バイカル湖湖底堆積物の物理過程の解明と長周期水文環境

氏　　　名	落合　伸也
学位の種類	博士（理学）
学位記番号	博甲第737号
学位授与の日付	平成17年3月22日
学位授与の要件	課程博士（学位規則第4条第1項）
学位授与の題目	Long-term changes in climato-hydrological environment and physical processes of Lake Baikal sediment （バイカル湖湖底堆積物の物理過程の解明と長周期水文環境）
論文審査委員(主査)	柏谷　健二（自然計測応用研究センター・教授）
論文審査委員(副査)	古本　宗充（自然科学研究科・教授），
	佐藤　　努（自然計測応用研究センター・助教授），
	長谷部　徳子（自然計測応用研究センター・助教授），
	酒井　英男（富山大学・教授）

学位論文要旨

Numerical experiments with conceptual sedimentation models were performed to discuss the dominant factors governing the grain size distribution and the sedimentation rate of the Lake Baikal sediment. Grain size distribution of lake sediment is governed by (1) grain size distribution of input sediment from the catchments, (2) lake water level and (3) flow velocity of lake current, which may be related to intensity of wind forcing and ice cover. Sedimentation rate is governed by (1) sediment inflow rate from the catchments, (2) lake water level and (3) flow velocity of lake current.

Analytical results of sediment core BDP98 from Lake Baikal show that mineral grain size was large during interglacials while it was small during glacials. Change in sedimentation rate was obtained from a high-resolution age model for the Brunhes epoch. This new age model was established based on a new automatic orbital tuning algorithm with Genetic Algorithm (GA), which is an optimization technique following evolution of life. Shifts in sedimentation rate were found at about 250 kyr B.P., 350 kyr B.P. and 700 kyr B.P. on the basis of the new age model. These fluctuations and shifts may imply environmental changes corresponded to climatic and/or tectonic events.

本研究では、湖沼—流域系を環境変動の「記録装置」としてとらえ、湖沼堆積物の物理特性変動（粒径・堆積速度など）に記録された氷期—間氷期スケールの水文環境変動（降水量など）を明らかにすることを最終的な目的としている。流域を構成している物質は、雨によって侵食され、河川を運搬されて湖に堆積する。流域から流出する土砂の粒径・流出量は、降水量を反映していると考えられるので、湖沼堆積物の粒径・堆積速度を測定することによって過去の降水量が推定できる。こうした考えに基づき、氷期—間氷期変動に対して最も敏感な地域に位置し、長期の堆積物試料が得られるバイカル湖を対象として（1）水文環境が堆積物に記録されるメカニズムの解明、（2）バイカル湖湖沼堆積物コアによる水文環境の推定を試みた。

（1）水文環境が堆積物に記録されるメカニズムの解明

湖沼堆積物の物理特性は、侵食・運搬・堆積という一連のプロセスを経て水文環境を記録すると考えられる。本研究ではそれらのうち、堆積プロセスおいて堆積物の粒径・堆積速度を支配する要因を明らかにするために、河川から流入した土砂が堆積するまでの数値シミュレーションを行った。ここでは、①均一な湖流を仮定したモデル、②湖流循環自体をナビエ・ストークス式に基づいて計算するモデルの２つを用いてシミュレーションを行った。

モデル①においては、鉛直２次元の矩形湖を仮定し、折り曲げて両端を接続することにより、擬似的に還流を表現した。湖内では鉛直流は無いものとし、均一な水平流・拡散・土砂粒子の沈降のみで土砂が運搬されると仮定した。湖流の流速、湖の水深を条件として与え、堆積物の粒径に与える影響を求めた。その結果、堆積物の粒度分布は、流域から流入する土砂の粒度分布、湖流の流速、湖の水深変化によって支配されていることが示唆された。

さらに第二段階として、湖流循環自体をナビエ・ストークス式に基づいて計算し、その流速場における土砂の堆積に関する数値シミュレーションを行った（モデル②）。モデル①と同様に鉛直２次元の矩形湖を仮定した。このシミュレーションにおいては、河川の流入と湖上風の強弱、結氷の有無を条件として与えた。その結果、湖内の平均流速は風速の増加に応じて増加し、湖上風が湖流の強弱に大きな寄与を持つことが分かった。また湖内平均流速は、風の影響が遮断される湖面が結氷した状態では、非結氷時の百から千分の一程度になり、非常に弱くなることが示された。これらの各状況下での湖内土砂運搬を計算し、条件の違いが堆積物の粒径・堆積速度に与える影響を求めた。その結果、堆積物の粒径・堆積速度は、流域から流入する土砂の粒径・土砂流入速度・湖流の流速（湖上風の強弱・結氷の有無）・湖の水深変化を反映する可能性が示唆された（図１）。また堆積物の堆積速度は、流域からの土砂流入速度・湖流の流速（湖上風の強弱・結氷の有無）・湖の水深変化を反映する可能性が示された。

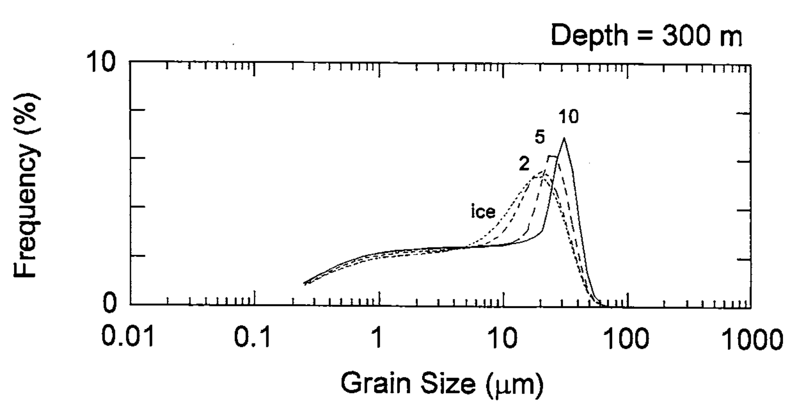

図１ 堆積シミュレーションによって得られた、湖上風強度に起因する湖流流速の違いによる堆積物の粒度分布の変化。

（2）バイカル湖湖沼堆積物コアによる水文環境の推定

1998年にバイカル湖で採取されたBDP98コアについて、過去78万年間に焦点を当て、

精密な物理特性（粒径・堆積速度）の測定を行った。堆積物の粒径に関しては、湖内生物生産性を反映する全岩粒径と、有機物・生物起源シリカを除去後の試料を用いた鉱物粒径を測定した。鉱物粒径は、間氷期に大きく、氷期に小さい傾向が認められた（図2a）。この変動を上述のシミュレーション結果に基づいて解釈すると、間氷期と氷期における流入土砂の粒径の違い（降水量の違い）、あるいは湖流強度の違いを反映していると推定できる。

一方、堆積速度の連続的な変動を得るためには、コアに対して十分な密度で絶対年代点を挿入する必要がある。しかしながら、C-14 法などの放射年代を多数測定することのコスト的な問題や、78 万年間をカバーできる有効な方法が無いなどの問題点がある。そこで、コアに対して測定された物理特性変動を日射量の永年変動に同調させる手法を用い、コアの堆積年代を連続的に推定した。こうした手法はオービタルチューニングと呼ばれ、海洋底コアの年代推定法として用いられてきているが、手作業による主観的な方法が主流であった。そこで本研究では、コンピュータによる自動的・客観的な手法の開発を試みた。しかしながら、日射量と物理特性変動は波形（卓越周期の振幅比）が異なるため、直接比較によるチューニングは困難である。そこで、両者に共通する卓越周期の sin 関数からなる「仲介関数」を導入し、両者を間接的に同調させる方法を新たに開発した。さらに最適化計算手法として、複数の解の同時探索能力に優れている遺伝的アルゴリズム（GA）を導入した。

BDP98 コアの年代をこの手法により精密に推定し、堆積速度の変化を計算した結果、25、35、70 万年前に大きな堆積速度の変化が起こっていたことが示された（図2b）。上述のシミュレーション結果から、堆積速度の変化は流域からの流出土砂量変化を反映していると考えられる。これらの堆積速度変化は、バイカル湖流域における地殻変動や汎世界的な気候変動に対応している可能性が考えられる。

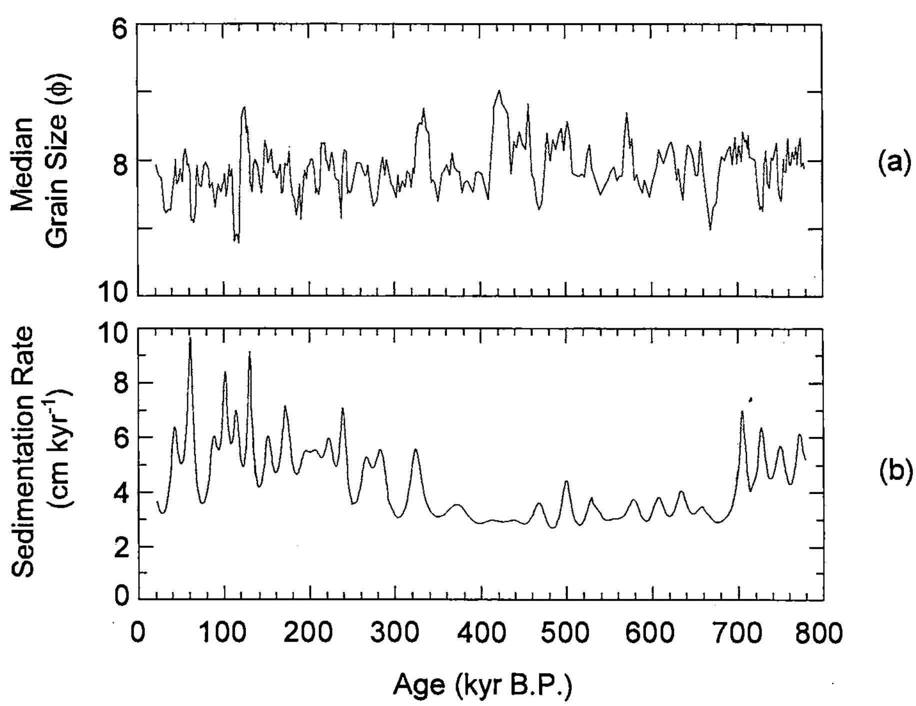

図2 BDP98 コアの 78 万年間の物理特性変動。(a) 鉱物粒径、(b) 堆積速度

学位論文審査結果の要旨

本論文では、湖沼ー流域系を環境変動の「記録装置」としてとらえ、湖沼堆積物の物理特性変動（粒径・堆積速度など）に記録された氷期ー間氷期スケールの水文環境変動（降水量など）を明らかにすることを最終的な目的としている。そのために、氷期ー間氷期変動に対して最も敏感な地域に位置し、長期の堆積物試料が得られるバイカル湖を対象として、1）水文環境が堆積物に記録されるメカニズムの解明、2）バイカル湖湖沼堆積物コアによる水文環境の推定を試みられている。

1）では、堆積プロセスおいて堆積物の粒径・堆積速度を支配する要因を明らかにするために、河川から流入した土砂が堆積するまでのプロセスを、均一な湖流を仮定したモデルと湖流循環自体をナビエ・ストークス式に基づいて計算するモデルを用いて数値シュミレーションを行った。その結果、堆積物の粒径・堆積速度は、流域から流入する土砂の粒径・土砂流入速度・湖流の流速（湖上風の強弱・結氷の有無）・湖の水深変化を反映することを明らかにした。

2）では1998年にバイカル湖で採取されたBDP98コアについて、過去78万年間に焦点を当てている。精密な物理特性の測定と遺伝的アルゴリズム（GA）に基づく新たなオービタルチューニング法の開発から、これまでに知られていなかった地殻変動や汎世界的な気候変動に対応している可能性が考えられる25、35、70万年前の大きな環境の変化を示唆する詳細な変動を明らかにした。

以上の点から本論文が博士論文として値すると判定した。