フブスグル湖湖沼堆積物の炭酸塩鉱物組成に記録された古環境

メタデータ	言語: jpn
	出版者:
	公開日: 2017-10-05
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 福本, 寛人, 福士, 圭介, 柏谷, 健二
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/29911

フブスグル湖湖沼堆積物の炭酸塩鉱物組成に記録された古環境

福本寛人[1]・福士圭介[2]・柏谷健二[2]
[1]〒920-1192　金沢市角間町　金沢大学大学院自然科学研究科
[2]〒920-1192　金沢市角間町　金沢大学環日本海域環境研究センター
FUKUMOTO Hiroto, FUKUSHI Keisuke and KASHIWAYA Kenji:
Paleoenvironment recorded in carbonate minerals in bottom sediments of Lake Hovsgol

1. はじめに

モンゴル北西部にあるフブスグル湖は気候の変動に敏感な大陸内部に位置している。フブスグル湖は準閉塞湖であり人為的な撹乱が少ないことから堆積物の保存状態が良いことが知られ、近年多くのコアが採取され研究されている(吉良, 1999)。Prokopenko *et al.* (2005) は、フブスグル湖は時期によって水位の変動が激しく、大陸を代表する水位計となり得ることを示唆している。特に最終氷期極相期(LGM)の間、フブスグル湖が現在よりも約 100m水位が低く閉塞湖であったことを示し、この寒冷期と温暖期で著しく異なる水位変動が炭酸塩鉱物含有量から復元できる可能性を示唆している。角野卒論(2006MS)では、堆積物コアの炭酸塩含有率が気候の変動に対応していることを示唆している。しかし、これらの先行研究では、炭酸塩鉱物が水位、気候変動を記録するメカニズムまでは言及されていないため、本当に炭酸塩鉱物が水位、気候変動の指標となり得るかはわかっていない。そこで本研究では HDP04 コアに残された炭酸塩鉱物の鉱物学的分析により、炭酸塩鉱物が古環境を記録するメカニズムを明らかにし、フブスグル湖における炭酸塩鉱物の古環境指標としての役割を検討することを目的とする。

2. 試料と実験方法

HDP04 コアの全長は 81mであり、採取したサンプルは 2cm ごとにカットされた。HDP04 コアでは表層部の堆積構造は乱されており、深度 2m が現在に相当することが認められている(Watanabe *et al.*,2007)。さらに帯磁率の測定から、57.45m がブルネ‐マツヤマ境界(780ka)に相当することが認められている(Hovsgol Drilling Project Group, 2009)。そこで本研究では 2～57.4m までを分析対象とした。なお深度 23.8mに不整合があることが確認されている(Hovsgol Drilling Project Group, 2007)。

実験方法は、粉末 X 線回折(XRD)、炭酸塩鉱物の選択抽出分析、エネルギー分散型 X 線分析装置(EDS)つき走査型電子顕微鏡（SEM）観察、粘土鉱物に関する XRD 分析である。XRD は Rigaku Rint1200 を使用し、CuKα、40kV 30mA の条件で行った。炭酸塩鉱物の選択抽出分析は、モーガン試薬(pH5.0 の緩衝溶液)を用いて炭酸塩鉱物を溶解させた後、誘導結合プラズマ質量分析(ICP-MS)、及びイオンクロマトグラフィーを用いてろ液の Ca^{2+},Mg^{2+},Sr^{2+}濃度を測定した。粘土鉱物分析は、まず堆積物中の<2μm の粒子を回収し、スライドガラスに貼り付けたものをエチレングリコールを入れた密閉容器内に入れ、70℃で 12 時間加熱した後に XRD を行った。

3. 結果

XRD 分析から、堆積物は初生鉱物として石英、長石および角閃石、粘土鉱物として緑泥石、イライトおよびスメクタイト、炭酸塩鉱物としてカルサイト、ドロマイトおよびモノハイドロカルサイト(MHC)を含有することが認められた。いずれの深部から得られたサンプルも上記初生鉱物と粘土鉱物を含んでいた。一方炭酸塩鉱物は深度によって異なり、組み合わせは下記の 4 つのタイプに分類できた(図 1)。MHC、カルサイト、及びドロマイトを含むもの、カルサイト及びドロマイトを含むもの、ドロマイトのみ含むもの、炭酸塩鉱物を含まないものの 4 つである。

炭酸塩鉱物の選択抽出から得られた結果は、Ca、Sr、Mg 含有量の変動が比較的類似していることを示していた。またこれらの値は深さごとに値が大きく異なることが示された。

XRD のピーク面積から計算した MHC/石英(M/Q)の変動と Ca 含有量の変動の比較から、MHC の多いサンプル程、Ca 含有量が高い傾向があり、MHC を含むサンプルは最低でも 36ppm の Ca を含んでいた。しかし、MHC を含まないサンプルでも 36ppm を超えるサンプルが多く見られた。

SEM 観察から Ca-炭酸塩に関して、三角両錐～球状(2~4μm)、板状(2~4μm)、不定形(10~60μm)、不定成長形(10~30μm)の 4 つのタイプが確認された(図 2)。またドロマイトは不定形(5~80μm)であった。

4. 考察

SEM と XRD の結果から、三角両錐～球状は湖内で自生した MHC、ドロマイトは砕屑性、その他はカルサイトと考えられ、板状は湖内で自生、不定形は砕屑性、不定成長形は砕屑性が部分的に成長したものと考えられる。板状カルサイトは湖内で直接生成、または MHC が堆積後変質してできた可能性がある。カルサイトと MHC の両方が生成する条件では準安定相である MHC が優先的に生成するはずであるにもかかわらず、板状カルサイトは MHC を含むサンプルで多く見られた。従って、湖内で直接生成したとは考えにくく、MHC が堆積後に変質してできたと考えられる。

HDP-04 コアの 2~5m は ^{14}C による年代測定が行われており(Watanabe *et al*.,2007)、MIS1(温暖期)と MIS2(寒冷期)に一致することがわかっている。MIS1 では炭酸塩鉱物が見られず、MIS2 では MHC が見られる。このことから、MHC は水位が 100m 程度低かった寒冷期に形成されていたこと、現在の様な温暖期には炭酸塩鉱物が見られないことがわかる。

図 3 は 5℃での炭酸塩鉱物の溶解度曲線を示しており、Hayakawa *et al.* (2003)によって測定された現在のフブスグル湖の水質データをプロットしてみると、現在のフブスグル湖はカルサイトに関してわずかに未飽和、MHC に関してかなり未飽和である。この図から MHC が生成するためには、現在の水質より高 pH、高 Ca^{2+}濃度の条件が必要であることがわかる。

一般に、カルサイトにわずかに未飽和な閉鎖系の溶液にカルサイトを投入すると、少量のカルサイトが溶解することで溶液は平衡に保たれるはずである。しかし現在のフブスグル湖の水はわずかに未飽和であるにも関わらずカルサイトが保存されていない。このことは現在のフブスグル湖が開放湖であることによると考えられる。つまり流入してきたカルサイトが少量溶解することで一旦湖水はカルサイトに関して平衡に近づくが、その湖水が流出することで湖水は再びカルサイトに関して未飽和となる。このプロセスの繰り返しによって現在のフブスグル湖にカルサイトがことを説明することができる。またドロマイトはカルサイトよりも不活性であり(Drever,1997)、カルサイトの方が先に溶解する。従ってドロマイトのみ含むサンプルは、湖水がカルサイト、ドロマイトを含むサンプルと炭酸塩鉱物を含まないサンプルの中間の飽和度だったときに堆積したことを示す。

MHC を含まず砕屑性カルサイトが保存されているサンプルは、湖水が MHC には未飽和だがカルサ

イトに過飽和であったことを示している。現在の様な開放湖の状態から水位が低下し始めると、水面が流出河川の川底よりも低くなった時点でフブスグル湖は閉塞湖となり、前述の様な流出入プロセスがなくなるために湖水はカルサイトに関して平衡になると考えられる。さらに水位が低下すると湖水がよりカルサイトに関して過飽和になると考えられる。この時カルサイトに平衡となる時の Ca^{2+}及び CO_3^{2-}を超過した分のこれらのイオンは、新たなカルサイトを生成するよりもすでに存在する砕屑性のカルサイトを成長させるために消費されると思われる。つまり堆積物に残された砕屑性カルサイトの成長の度合いが高ければ高い程、堆積当時の湖水はカルサイトに関して過飽和であったと考えられる。

さらに水位が低下して湖水の Ca^{2+}濃度が上昇し、MHC に関しても過飽和になった時 MHC は生成したと考えられる。この時、水位がより低下して湖水が MHC に関して過飽和になればなるほど多くの MHC が生成する。生成した一部、もしくはすべての MHC は堆積後板状カルサイトに相変化してしまうが、堆積物中の MHC と板状カルサイトの総和(堆積当時生成した MHC に相当)は堆積当時の飽和度を反映すると考えられる。

以上のことから、MHC に過飽和な時は堆積物中の MHC と板状カルサイトの総和(生成した MHC に相当)、MHC に未飽和でカルサイトに過飽和な時は堆積物中の砕屑性カルサイトの成長度合いが堆積当時の炭酸塩鉱物に関する飽和度をそれぞれ直接反映していると考えられる。またカルサイトに未飽和な時はドロマイトの有無が定性的に堆積当時の飽和度を反映している。そしてこれらの炭酸塩鉱物は、すべて主要構成元素として Ca を含む。つまり飽和度を反映した 3 つのプロキシは、炭酸塩鉱物を溶解させた際の Ca 含有量変動に影響を与える。従って炭酸塩鉱物中の Ca 含有量は堆積当時の炭酸塩鉱物に関する飽和度に対応し、フブスグル湖における水位の変動に相当すると考えられる。

4. まとめ

・炭酸塩鉱物組み合わせにより堆積物は 4 つのタイプに分類された。
・炭酸塩鉱物組み合わせは堆積当時における各鉱物の飽和度により決定された。
・MHC と板状カルサイトの総和(MHC の生成量)、不定形成長カルサイトの成長度合い、ドロマイトの有無は堆積当時における各鉱物の飽和度を反映していた。
・堆積物中の全炭酸塩鉱物に含まれる Ca の変動は、フブスグル湖における湖水位の変動に一致していた。

引用文献

Drever, J.I. (1997) *The geochemistry of natural waters*. 3rd ed, Prentice Hall, 436 pp.

Hayakawa *et al.* (2003): *Limnology*, **4**, 25-33.

Hovsgol Drilling Project Group (2007): *Russian Geology and Geophysics*, **48**, 863–885.

Hovsgol Drilling Project Group (2009): *Quaternary International,* **205**, 21–37.

吉良　龍夫(1999): 世界の湖沼. NEWSLETTER,34.

Prokopenko *et al*. (2005): *Quaternary International*, **136**, 59-69.

Sakaguchi *et al.* (2009): *Quaternary International*, **205**, 65–73.

Sakai *et al.* (2005): *Journal of Paleolimnology*, **33**, 105–121.

角野　玄(2006MS): 金沢大学卒業論文.

Watanabe *et al.* (2007): *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, **259**, 565-570.

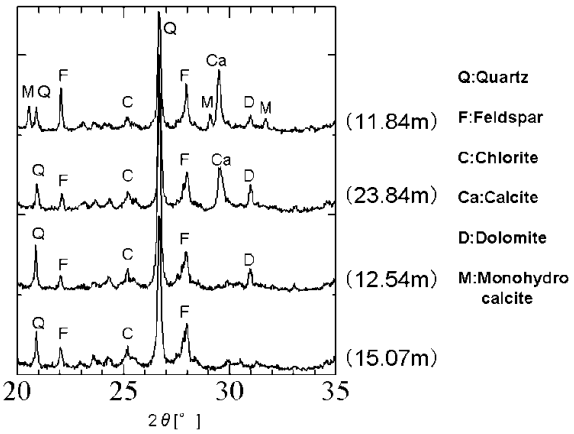

図 1　堆積物の 4 つの XRD パターン

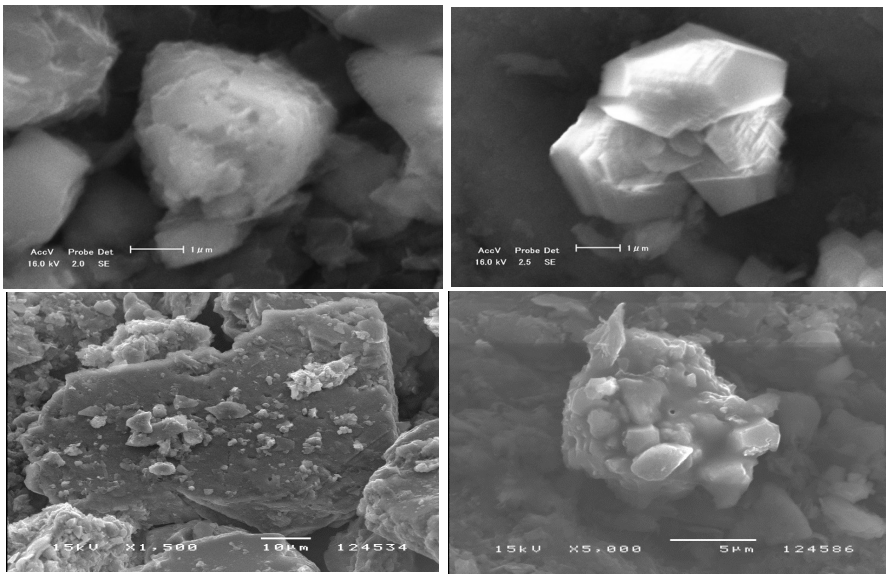

図 2　Ca-炭酸塩の SEM 写真(左上:三角両錐状、
右上:板状、左下:不定形、右下:不定形成

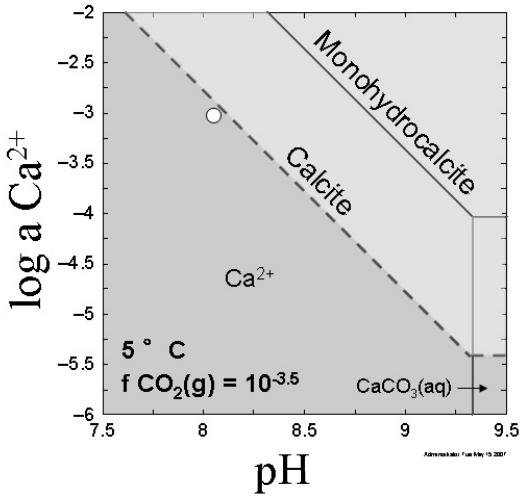

図 3　5℃での炭酸塩鉱物の溶解度曲線