

2022年9月25日

スイス実習レポート

ローヌ氷河湖における水位変動と氷山の挙動

北海道大学環境科学院地球圏科学専攻 修士2年 石井花菜

北海道大学環境科学院地球圏科学専攻 修士1年 今津拓郎

1. 序論

近年の温暖化の影響で全球平均気温は産業革命前からすでに 1°C 上昇し温暖化の永続と最大の二酸化炭素排出量を仮定する RCP8.5 シナリオでは、世界中の氷河の融解によって 2100 年までに海水準が 200 mm 上昇することが予測されている (IPCC, 2019)。図 1 に各地域の 2015 年の氷河の質量 (100%) に対する 2100 年までの氷河の質量の推移予想を示す。図 1(p) より、世界的な氷河の後退の中でもヨーロッパ、特にスイスアルプスでは非常に速いスピードで氷河が縮小していることがわかる (IPCC, 2019)。

ローヌ氷河はスイスアルプス中央部グリムゼル峠とフルカ峠の間に位置し、全長約 8km、氷河面積 15.94 km²、体積 2,063 km³ (Farinotti et al, 2009) であり、昔から世界中の人に愛されている氷河の一つである。氷河融解水は下流にある Gletch 村まで流れ出ているローヌ川を形成し、これは地中海まで続くヨーロッパにおいて重要な河川である。Omoto and Ohmura (2014) の報告によれば、1850 年ごろからローヌ氷河の急激な後退が観察され、2004 年には急崖上まで後退した。1882 年から 2010 年の約 130 年間でローヌ氷河は約 1260 m 後退し、この期間の平均後退速度は約 10m/yr となる。そして、2005 年から氷河前縁から左岸に小さな氷河湖の存在が確認され、翌年には右岸にも氷河湖が形成され、2011 年には二つの湖が合体し、さらに拡大した (図 2)。2014 年 9 月には氷河湖の幅が約 300 m、急崖上部の基盤岩から氷河末端部までの距離が約 150 m となった。Church et al (2018) によると氷河前縁の氷河湖の南限はモレーン (氷河堆積物) によってせき止められているのではなく、花崗岩の岩盤によってせき止められているため、氷河湖や下流のローヌ川の大きな上昇の可能性はないと考えている。氷河融解水の増加に伴い氷河湖は年々拡大し続けており、湖の表面積は最大で 3 倍へと増大する可能性が示唆された。そのため、氷河湖の拡大に対する氷河変動の応答を理解し、常にモニタリングする必要がある。本研究では気象条件と氷河の融解に伴う氷河湖の水位の関係性、そして氷河湖の挙動を明らかにすることを目的とし、3 日間にわたりローヌ氷河湖の水位・水温変動、氷山の挙動と周辺気象観測を行った。

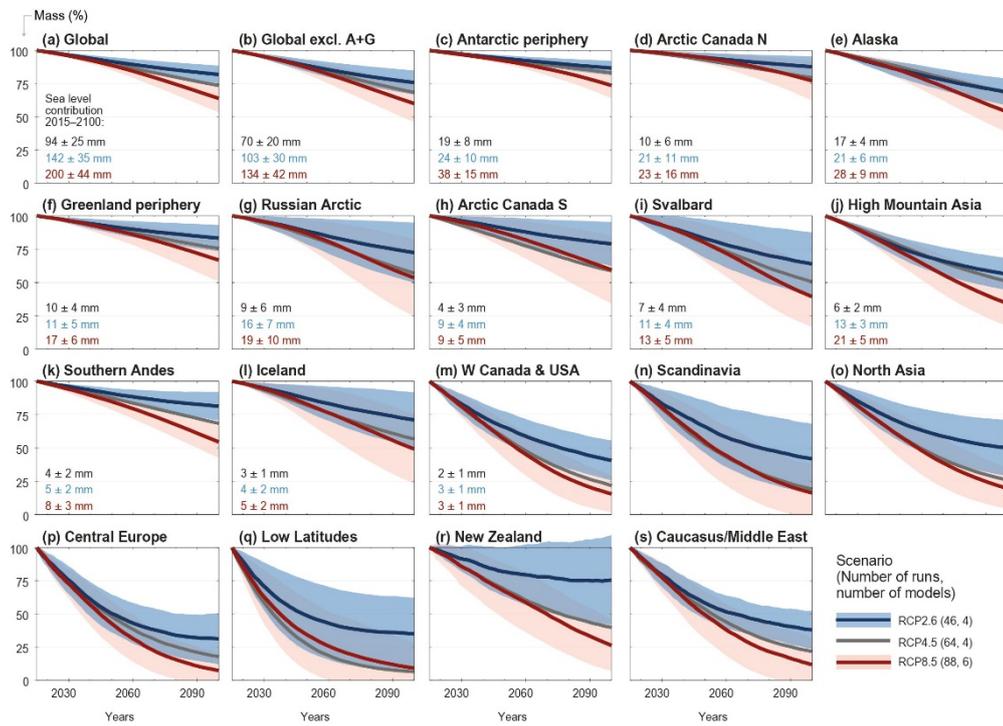


図 1：3つの代表的な代表濃度経路シナリオ（RCP2.6, 4.5, 8.5）に基づく、2015年の氷河の質量（100%）に対する2100年までの氷河の質量の推移予想(IPCC, 2019)



図 2：ローヌ氷河末端部の写真（スイス国立工科大学水理氷河研究所撮影）

2. Method

2.1. 観測地点

2022年9月2日から9月4日においてスイスアルプス中央部に位置するローヌ氷河（46° 37'N、8° 20'E）の末端にて観測を行った(図 3)。氷河末端の氷河湖(図 4)の日周変化を観測するにあたり、水位計、気象観測器及びインターバルカメラをそれぞれ図 5 の位置に設置した。

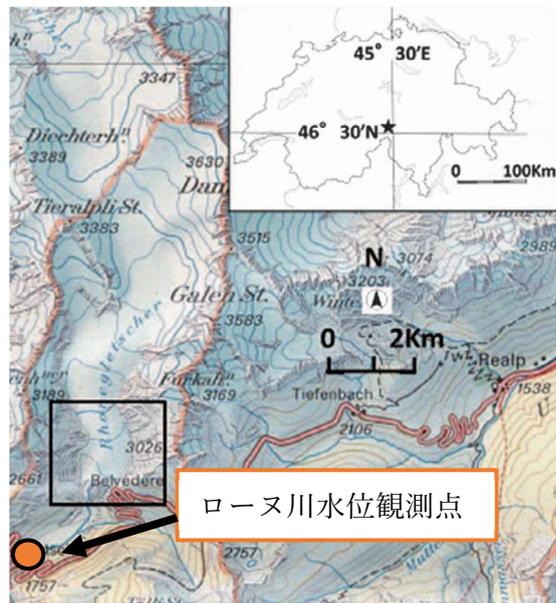


図 3: 観測を行ったローヌ氷河の地形（囲われた部分が氷河末端）



図 4: ローヌ氷河末端にある氷河湖の様子（2022 年 9 月）

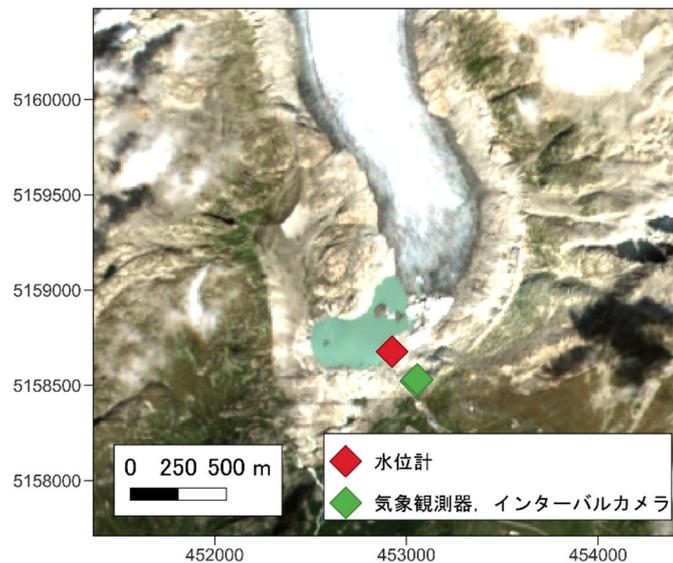


図 5: 観測機材を設置した場所(sentinel-2 : 2022/9/1)

(座標系は UTM zone 32N を使用)

2.2. 観測機材と観測方法

2.2.1. 氷河湖の水位計

氷河湖の水圧と水温を計測するために、onset computer 社製の U20 水位水温ロガーを用いた。測定は 1 分間隔で行った。水位水温ロガーは水中と大気中に 2 つ設置した。水中のロガーは鉄棒の端に取り付け、鉄棒を湖底に固定することによって設置した。また、大気中にロガーは水中に設置したロガー付近の湖岸に設置した。これらの圧力差から氷河湖の水位変動を換算した。

表 1 : onset computer 社製の U20 水位水温ロガー仕様

測定項目	水圧	水温
測定範囲	0~145kPa、標高 3000m 地点で水深 7m	-20°C~50°C
破損水圧	310kPa、水深 18m	—
測定精度	標準誤差 : $\pm 0.075\%$ FS、0.3cm 最大誤差 : $\pm 0.15\%$ FS、0.6cm	0°C から 50°C で $\pm 0.44^\circ\text{C}$
分解能	<0.014kPa、水位 0.14cm	25°C で 0.10°C
応答時間	<1 秒	約 10 分

2.2.2. 気象観測に用いたデータロガー

気象観測は VAISALA 社製の自動気象測器ウェザートランスミッターWXT520 を使用した(図 4)。この気象測器では、気温、湿度、降水量、風向及び風速を 10 分間隔で測定した。

表 2 : VAISALA 社製の自動気象測器ウェザートランスミッターWXT520 仕様

測定項目	測定範囲	応答時間	測定精度	分解能
風速	0~60m/s	0.25 秒	0~35m/s: $\pm 0.3\text{m/s}$ 、 $\pm 3\%$ 35m/s~60m/s: $\pm 5\%$	0.1m/s
風向	0~360°	0.25 秒	$\pm 3^\circ$	1°
降雨量	—	—	5%	0.01mm
降雨強度	0~200mm/h	—	—	0.1mm/h
温度	-52~+60°C	—	+20°Cで $\pm 0.3^\circ\text{C}$	0.1°C
気圧	600~1100hPa	—	0~+30°Cで $\pm 0.5\text{hPa}$	0.1hPa
湿度	0~100%RH	—	$\pm 3\%RH$	0.1%RH

2.2.3. インターバルカメラ

氷河湖の日周変化を観測するために Brinno 社製の TLC200pro を使用した(図 5)。図 3 の地点に設置し、カメラが動かないように石で固定した。このインターバルカメラでは 5 分に 1 回撮影を行った。



図 5 設置したインターバルカメラ

2.2.4. データの取り扱い

今回、水位・水温データは1分間隔の測定だったのに対して、大気気温が10分間隔の測定を行った。そのため、気象データと水位・水温データを比較する際は、水位・水温データを10分おきの解像度に下げ、比較を行った。

3. 観測結果

3.1 水位・水温変動

9月2日10:33—9月4日10:17の期間、観測した氷河湖の水位と水温のデータを図6に示す。水位は日周期変動を示し、2つの極大値・極小値をとった。極大値はそれぞれ9月2日18:03に0.71m, 9月3日20:07に0.64mであった。水位の極小値は9月3日10:40の0.44mと9月4日10:17の0.30mであったが、9月4日の値は観測最終時刻であるため、同日の最小値であったかは不明である。しかし、前日(9月3日)の水位の最小値を記録した時刻(10:40)と概ね時刻は一致しているため9月4日の最小値は0.30mに近い数値と考えられる。観測期間中の平均水位は0.55mであった。

水温も水位と同様に日周期変動を示し、2つの極大値と極小値をとったが、このとき、観測機器の分解能は0.10℃であった。観測結果の水温範囲は約1℃であるため、この分解能(0.10℃)は水温範囲に対して低く、正確な変動パターンの知見を得ていない可能性があることは留意すべきである。極大値はそれぞれ9月2日12:12の1.76℃、9月3日16:42の1.55℃であった。水温の最小値は、9月3日(5:57~8:48)の1.003℃と9月4日(8:26~9:34)の0.893℃であった。観測期間中の平均水温は1.19℃であった。

氷河湖付近で観測した大気気温も日周期変動を示した。9月2日における最高気温は15:28に記録した20.71℃で、9月3日16:50に記録した16.90℃であった。9月3日における最低気温は5:59~7:41に記録した6.67℃で、9月4日では6:53~7:50に記録した4.93℃であった。観測期間中の平均水温は9.89℃であった。

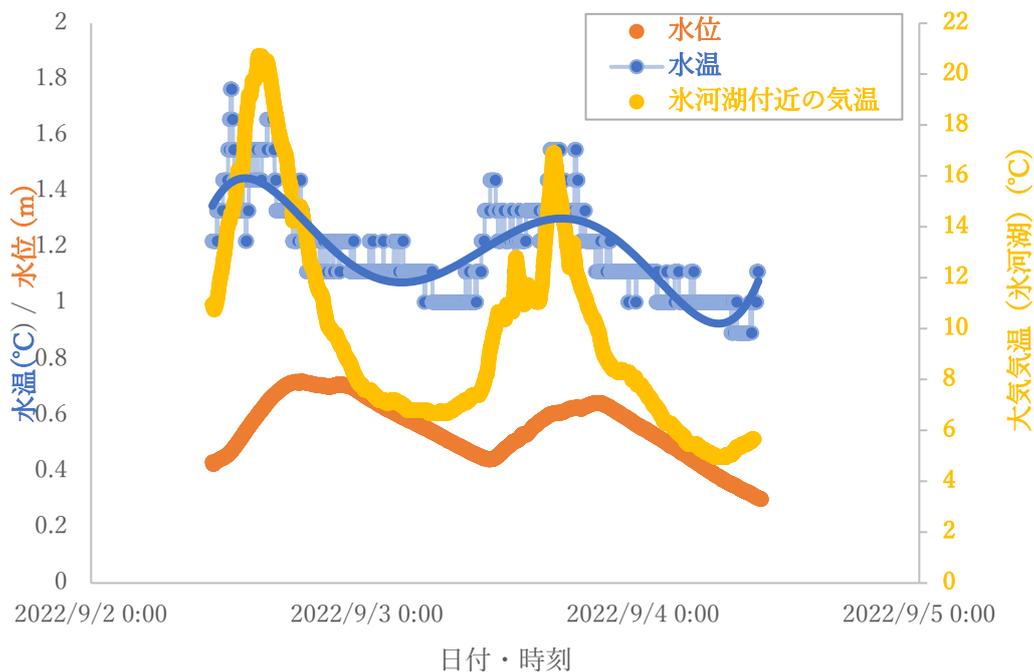


図6：ローヌ氷河湖で2021年9月2日から4日まで観測された水位（オレンジ）と水温（水色）、スムージング処理を行った水温（青色）、データロガーで観測された氷河湖付近の気温（黄色）

3.2 気象観測

9月2日10:20—9月4日12:00の期間の風速、気温、降水量の値を図7に示す。気温は日周期変動を示し、9/2の最大値は15:10の12.02°C、9/3は17:00に10.2°Cを記録した。最低気温は5.6°Cであり、9/3-3:10, 9:50、9/4-2:10, 7:20, 8:20の5回記録された。観測期間中の平均気温は7.7°Cであった。降水は9/2の夜間、9/3の午後から夜間に観測された。降水量の最大値は9/3-15:10に観測された0.6mm/5minであり、特に降水量が顕著だった14時から15時半の降水量は1.2mm/hであった。風速は観測期間中大きく変動し、最大風速は5.70m/s(9/4-2:20)であり、平均風速は2.25m/sであり、概ね穏やかであった。

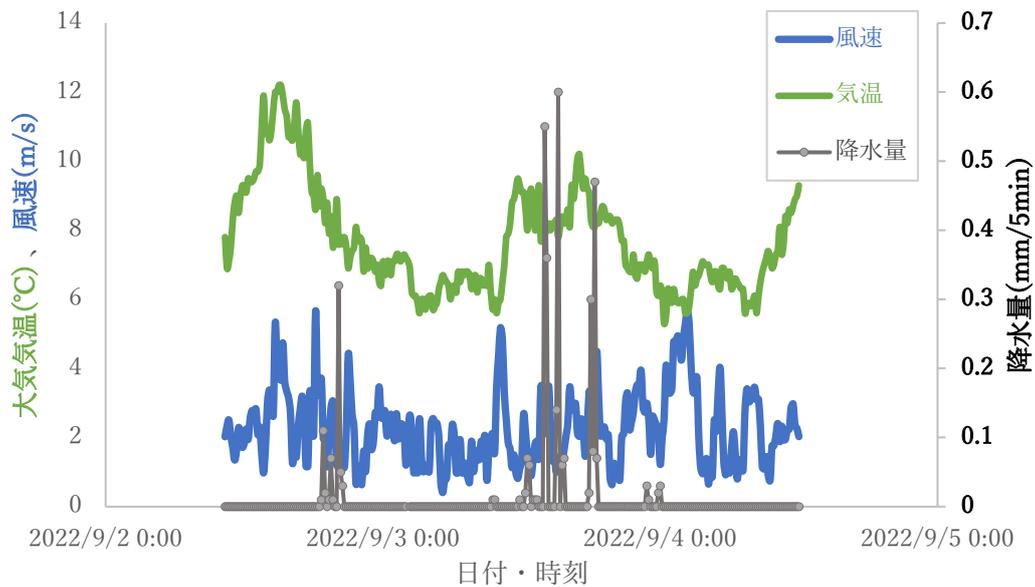


図7：ローヌ氷河近傍で2021年9月2日から4日まで観測された気象データ。気温（緑）、風速（青）、降水量の5分間値（黒）

3.3 インターバルカメラ

インターバルカメラを用いて氷河湖にある氷山の移動を記録した。9/2の午前中は同じ場所に静止しており、12時半頃からその場で右回転を始めた。その後、15時頃から氷河湖の排水口側に移動し始め、18時50分頃に氷河湖の淵に到達した。それ以降は日没まで氷山は停滞していた(図8)。9/3の6時半頃には氷山は9/2の午前中と同様の場所まで移動していた。また、9/2とは異なり、9/3の午前中は氷山が大きく移動した(図9)。一方で午後は9/2とは異なり、9/3の午後から日没まで同じ場所付近に停滞していた(図10)。9/4は8時頃からその場で右回転を始め、11時頃からインターバルカメラを回収した12時までその場で左回転していた(図11)。9/2から9/4の3日間で図12の位置に氷山が停滞している時間があった。また、図12の位置から氷山が移動する様子は9/2の映像でのみ確認された。



図 8: 9/2 の氷山の日周運動



図 9: 9/3 午前の氷山の動き



図 10: 9/3 午後の氷山の動き



図 11: 9/4 の氷山の動き



図 12: 9/2 から 9/4 において氷山が頻繁に停滞していた場所

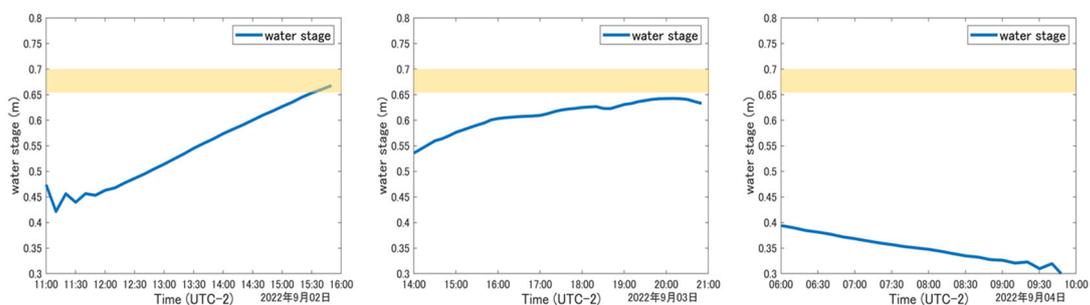


図 13: 氷山が図 12 の位置に停滞していた時の湖の水位 (左から 9/2、9/3、9/4)

4 考察

4.1 氷河湖の水温・水位と気象の関係性

日周期変動を示した水位と大気温度との関連性について考察していく。このとき用いる大気気温は、氷河湖付近でデータロガーを用いて観測した値(図 6)ではなく、自動気象測器によって観測した値(図 7)を用いる。この理由は後者の方が人工的な影響が少なく、見晴らしの良い地点で観測が行われたため、よりローヌ氷河広域の大気気温を反映しているからである。水位と大気温度の間には相関が見られた(図 14)。気温が上昇すると水位も上昇しているが、極大値を迎えるタイミングと上昇・下降の速さが異なっていた。まず、極大値を迎えるタイミングは両日ともに大気気温が水位より約 3 時間速く迎えていた。この位相のズレは融解水が氷河を通過して氷河湖に到達するまでの輸送時間によるものと考えられる。次に大気気温と氷河湖の水位の上昇・下降の速度についてだが、水位は大気気温と比較してゆっくり上昇し、ゆっくり下降している結果を示した。例えば、9月2日から3日にかけて、最高気温から最低気温まで下降するのに約 12 時間(2日 15:10→3日 3:10)かかるが、水位の極大から極小まで下降するのに約 16.5 時間(2日 18:03→3日 10:40)かかる。反対に、9月3日の最低気温から最高気温まで上昇するのに約 7.5 時間(9:40→16:50)だが、水位の極小から極大に上昇するのに約 9.5 時間(11:20→20:50)かかる。このとき、氷河湖の水位は主に氷河の融解量によって決定されているため、水位の上昇・下降の変動が大気気温の変動より緩やかということは、氷河の融解量の増減の変動が大気気温の変動より緩やかであると推測できる。氷河の融解量の増減が大気気温の変動より緩やかに変動する要因は、氷が大気と比較して大きい熱容量($2093 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)を持っているからだと考えられる。熱容量が大きいということは、氷河は暖められにくく、冷めにくい。よって、大気気温と比較して緩やかな融解量のパターンを示し、それが水位に反映されたのではないかと推測する。最後に水位と降水量の関係性についてだが、 1.2 mm/h (14時から15時半)程度の降水量では、降水に伴う氷河湖の水位上昇は見られなかった(図 14)。

次に水温と気象の関係性について考察を行う。主に氷河湖の水温を支配するのは気象と融解水であると推測する。そこでまず、水温と気象の関係性について考察する(図 14)。今回の観測期間中は、大気気温と氷河湖の水温が同様の変動パターン(上昇・下降の速度)を示し、その傾向は日中に顕著であった。両者の相関係数は $R^2=0.63$ であり、氷河湖の水温と大気気温の強い関係性を示唆している(図 15)。次に、大気気温と水温が同様の変動パターンを示さなかった時間帯について考える。日没後(19時あたり)から深夜0時までには、大気気温と同様に比較的早いスピード

で水温が低下するのに対して、深夜0時から6時までの期間は大気気温の低下速度（ $0.40^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ）よりも、水温の低下速度（ $0.02^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ）の方が小さかった（図14中の水色の①と③）。これは融解水の影響であると考えられる。図14中の①と③は水位が減少する傾向にあるときであり、つまり、これらの時間帯は融解水の流入が減るため、低温である氷河の融け水によって湖水が冷やされる傾向が弱くなる。したがって、ゆるやかな速度で水温が低下していた。また、図14中に記した②の水温と大気気温の逆相関は降水量が水温に与える影響を示すものと考えられる。実際の雨粒の温度は不明だが、武田喬男(2005)によると雨粒の温度は、地表においてはおよそ湿球温度に近い温度になると考えられている。最も雨が強かった9月3日14:00の温度は 7.9°C 、湿度94.4%という値から湿球温度を推測すると 7.4°C となる。したがって、降水があった14時半から15時の間は、水温より約 5°C 温度が高い降水の流入によって湖の水温が上昇したと考えられる。

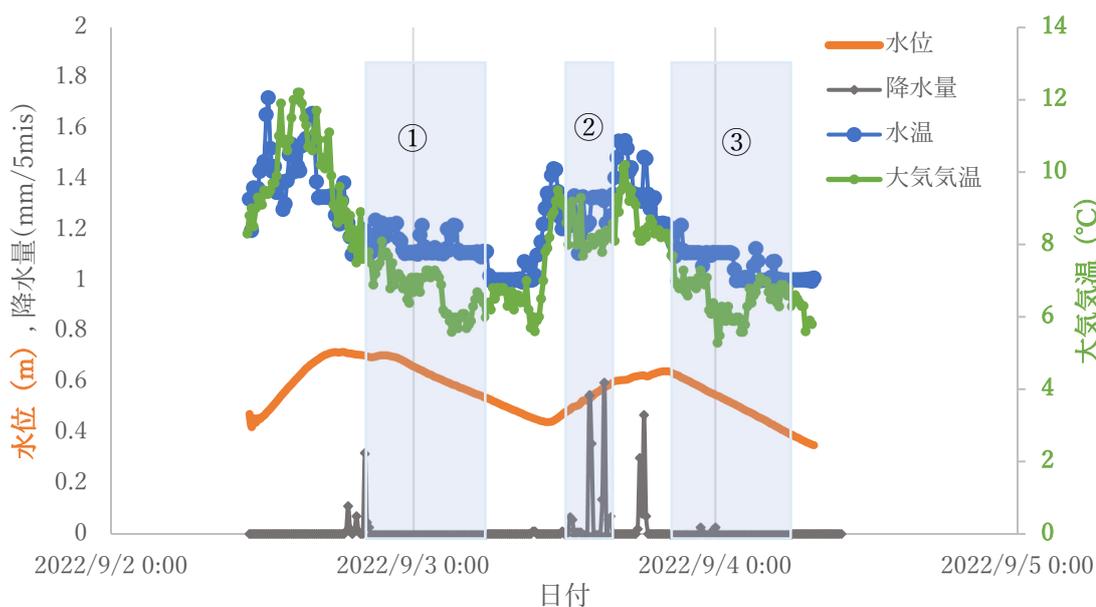


図14：氷河湖の水位（オレンジ）・水温（青色）と降水量の5分間値（黒）・大気気温（緑）の時間的变化。水温と大気気温の相関が弱い時間帯を水色で示す。

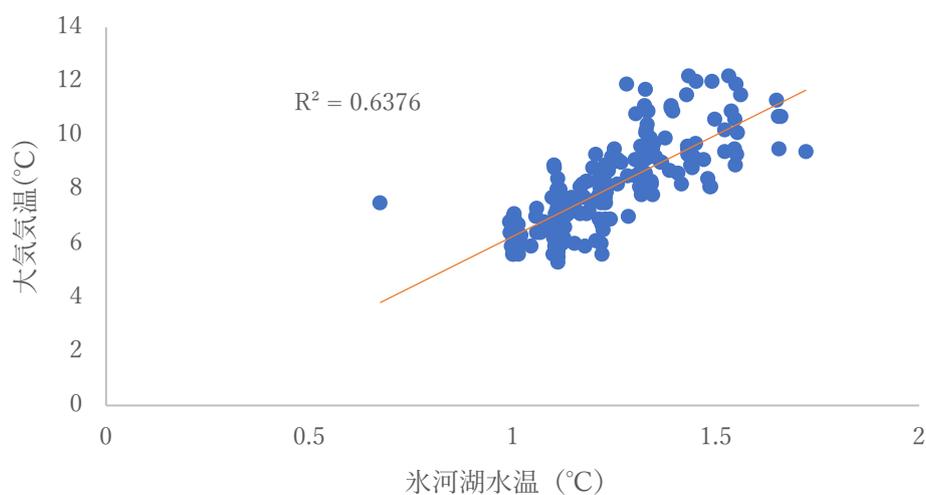


図 15：氷河湖の水温と大気気温の関係性

4.2 氷河湖とローヌ川の関係性について

氷河湖から流れ出るローヌ川の流量との関係性について考察する（図 16）。ローヌ川の水位は、氷河湖の水位と同様の測器で9月1日 13:10 から9月4日 9:42 まで観測を行った。氷河湖とローヌ川の水位はよく似た時間変動パターンを示し、 $R^2 = 0.9817$ と強い相関を示した(図 17)。したがって、ローヌ川の観測点における水位はローヌ氷河前縁湖によって決まっていると結論付けられる。これは 2018 年のローヌ川流量観測レポートで示された観測点における流量の 92.7 %がローヌ氷河前縁湖、すなわちローヌ氷河の融解水であったという結果と整合的である（川上ら, 2018）。

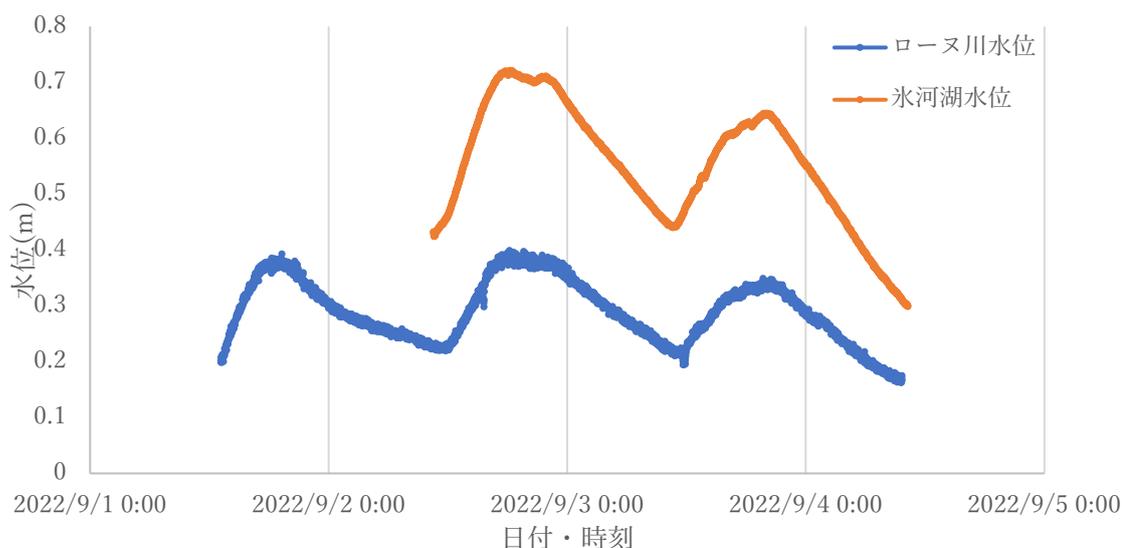


図 16：氷河湖とローヌ川の水位の時間的变化

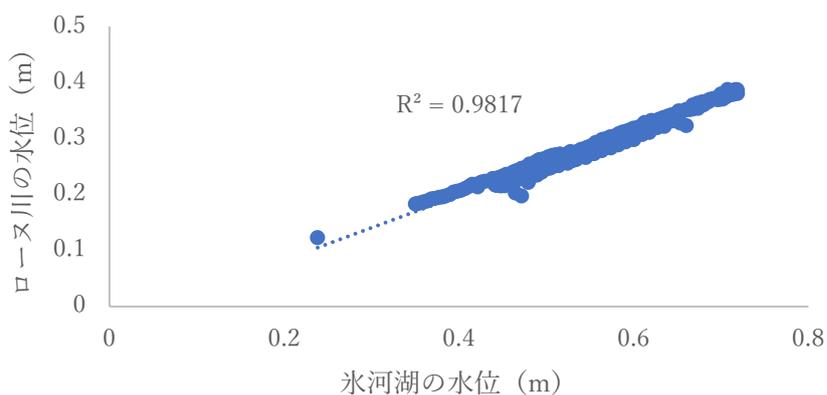


図 17：氷河湖の水温と大気気温の関係性

最後に観測期間中における氷河から湖への融解水の流入量を推定する。今回のように降水量が少ない場合、氷河湖の水位は、氷河の融解による流入量と河川への流出量とのバランスによって決まると仮定できる。2018年のローヌ氷河の前縁湖における水位・水温変動のレポートでは、氷河からの流入量を氷河湖の面積、水位、ローヌ川の流量から推定しており、今回も同様の計算方法を用いる（近藤、谷岡, 2018）。地下水による流入・流出や湖面からの蒸発、降水量の影響を無視して簡略化すると、氷河湖の水収支は以下のように表せる（近藤、谷岡, 2018）。

$$A \times \frac{dh}{dt} = R_{in} - R_{out}$$

ここで、 A は氷河湖の面積、 h は氷河湖の水位、 R_{in} は氷河湖への流入量、 R_{out} は氷河湖からの流出量である（近藤、谷岡, 2018）。このとき、氷河湖の流出量は川上

ら,2018 の水位流量直線 ($y=21.974x + 2.4668$) を用いてローヌ川の流量を計算し、ローヌ川氷河流出河川とムト川の流量比 92.7%: 7.3%が時間に対して不変だと仮定して、流出量 R_{out} を推定した。また、氷河湖の面積は Google map から面積を算出するウェブサイト (<https://keisan.casio.jp/exec/system/15350955138235>) を用いて約 83,000 m²と算出した。

上記の値と計算式を用いて求めた氷河湖からの流出量と氷河からの流入量を図 18 に表す。観測期間中の流出量の平均が 8.54 m³/s、流入量の平均が 8.48 m³/s とわずかに流出量のほうが大きい値を示したが、極大値は流出量が 10.9 m³/s なのに対して、流入量は 17.2 m³/s であった。また、観測開始した 9 月 2 日 10 時 30 分から 9 月 2 日 23 時あたり、9 月 3 日 10 時 30 分から 21 時あたりまでは流入量が流出を上回っていた。流入量が流出を上回っていても氷河湖が決壊しないのは、Church et al (2018)より、氷河湖の南限が花崗岩の岩盤によってせき止められていて、ダムのような構造になっているという氷河湖の構造と整合的である。また、流出量が流入量に対して約 1 時間半から 2 時間遅れて、極大・極小値を示す点という特徴が見られた。このとき、氷河よりも直線距離にして約 3 km 下流にあるローヌ川流量観測点 (図 3)での値を流出量として計算に用いている。したがって、流出量が流入量に対して遅くなる理由は、ローヌ川観測地点への到達時間の誤差であると考えられる。

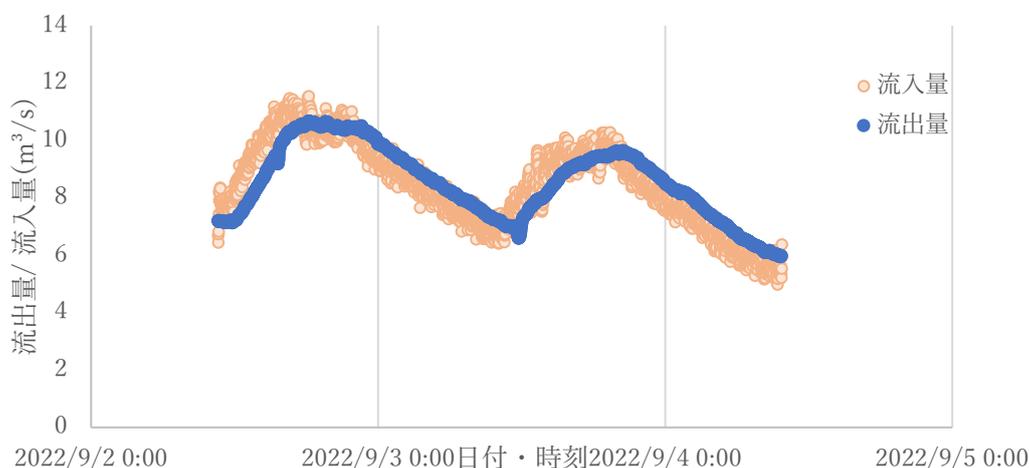


図 18 : 氷河湖の流入量 (オレンジ)、流出量 (青) の時間的变化

4.3 氷山の停滞とその原因

9/2 から 9/4 の 3 日間で図 12 の位置に氷山が停滞している時間帯があった。図 19 は 2007 年に観測された当時のローヌ氷河と氷河湖が示されており、ローヌ氷河の末端

の両端に2つの氷河湖（Lake A, B）が当初、形成されたことが見て取れる。このことから、両端に形成された氷河湖は水深が浅いことが推測される。図12の氷山の位置は図19のLake Aの位置と一致していることから、氷山が図12の位置において停滞していたのは氷山が座礁していたためと考えられる。図13より、図12の位置から氷山の移動が確認できた9/2のみ水位が0.65(m)よりも大きくなった。このことから、水位が0.65(m)よりも高くなる時に、氷の底面が湖底から離れ、氷山がほかの場所に移動したと考えられる。

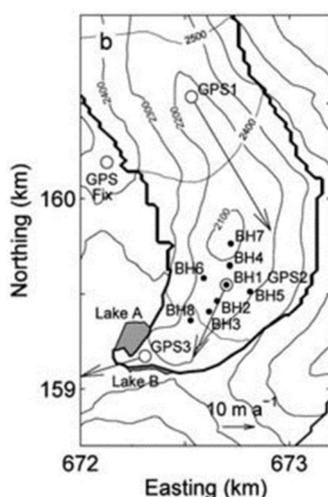


図19: 2007年に観測されたローヌ氷河末端の氷河湖の位置と流動速度（矢印）

(Shin Sugiyama et al., 2008)

4.4 9/3の氷山の動きとその要因

9/3の9時から12時において、水位の低下に伴って、湖中央付近にあった氷山が湖の排水口付近まで移動した（図9）。一方で、12時から18時においては水位の上昇に伴い氷山は氷河湖沿岸部沿って北東方向に移動した（図9と図10）。図19の氷河流動方向を考慮して、氷河流動によって削られた地形の影響で図20のような水の循環が発生していると考えられる。この仮定を踏まえると、氷河湖の中央付近においては、水位が減少するとき（図22左）、氷山は湖の排出によって生じる表面の水流はローヌ氷河本来の水の循環による流れと比べて大きくなるため、湖の排水口付近まで移動していることが示唆される。また、水位が増加したとき（図22右）は、湖の排水による水の流れはローヌ氷河本来の水の循環による流れと比べて弱くなるため、ローヌ氷河本来の水の循環に沿って、氷山が氷河湖沿岸部沿って北東方向に移動したといえる。9/2は水位が増加した際（図8と図21）に氷山が排水口に大きく移動したが、これも図20

の水の循環経路を考えれば氷山の移動を説明できる。

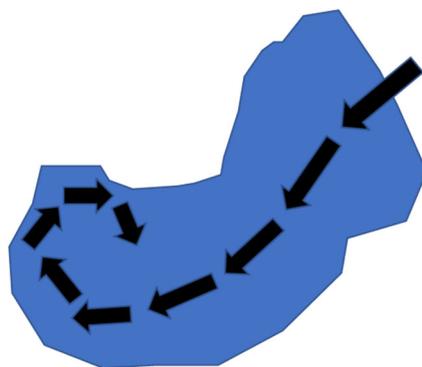


図 20: 仮定したローヌ氷河の氷河湖における水の循環

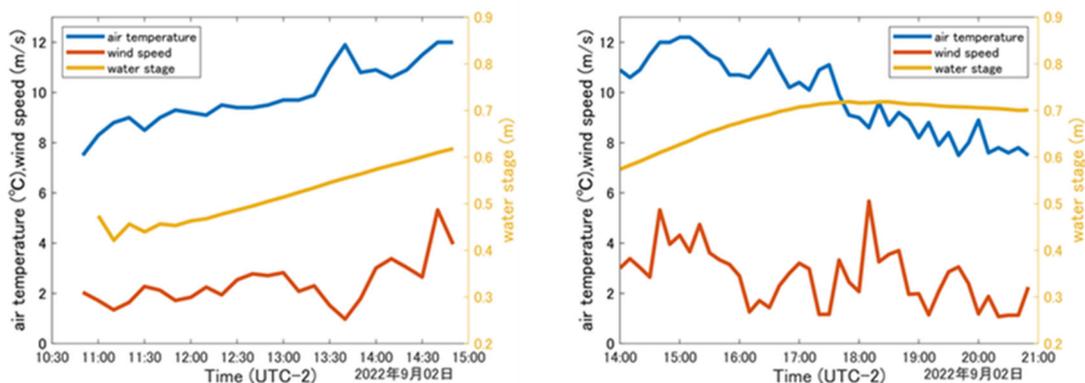


図 21: 9/2 の午前(左図)と午後(右図)の気温, 風速及び湖の水位の変動

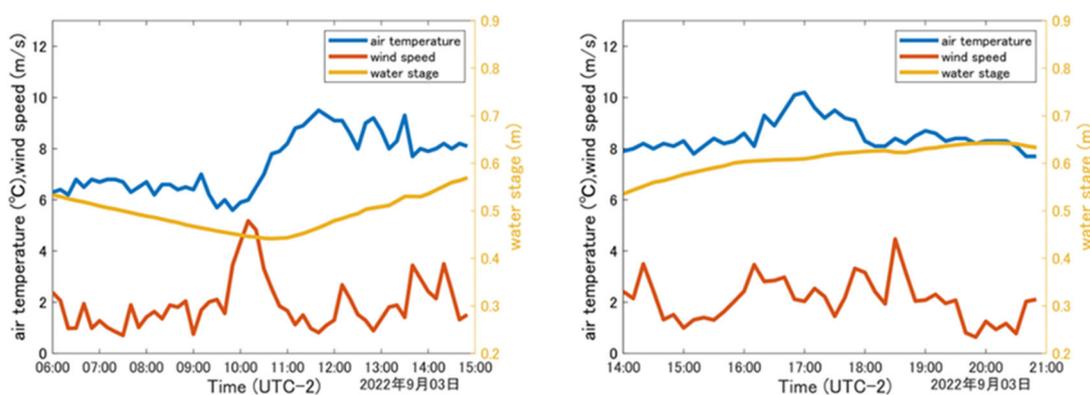


図 22: 9/3 の午前(左図)と午後(右図)の気温, 風速及び湖の水位の変動

4.5 9/4 の氷山の回転とその要因

インターバルカメラの映像から、9/4 は 8 時頃から氷山がその場で右回転を始め、11 時頃から 12 時までその場で左回転していた。図 23 より風向はおおよそ一定であることから、氷山の回転には風よりも湖内の水循環が影響していると推測される。

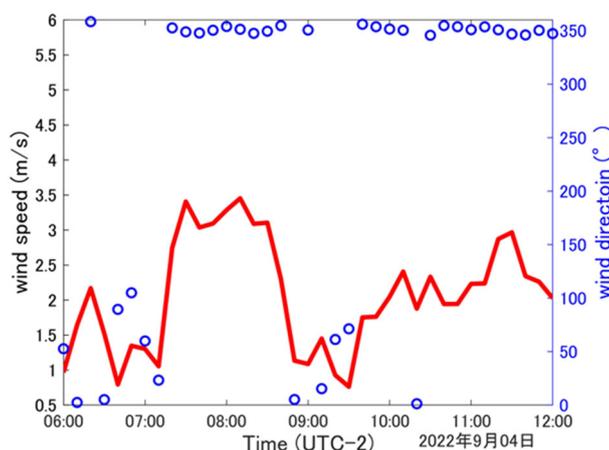


図 23: 9/4 に観測された風速と風向(北 : 0(360)° , 東 : 90° , 南 : 180° , 西 : 270°)

5. まとめと今後の課題

本研究では、ローヌ氷河湖において水位と水温の観測、自動気象測器による観測を行った。氷河湖の水位・水温変動と気象データの関係性を検証したところ、水位・水温ともに概ね気温の日周期変動によって制御されていることが分かった。水温は大気気温と同調しているように見えたが、明け方までの 6 時間は融解水と降水量の影響も受けながら変動することが示唆された。水位の極大値は大気気温の極大値より約 3 時間程度遅れるという結果が見られたが、これは融解水が氷河湖に到達するまでの輸送時間によるものであると考えられる。また、大気気温と比較して水位の上昇・下降の速度は遅かった。氷河は大気と比較して高い熱容量をもっているため、大気気温の変動に対して、氷河は暖められにくく、冷めにくい。すなわち、大気気温と比較して氷河の融解量はゆるやかに変動する。この融解水の変動が、氷河湖の大気気温よりも遅い速度の水位変動に反映されたと推測できる。最後に、水位と流出河川水量データから、氷河融解水の流入量の算出を試みた。流出量と流入量を比較した結果、極大値は流入量のほうが大きいものに対して、平均値は流出量の方が多いことが分かった。観測期間中、2 日間ともに 10 時 30 分から 21 時あたりで流入量が流出量を上回っていたが、ローヌ氷河の前縁湖は南限が花崗岩の岩盤によってせき止められている (Church et al., 2018) ため、氷河湖の決壊の可能性は低いと考えられる。今回は流入量の計算のため

に衛星写真から氷河湖の面積を推測したが、氷河湖南限から氷河末端や氷河湖の周縁までの距離の測定を行うことでより正確な面積の算出、ひいては流入量の計算が行える。また、写真だけでなく面積の測定を行うことでより定量的に氷河湖の面積の拡大を評価することができるため、次回からは氷河湖面積の測定を提案する。氷河後退に伴うローヌ氷河湖の拡大によって決壊が危惧される。決壊の可能性をより定量的に知るためには具体的な流入・流出量のバランスを知る必要がある。そのためには水位だけでなく、毎年の急崖から末端までの距離より氷河湖に近い河川での流速観測を提案する。

ローヌ氷河内の水の循環を仮定することによって、本レポートでは氷山の動きを説明した。この仮説を検証するためにも氷河湖の複数ポイントで水流の流速と流向を計測してみたい。また、今回の実習では、氷山の動きを定量的に評価及び解析できなかった。そこで次回以降はインターバルカメラで氷河湖を2方向から撮影し、複数のGround control pointを氷河湖周辺に設置することを提案する。

6. 参考文献

- Church, G.J., A., Grab, M., Hellmann, S. and Maurer, H. (2018) : High resolution helicopter-borne ground penetrating radar survey to determine glacier base topography and the outlook of a proglacial lake . 2018 17 the International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR) , Rapperswil, 247-252,
- Farinotti, D., Huss, M., Bauder, A., Funk, M. and Truffer, M. (2009). A method to estimate ice volume and ice-thickness distribution of alpine glaciers. *J. Glaciol.*, 55(191), 422–430.
- Omoto, K. and Ohmura, A. (2015). The rapidly retreating Rhone glaciers in the central alps, Switzerland. *Journal of Geology (Chigaku Zasshi)* 124(1), 127-135.
- IPCC, 2019: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.
- 川上薫, 木野佳音, 長谷川大輔, 2018: スイス氷河実習流量観測レポート

近藤研,谷岡恵利奈, 2018: スイス氷河実習流量観測レポート