

スイスアルプス・ローヌ氷河の底面堆積物分布

西村大輔, 津滝俊(北海道大学低温科学研究所・環境科学院),
杉山慎(北海道大学低温科学研究所)

1. はじめに

氷河流動は氷の粘性変形と底面流動(底面滑りと堆積物の変形)からなる。底面滑りとは、氷と岩もしくは堆積物との界面における流動である。もし、氷と岩の間に脆弱な堆積物が存在すれば、堆積物の変形も流動に寄与する。底面の環境は短期間に変化しやすく、また、同一の氷河においても空間的に多様である。したがって、底面流動メカニズムを明らかにする為には、氷河底の水圧、堆積物の種類、層厚、層構造などを知る必要がある。しかし、氷河底面は厚い氷体の下に存在する為観測を行うのは困難である。したがって、現存する山岳氷河において氷河底堆積物の分布を詳細に調べた例は少ない。そこで、本研究は山岳氷河底面の堆積物層厚と粒径分布を明らかにすることを目的とする。

2. 観測地

ローヌ氷河はスイスアルプスに位置する、長さ約8 km、面積約16 km²の温暖谷氷河で、1800年代以降急速に後退している。2005年に新しい氷河前縁湖が形成され拡大しつつある。氷河湖形成による氷底水理状態の変化は氷河底面流動を促進すると予想される。我々は氷河前縁湖(図-1)の拡大と氷河の流動及び変動の相互作用を明らかにするために2007年から調査を行っている^{1),2)}。2007年に実施された熱水ドリル掘削時に、掘削孔から細かい粒子を含んだ水が噴出した。熱水ドリル先端の真鍮製ノズルに堆積物に削られたと思われる傷や、岩盤に削られたと思われる傷が残ったことなどから、氷河底面には堆積物と岩盤がパッチ状に存在すると考えられる¹⁾。

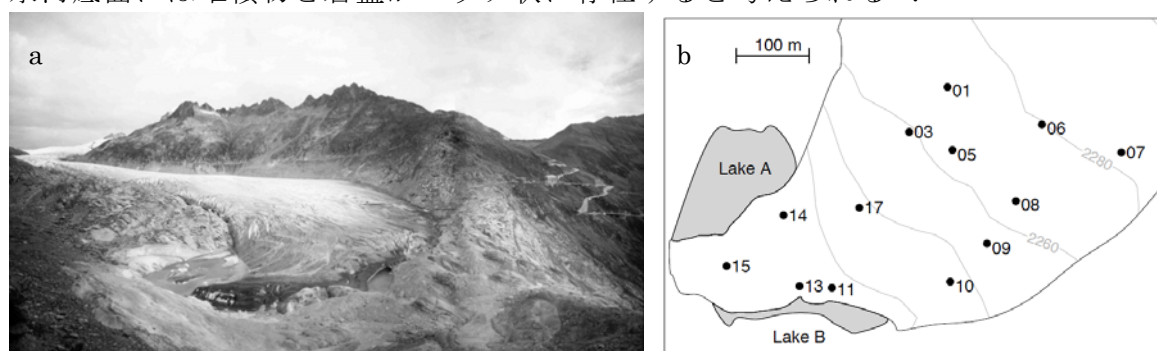


図-1 a ローヌ氷河末端部 2005年9月の写真。黒丸は末端氷河湖の位置を表す。スイス連邦工科大学撮影。b 観測地の地図、数字は調査に利用した掘削孔の名前と位置を表す。等高線は20 m 間隔の表面高度。

3. 手法

2009年6月末に、ローヌ氷河末端から約500 m上流に至る地域の19ヶ所で底面まで達する直径約150 mmの孔を熱水掘削した。掘削孔の深さは25 m～94 mである。掘削孔のうち、図-1 bに示した13点にビデオカメラ、貫入深度計、サンプラーを挿入して、堆積物の層厚分布と粒径分布を求めた。観測は7月12～14日に行ない、掘削孔06と10のみ、それぞれ、9月7日と9月5日に再度観測した。

掘削孔にビデオカメラを挿入し、画像から底面の基質を判断して、明らかに細粒物質がないと判断した場所は堆積物層厚 0 mm とした。ビデオカメラは動画像を200 m のケーブルで伝える(株)レアックス社製のスマートカメラSC-200を使用した。記録装置は(株)アクセス社製のポータブルフォトストレージVP8360を使用した。ビデオカメラ運用の詳細は杉山ら (2009) を参照されたい³⁾。

堆積物貫入深度計とサンプラーはFischer and Hubbard (2006) を参考に作成した⁴⁾。堆積物貫入深度計はステンレススチール製のワイヤー、芯棒、ハンマー、測深棒からなる(図-2 a)。芯棒の両端にそれぞれハンマーと測深棒を取り付ける。ハンマーは上部で直径 3 mm、全長 200 mのワイヤーと接続され、ワイヤーで操作する事によって芯棒を上下に移動し、測深棒を叩いて堆積物に打ち込む。ハンマー重量は、6.0 kg である。測深棒は直径10 mmで堆積物に貫入しやすいよう先端を尖らせた。掘削孔の横に巻尺を貼りつけたアルミ棒を立て、一回の打撃毎にワイヤーにつけた目印を巻尺に沿わせ目印の移動量を測定した(図-2 b, c)。測定値が4回以上一定の値を示すまでの移動量を層厚とした。最初に300 mm の測深棒で測定し、層厚が300 mm 以上の場合は600 mmの測深棒で再測定した。

堆積物サンプルは貫入深度計の測深棒部をサンプラーに交換した装置で採取した。サンプラーは、高さ 40 mm、幅 20 mm の窓を開けた円柱である。掘削孔に挿入する時には窓を開き、掘削孔から引き上げる時には窓が閉じて堆積物の脱落を防ぐようにスライド式の蓋がついている(図-2 d)。採取した堆積物は実験室で0.5 mm 以上を除き、HORIBA社製 レーザ回折/散乱式粒度分布測定装置 LA-920で分析して平均粒径を求めた。装置の測定精度は±0.6 % 以内である。

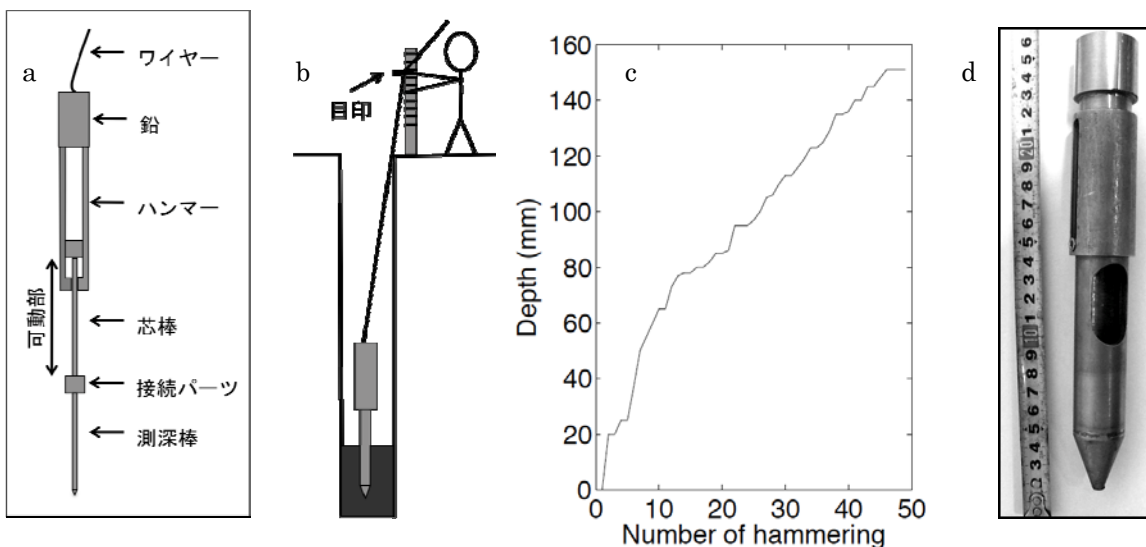


図-2 a 堆積物貫入深度計の模式図。 b 堆積物層厚調査の模式図。 c 掘削孔 01 における打撃回数と貫入深度。 d サンプラーの写真。

4. 結果と考察

図-3 に掘削孔ビデオカメラで撮影した画像を示す. 掘削孔 06 には堆積物が存在した (図-3 a). 掘削孔 08 には細かい堆積物はなく角張った礫が存在していた (図-3 b). 掘削孔 09 は滑らかな巨礫もしくは岩盤が撮影された (図-3 c). これらの画像から掘削孔 08 と 09 には堆積物なしと判断した. 掘削孔 08 にみられる礫は底面の岩層の剥ぎ取り (quarrying) によって形成されたと考えられる. また, 掘削孔 09 の岩盤は氷河によって磨耗 (abrasion) したものである.

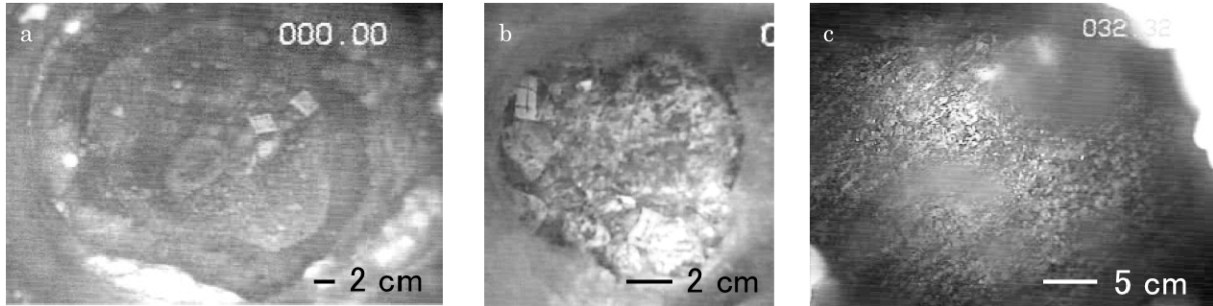


図-3 掘削孔ビデオカメラで撮影した氷河底面の画像. a 堆積物の見える掘削孔 06, b 礫の見える掘削孔 08 c 巨礫もしくは岩盤のみえる掘削孔 09.

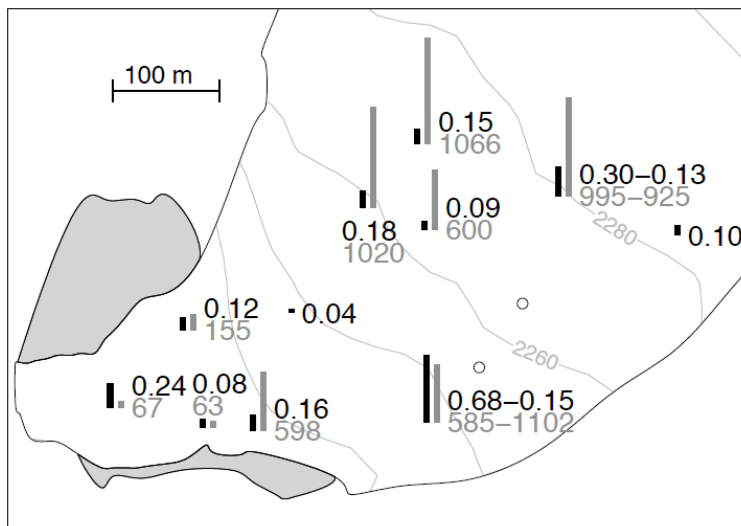


図-4 ローヌ氷河底の堆積物分布. 堆積物の層厚 (m) を黒, 平均粒径 (μm) を灰色の棒グラフと数字で表す. 掘削孔 06 と 10 (図 1 b 参照) では 7 月の観測値を左に, 9 月の観測値を右に記す. ビデオ画像から層厚 0 m と判断した場所は白抜き丸で表した. 等高線は 20 m 間隔の表面高度.

図-4 に堆積物層厚分布を示す. ローヌ氷河底の堆積物層厚は 0~0.68 m であった. 9 月に再測定をした掘削孔 06 では層厚が 0.30 から 0.13 m に, 掘削孔 10 では 0.68 から 0.15 m に減少していた. 各掘削点の堆積物平均粒径は 63~1066 μm で, 粒径 900 μm 以上の粗い地域 (掘削孔 01, 04, 06), 200 μm 以下の細かい地域, 堆積物がない地域 (掘削孔 08, 09) と末端から約 500 m の狭い範囲の中でも多様であった. 掘削孔 06 での堆積物平均粒径は, 7 月と 9 月で, 995 から 925 μm とほとんど変化がなかった, 対して掘削孔 10 では 585 から 1102 μm と粒径が増加した.

掘削孔 6 と 10 で, 9 月の層厚が 7 月の層厚より減少していたことは, 運搬量に季節変化があることを示唆する. 掘削孔 10 では 7 月より 9 月に粒度が粗い. 7 月以降, 氷河底面の排水システムが活発になり, 細かい堆積物を排出したと考えられる. Rhihimaki らは, ベンチ氷河から流出する河川の濁度から, 堆積物流出量に季節変化があることを報告している⁵⁾. 我々の観測結果は氷河底面の実観測から堆積物排出の

季節変化を表すものである。

5. まとめ

- ・2009年7月に掘削孔ビデオカメラ, 堆積物貫入深度計, 堆積物サンプラーを用いてローヌ氷河末端部の堆積物分布を調べた。
- ・ビデオ画像で観測した100 m~200 m離れた掘削点での底面基盤は, 堆積物, 礫, 岩盤とそれぞれ異なっていた。
- ・堆積物層厚は0~0.68 mであった。9月に再測定をした掘削孔06では0.30から0.13 mに, 10では0.68から0.15 mに層厚がそれぞれ減少していた。
- ・各掘削点での堆積物平均粒径は63~1066 μm と観測域上流で大きく, 観測域下流に行くに従って小さくなっていた。掘削孔06と10では7月と9月で995から925, 585から1102 μm に変化していた。

謝辞

本研究で用いた堆積物貫入深度計及びサンプラーは低温科学研究所技術部にて製作した。現地での観測は吉澤猛氏, スイス連邦工科大学のサポートを得た。粒度分析は北海道大学, 澤柿教伸氏, 国立極地研究所, 三浦英樹氏から装置の提供を受けた。本研究は科研費・基盤研究 (C) 20540418 および GCOE プログラム「統合フィールド環境科学の教育研究拠点形成」の助成を受けた。ここに謝意を表します。

参考・引用文献

- 1) Sugiyama, S., Tsutaki, S., Nishimura, D., Blatter, H., Bauder A., and Funk, M. 2008: Hot water drilling and glaciological observations at the terminal part of Rhonegletscher, Switzerland in 2007. *Bulletin of Glaciological Research*, **26**, 41-47.
- 2) Tsutaki, S., Nishimura, D., Yoshizawa, T., and Sugiyama, S. 2011: Changes in glacier dynamics under the influence of proglacial lake formation in Rhonegletscher, Switzerland. *Annals of Glaciology*, **52**(58), 33-38.
- 3) 杉山慎, 西村大輔, 福士博樹, 千貝健. 2009: 掘削孔ビデオカメラによる氷河底面の観測. *北海道大学低温科学研究所技術部技術報告*, **15**, 23-36.
- 4) Fischer, U. H., and Hubbard, P. B. 2006: Borehole-based subglacial instrumentation. In Knight, P.G., ed. *Glacier Science and Environmental change*. Blackwell Publishing, 387-394.
- 5) Rhihimaki, C. A., Macgregor, K. R., Anderson, R. S., and Michel G. L. 2005: Sediment evacuation and glacial erosion rates at a small alpine glacier. *Journal of Geophysical Research*, **110**(F03003), doi:10.1029/2004JF000189.