in their sources. However, some anomalies occur, with over-representation of amphibole, clinopyroxene, ilmenite and Fe-oxides in individual samples. These anomalies would reflect the physiographic configuration of the lake, and local hydrological and climatic factors. These factors may also influence heavy mineral assemblages in older sequences, especially in fluvio-lacustrine environments.

In the geochemical analysis, the author attempted to compare the numerous published geochemical data of granitoid and Tamba sedimentary rocks, which are the two major source regions in the study area. Group 2 sediments are characterized by depletion in MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, Cr, Ni, Sr, V and show enrichment in Rb relative to average upper continental crust (UCC). Group 3 sediments show lesser depletion in CaO, Na<sub>2</sub>O and Sr, but are richer in ferromagnesian elements, with contents closer to UCC. Group 1 samples, the source sediments of which were themselves derived from Groups 2 and 3 sources, show intermediate and more diverse compositions. Established geochemical diagrams show that while the sediments generally retain the geochemical fingerprints of their source rocks, significant shifts in composition have occurred due to source weathering and recycling. Sorting and heavy mineral accumulation have less effect, although some Group 1 samples show zircon concentration, probably due to reworking of alluvium which was mainly derived from granitoids. Group 3 samples also show V enrichment, possibly due to presence of fine-grained magnetite and clays. The present study suggests that the chemical composition of river mouth sediments is useful not only for its provenance research but also for the interpretation of weathering and sorting processes.

The results of this comprehensive geochemical study show, that heavy mineral analysis has an advantage when discriminating source rocks even if they are present as minor geological units. On the other hand, the geochemical analysis has an advantage when identifying the source of large geological complexes in the hinterland. Additionally, it is possible to get some information about sediment liberation and flux such as source weathering and sorting. The most effective method to understand the hinterland geology lies in the combination of both, heavy mineral analysis and geochemical analysis.

## 論文審査結果の要旨

古環境解析（既に失われた地質環境の復元や把握）は現代の地球表層環境システムをよく理解するために重要であり、ひいてはそこを基盤として発展している人類社会の安定的な維持にも大切である。申請者の博士論文は、従来行われてきた堆積岩の「重鉱物分析」および「化学分析」による各古環境解析手法（特に後背地推定）に対して、その強みと弱みを明確にし、さらに両デ

一タの総括によって最良の解析手法を提言することを目的とした。そこで、現世で集水域の地質・地形・環境が明確な滋賀県琵琶湖周辺の河川堆積物を研究対象とし、後背地推定に関する実証的研究を実施した。

琵琶湖周辺には古～中生代の丹波帯構成岩類、白亜紀～古第三紀の花崗岩類、中新世の海成層（鮎河層群）、鮮新世～更新世の非海成層（古琵琶湖層群）、完新世の沖積層が分布する。琵琶湖に流入する17の1級河川より河口堆積物33試料が採取され、既存手法に基づいた重鉍物解析および化学解析がそれぞれ行われた。各試料は集水域の地質構成比に基づいてグループ1：主に沖積層および古琵琶湖層群由来の堆積物、グループ2：主に花崗岩由来の堆積物、グループ3：主に丹波帯由来の堆積物に大別されて検討がなされた。

**重鉍物解析：** グループ1は重鉍物含有量が高く、火山灰由来の角閃石を特徴的に含み、後背地質とおよそ整合する。花崗岩由来のイルメナイトも含まれる。グループ2は重鉍物含有量が低いもののジルコン、イルメナイト、希土類鉍物で特徴付けられる。このことは花崗岩起源を示唆する。グループ3は紫色の円磨ジルコンとクロムスピネルが丹波帯起源を示唆する。しかしながら、重鉍物割合は丹波帯岩石とは相関しない。これは地形、湖の潮流、季節風による鉄酸化物濃集や、第三紀火山灰由来の砕削物混入の影響による。

**化学解析：** グループ2は上部大陸地殻（UCC）の組成に比較して低いMg, Ca, Na, Cr, Ni, Sr, Vと高いRbを持ち、花崗岩起源を示唆する。グループ3は低いCa, Na, Srと高いMg, Fe, Cr, Niを持ち、丹波帯起源を示唆する。ただしV濃集が著しく、磁鉄鉍等の微粒子化の影響が認められる。一方、グループ1（主に沖積と古琵琶湖起源）はグループ2と3の中間的組成を示し、堆積層の大元は両グループの混合物であることを明確にした。ただしZr濃集が認められ、花崗岩や古琵琶湖層の砕削物が再堆積を繰り返していることが示唆された。

**両解析の総括と正確な環境把握：** 上記2検討より重鉍物解析の利点は①集水域の全地質岩石の把握（1粒子からその存在を認識できる）であり、化学解析の利点は①河川流域の主要地質の把握、および②根源岩の風化程度（A-CN-K解析）、③再堆積の影響（Zr濃集等）、④分級程度（V濃集等）の把握と分かった。一方、両解析の要注意点では、重鉍物解析は①集水域の地質割合を把握できない（様々な要因で濃集・拡散があり、特に河川-湖沼環境では要注意）、化学解析は①集水域の小さな地質体を検出できない（後背地の全組成が平均化される）と判明した。これらの結果および全データを用いた新たな多変量解析等の結果を総括した結果、最良の後背地推定の解析手法とは、上記既存手法の強みの複合であると結論された。

以上のとおり、本博士論文では、(1)研究の目的設定と方法が適切であり、(2)研究の内容では必要な分析・解析が十分になされており、(3)目的達成のための詳細な考察が加えられて、(4)将来の地球科学に対してオリジナルかつ重要度の高い結論が導き出されていることが分かる。したがって、本博士論文は極めて優れたものと評価されて「合格」と判定された。