

2014 年 8 月 31 日～9 月 14 日

ローヌ氷河におけるチズゴケの 分布から推定した氷河後退年代

農学院 森林資源学専攻

渋井宏美

水産科学院 海洋応用生命科学専攻 脇坂珠樹

目次

1. 緒言	3
2. 目的	4
3. 方法	4
4. 結果	7
5. 考察	11
6. まとめ	16
謝辞	17
付録	18
参考文献	19

1. 緒言

スイスにはアルプスを中心に山岳氷河が多く存在する。これらの氷河は、地球温暖化の指標に限らず、水力発電の原動力として、または自然災害の要因として、スイスの人々の生活と密接な関係をもつ。このため、約 120 の氷河で 1880 年から長期のモニタリングが行われている (Bauder, A. and R. R. uegg, R. , 2009)。

ローヌ氷河は、北緯 46 度 34 分、東経 8 度 22 分のスイス中央部に位置する氷河であり、最終氷期最盛期にはアルプス最大の氷河であった。ローヌ氷河はフランス四大河川であるローヌ川の水源でもあり、また近くに走るフルカ峠へつづく道により氷河の近くまで車で簡単に行くことができるという特徴をもつ。このように人々にとって特に身近な氷河であったため、小氷期以降の氷河の様子について、他の氷河よりも古い時期 (1600 年) からその記録が残っている (Grove, J. M. , 2004)。

記録以前の氷河の後退を推定する手段として、ライケノメトリーを始めとする多くの手法が研究に用いられている。ライケノメトリーでは、地衣類の成長段階の違いから後退後の経過時間を推定する。古くから記録の残るローヌ氷河において、周囲の環境から後退年代を推定することは、記録の少ない他の氷河の過去の様子を推定する手掛かりとなる。

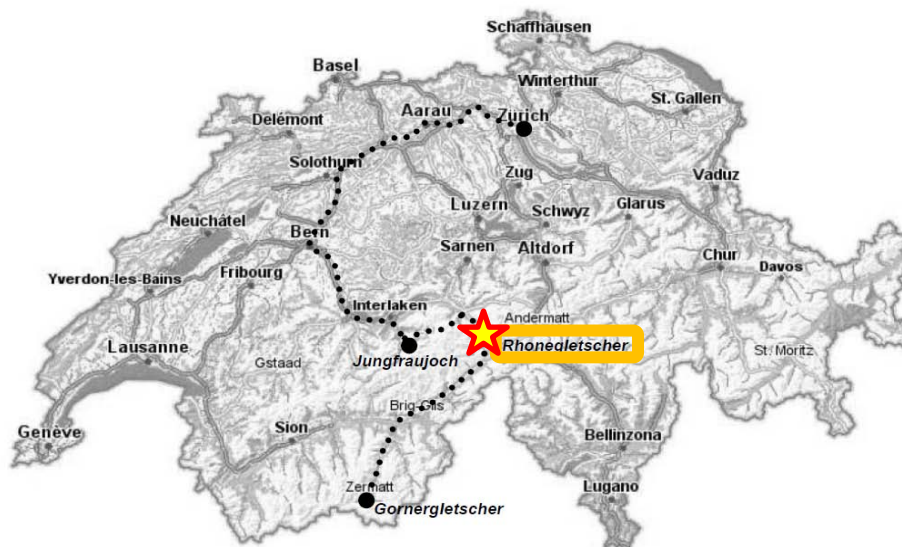


Fig. 1 スイスの地図とローヌ氷河



Fig. 2 ローヌ氷河 (2014. 9. 6)

2. 目的

本調査では、他の氷河の後退年代の推定に役立てるために、実際のローヌ氷河の過去の記録と、ライケノメトリーを用いて推定したローヌ氷河の後退年代を比較することを目的とし、北海道大学国際南極大学カリキュラム、スイス氷河実習において、2014年9月5日と6日の2日間で調査を行った。

3. 方法

3-1 ライケノメトリー

ライケノメトリーは、地衣類の成長段階から付着している岩などが露出した年代を推定する手法である。1950年に Roland Beschel が墓石の地衣類の成長曲線からヨーロッパアルプスの岩の年代を推定したことから、以後年代推定に用いられるようになった。用いられる地衣類は、木や土、岩に強固に接着し、成長が非常に遅く、寿命が長い種類で、チズゴケと呼ばれる *Rhizocarpon* 属が主に用いられる。中でも9割以上の研究で、比較的冷涼な気候で育つ黄色い種類

の *Rhizocarpon geographicum* が用いられている。この種は、湿潤な環境で成長速度が速まり、年に 40 週間以上雪に覆われるような場所では生育できない。

(Benedict, J. B., 2009) また、チズゴケの成長曲線(直径)は大きく 2 つのステージに分けられることが分かっている。最初の約 100 年は初期急成長期間と呼ばれ(Beschel, 1961, 1973)、その後のステージでは成長速度がかなり落ち込む(Fig. 3)。さらに、岩盤等が露出してからチズゴケが付着して成長し始めるまでに数十～百年程度の期間を要する。これらの成長速度や成長を始めるまでの期間は、年代推定する上で重要な要素であるが、地域によって異なることが多い。主な要因として温度や湿度の違いが挙げられるが、考慮されない場合も多い。測定には、円形に近い個体の直径や内接円径を測る方法や、被覆度を測る方法がある。本調査では、チズゴケの直径を測る方法を用いた (Fig. 4)。

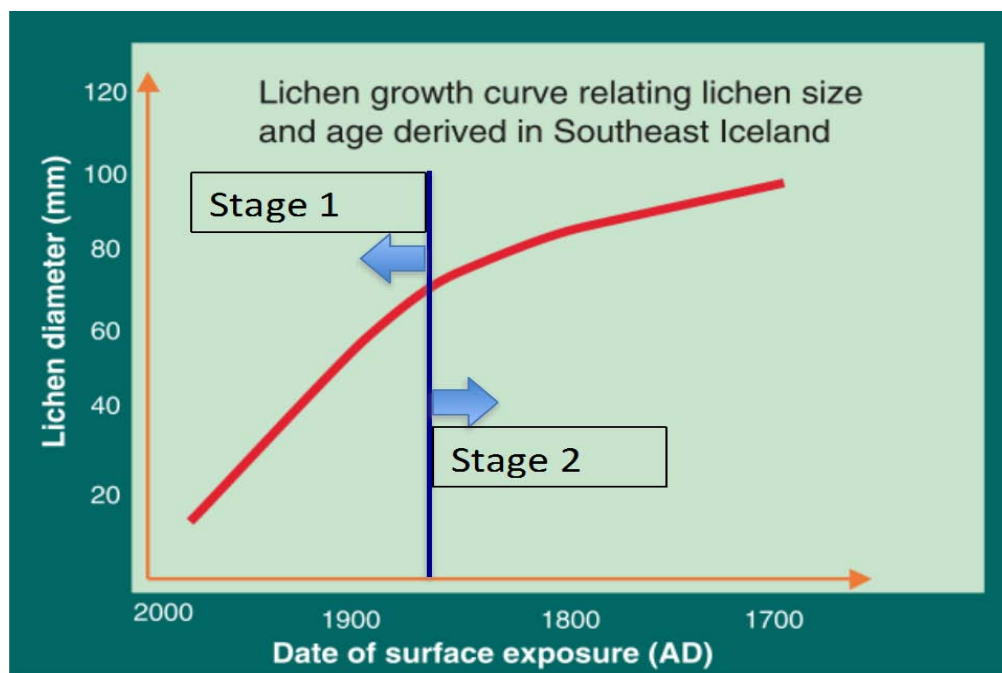


Fig. 3 チズゴケの成長曲線 (Lhichard A. 2004) 一部編集(2011 蒲山ら)



Fig. 4 折れ尺とチズゴケ (*Rhizocarpon geographicum*)

3-2 GPS の気圧高度計およびハンドレベルを用いたチズゴケの測定

Fig. 5 の星印 (北緯 46 度 4 分、東経 8 度 23 分、2272 m) を起点にローヌ氷河におけるサイドモレーンのチズゴケの直径を測定した。Fig. 5 の各点は GPS で記録した観測地点の場所を示し、色は測定時間の違いを表す。

2014 年 9 月 5 日午後 (赤) に GPS の気圧高度計を用いて標高を測定した。測定は 9 か所行い、測定位置はその都度 GPS で記録した。

2014 年 9 月 6 日午前 (緑) および午後 (青) に、上記と同様に星印を起点にハンドレベルを用いて標高を測定しながらチズゴケの直径を測定した。

ハンドレベルは気泡管のついた望遠鏡であり、ハンドレベルを目の高さに持ち、気泡がレンズの中央に来るように水平に保ちながら測定を行った。ハンドレベル 5 回分の標高間隔毎に各測定位置を決定した。すなわち、標高はハンドレベルを使用した人の目の高さの 5 倍の高さと算出できる。チズゴケの測定は 6 および 7 か所行い、その都度 GPS による測定位置の記録も行った。

測定地点では、他の地点から移動してきた石を避けるため、できるだけ大きな岩に付着しているチズゴケを選んだ。チズゴケは単独で円形であるものを選定し、大きいものから 10 個体を測定し、最小値と最大値を除いた 8 固体の平均値をその地点のサイズとした。円形のものが少ない場合は円形以外の個体も測定し、その場合は融合した可能性も考慮して短径を測定した。

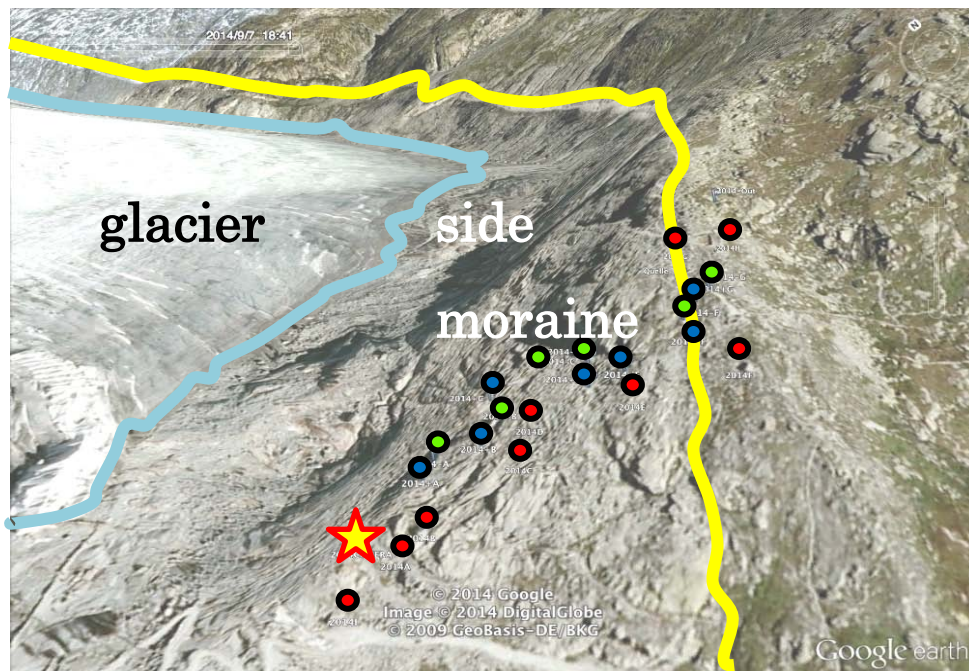


Fig. 5 観測地点(赤:5日午後、緑:6日午前、青:6日午後、星印:基点)

青線：氷河、黄線：サイドモレーン、いずれも 2014 年 9 月 (Google Earth)

4. 結果

GPS の気圧高度計を用いた調査結果を Fig. 6 に示した。9 月 5 日午前 (PM-5-Sep) では、標高が高くなるにつれてチズゴケのサイズも大きくなった。一方 9 月 6 日午前および午後 (AM-6-Sep, PM-6-Sep) では、標高とチズゴケのサイズにある程度の相関は見られたが、PM-5-Sep とは異なる結果となった。次にハンドレベルを用いた調査結果を Fig. 7 に示した。PM-5-Sep ではハンドレベルによる標高の測定を行っていないため、前述の GPS による標高を用いた。Fig. 7 では全ての時間帯において標高とチズゴケサイズに正の相関が見られた。また、Fig. 6 と比較するとハンドレベルによる標高測定の方が GPS よりも時間帯のバラつきが少なかった。GPS による測定位置とチズゴケサイズの関係を航空写真に投影したものを Fig. 8-A に、同様にハンドレベルによる測定位置とチズゴケサイズの関係を地図上に投影したものを Fig. 8-B に示した。どちらもサイドモレーンの標高が高くなるにつれて、チズゴケのサイズは大きくなり、リッジ部分に最も大きいチズゴケが集中した。Fig. 9 に PM-5-Sep における各標高のチズゴケの写真を示した。標高 2268 m では約 0.3 cm のチズゴケが、標高 2280 m では約 1.0 cm、

標高 2296 m では約 1.5 cm, 標高 2342 m では約 5.0 cm と標高が高くなるにつれて大きくなっていた。

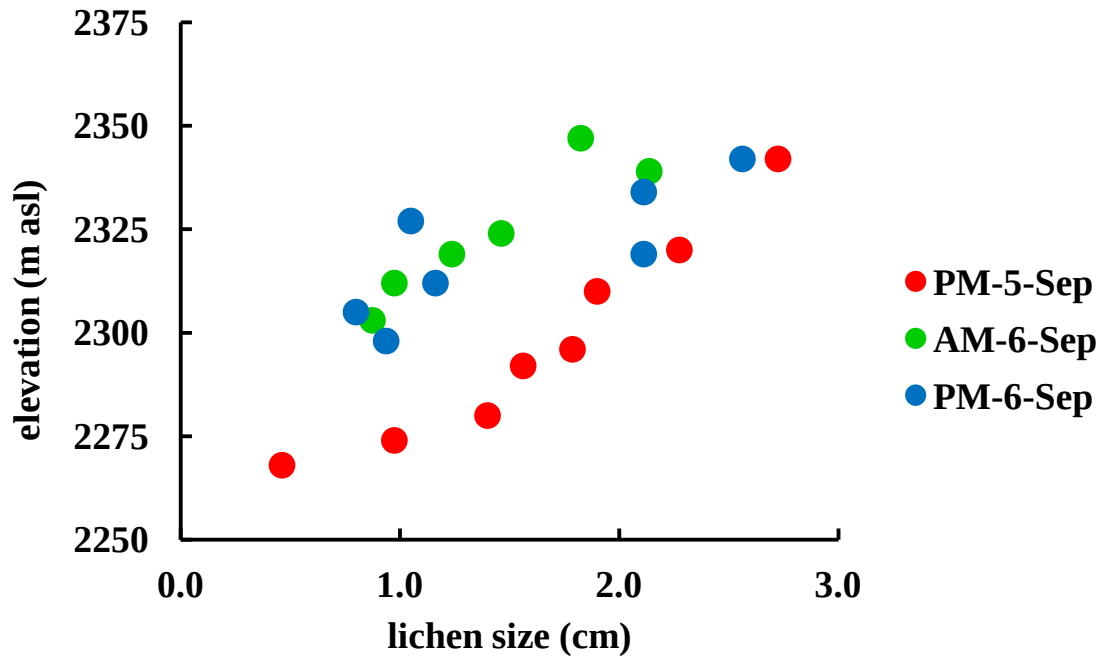


Fig. 6 GPS 気圧高度計を用いたチズゴケの直径分布

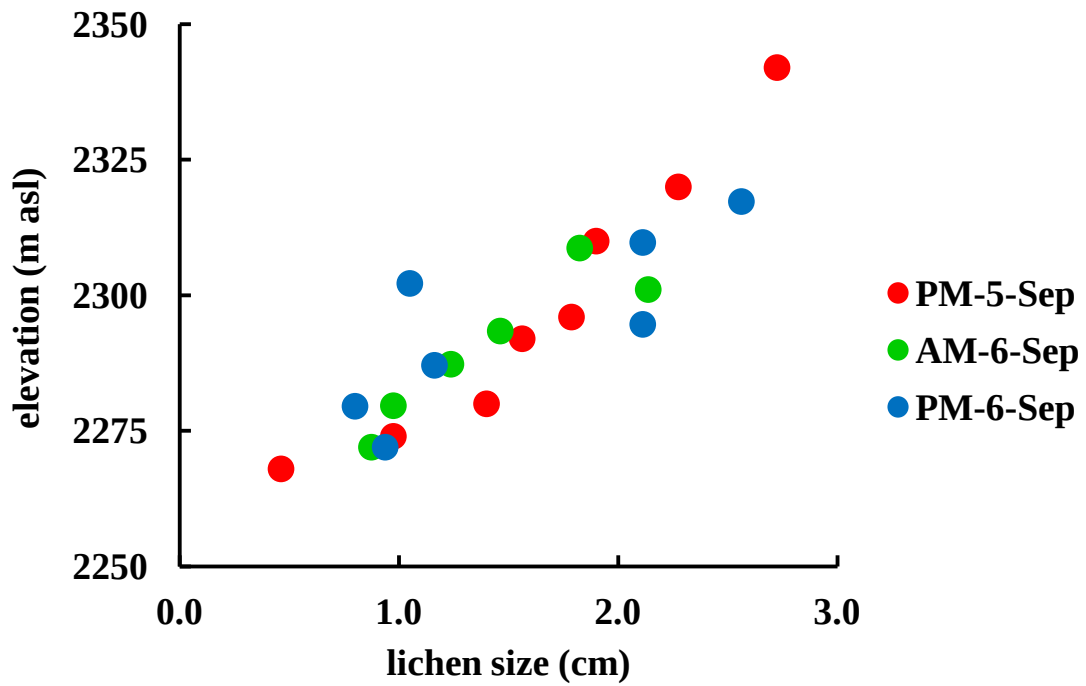


Fig. 7 ハンドレベルを用いたチズゴケ直径分布

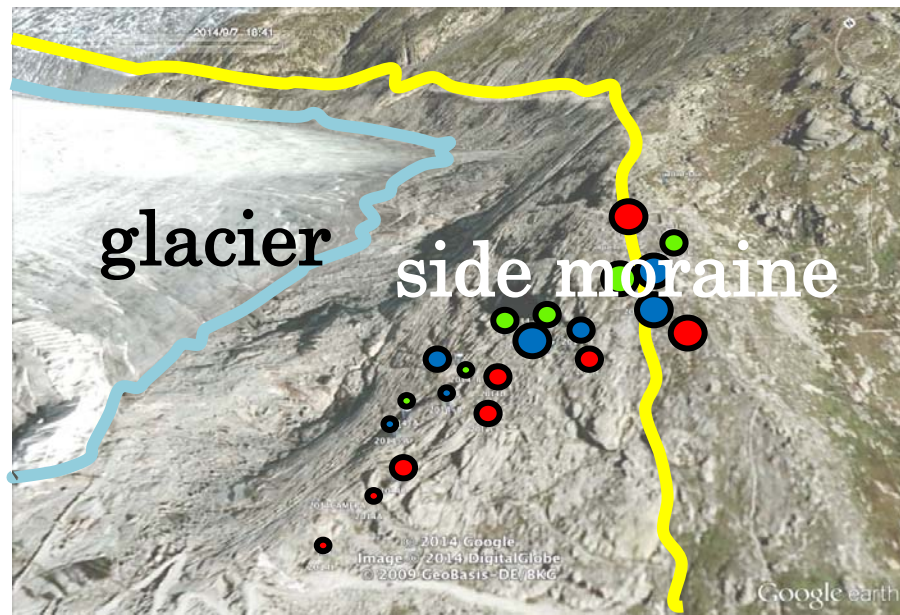
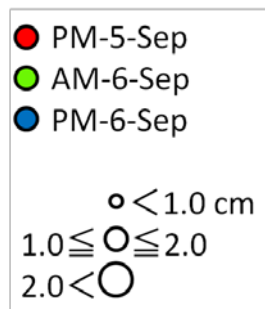


Fig. 8-A GPS による測定位置 (Google Earth) とチズゴケサイズ



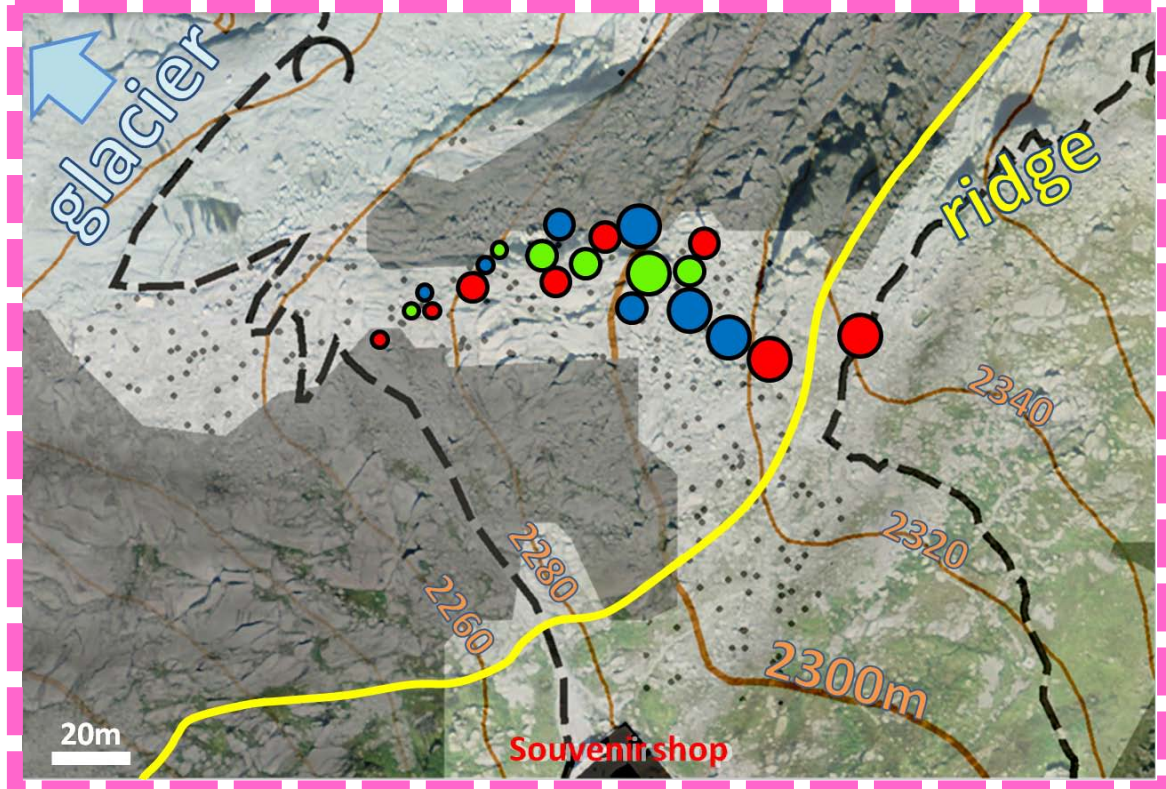
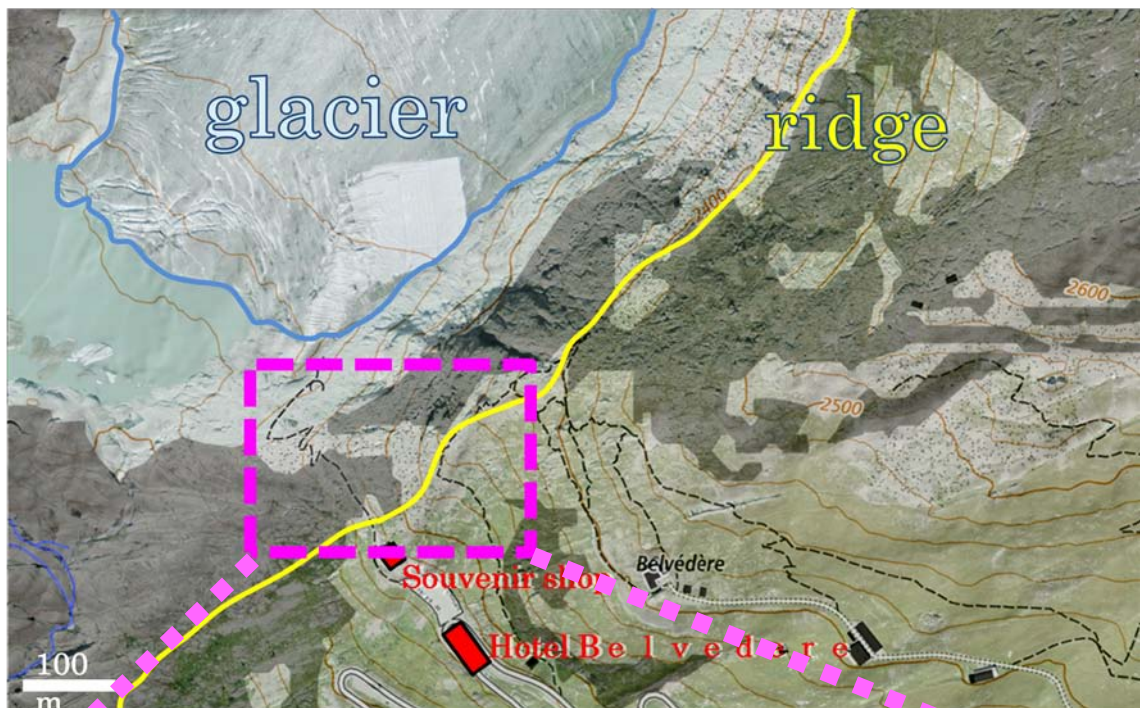


Fig. 8-B ハンドレベルによる標高値に修正した各測定位置とチズゴケサイズ

地図画像： www.swisstopo.admin.ch (2014. 9. 26) より引用・編集済み

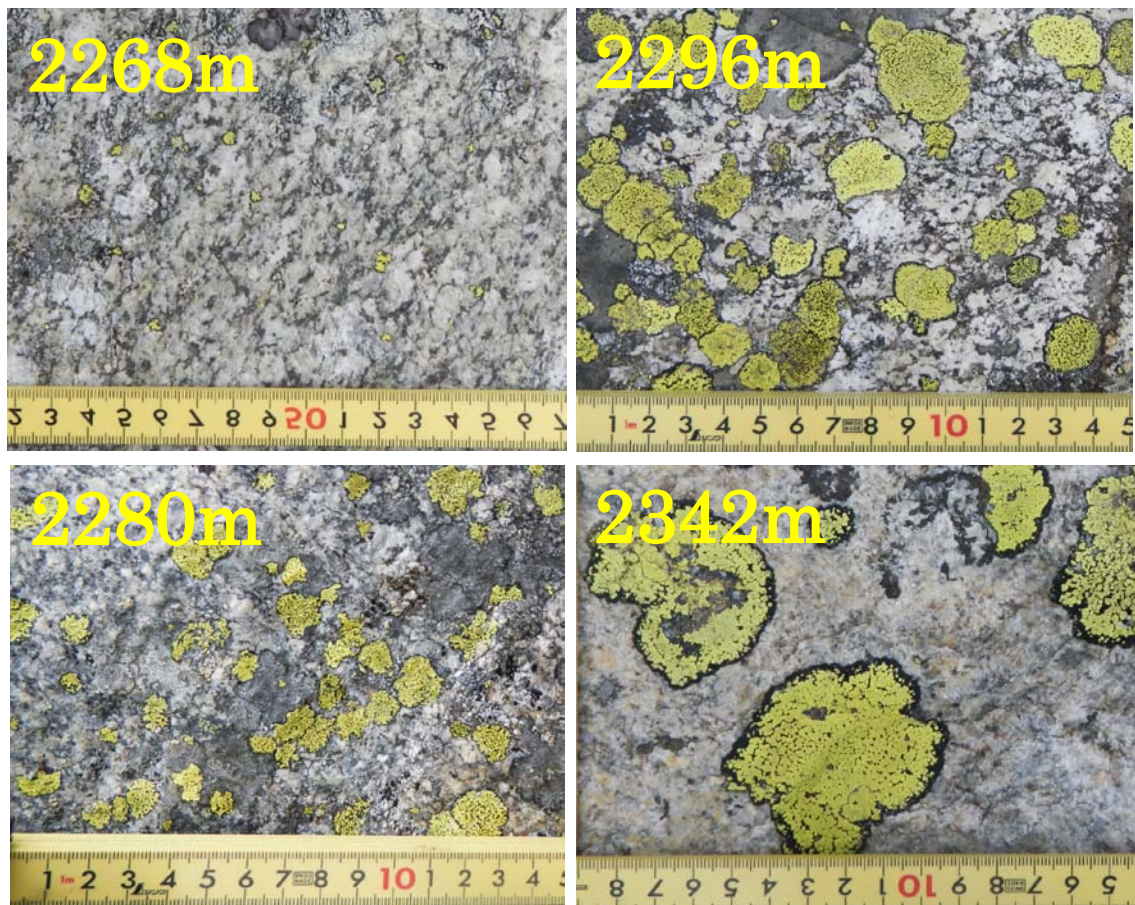


Fig. 9 高度別のチズゴケ(スケールは全て同じ)

5. 考察

本調査では、他の氷河の後退年代の推定に役立てるために、実際のローヌ氷河の過去の記録と、ライケノメトリーを用いて推定したローヌ氷河の後退年代を比較することを目的とした。調査は2014年9月5日と6日の2日間にわたって、Fig. 10に示すローヌ氷河サイドモレーン上のチズゴケサイズを測定した。

Fig. 6に示したGPSによる気圧高度計での調査では、PM-5-Sepのみが標高とチズゴケのサイズに相関が見られ、AM-6-SepやPM-6-Sepではバラつきが見られた。一方、Fig. 7に示したハンドレベルによる標高での調査では、全ての時間帯に正の相関が見られた。これは、GPSの気圧高度計が計測時の気圧の影響を受けることを示唆している。実際に、PM-5-Sepを測定した9月5日午後の気圧は2 hPaであった。これを高度に換算すると約30 mとなり、GPSにおける標高から全ての地点で30 mを差し引きすると、ハンドレベルによる標高と一致する。

レベル測量は土木、建築、測量の場において使用される手法であり、非常に原始的な原理ではあるが、現在でもなお国土地理院による水準点の測量において使用されている（国土地理院 HP、水準点の測量より）。本調査より、ハンドレベルは測定時の気圧の影響を受けないため、どのような気候条件でも一定の高度を測定できる機器であることが確認されたと言える。

氷河の融解および縮小はサイドモレーンのリッジ部分から氷河にかけて進行していると考えられる。そのため、リッジ部分が最もサイドモレーンの露出が早く、チズゴケの岩への接着も早い。今回の調査においても Fig. 8-A および 8-B に示したチズゴケサイズと標高の関係より、サイドモレーンの標高が高くなるにつれてチズゴケサイズも大きくなることが明らかとなり、ローヌ氷河の融解がリッジ部分から進行していることが言える。また、モレーンの外側に付着したチズゴケサイズは大きい。モレーンの外を実際に歩いてみると、リッジ付近にあった 5 cm ほどのチズゴケやチズゴケ同士が重なり合ったもの、また褐色に変色しているものが標高によらず見られる。これらはリッジを境に氷河の存在の有無を決定づける大きな要素となるだろう。2012 年における同調査では、2010 年から 2012 年の 3 年間のローヌ氷河におけるチズゴケサイズの測定結果からチズゴケの成長曲線を作成している（Fig. 11）。しかし 3 回の調査において、2010 年の測定ではサイドモレーン 2 地点において 100 個のチズゴケの最小径を、2011 年ではグレッチ谷 9 地点において最大 4 個のチズゴケの最大径を、2012 年ではサイドモレーン 7 地点において 1 個のチズゴケの最小径を測定しており測定にバラつきがある。チズゴケの成長速度は地域や環境によって異なると言われていたが今回は無視して考える。本調査で測定した 3 回のうち PM-5-Sep の結果を成長曲線にプロットすると、サイドモレーンが露出してから標高 2268 m では 23 年、標高 2274 m では 31 年、標高 2280 m では 38 年、標高 2292 m では 42 年、標高 2296 m では 46 年、標高 2310 m では 50 年、標高 2320 m および 2342 m では 59 年が経過していると推定できる。これより、チズゴケの成長曲線からローヌ氷河の後退過程を推定すると Fig. 12 のようになる。Fig. 12 より、ローヌ氷河は約 40 年で標高が 28 m 下がっており、これは氷河の厚さが 1 年間に約 70 cm 薄くなっていることを示す。また、チズゴケサイズによる年代推定と実際に 1996 年に氷河の末端が存在した地点（Fig. 12 赤い点）を比較すると、1996 年の氷河末端の線は 1991 年の線の下に引くことができ、チズゴケによる年代推定が実際

の年代をよく言い表していると言える。しかし、チズゴケサイズによる年代推定はあくまで予測であり、チズゴケの成長速度が生育する環境によって左右されることや、岩盤等が露出してからチズゴケが付着して成長し始まるまでの時間の考慮が必要であると言える。さらに本調査の推定の妥当性を示すには、より多くのローヌ氷河の過去の記録と照らし合わせる必要があるが、主に Fig. 13、14 のような氷河全体、特に氷河の長さを表す写真が多く、サイドモレーンに焦点を当てたものは少ない。よって、残念ながら現時点では推定結果と実際の様子を吟味することは困難である。

以上より、サイドモレーンにおけるチズゴケサイズの測定が氷河後退年代の推定、さらには、一般的な氷河の後退年代の推定に役立ち得ることが言える。しかし、調査項目の統一や年代ごとのサイドモレーンの様子の記録といった長期的なデータの収集が今後必要であると言える。

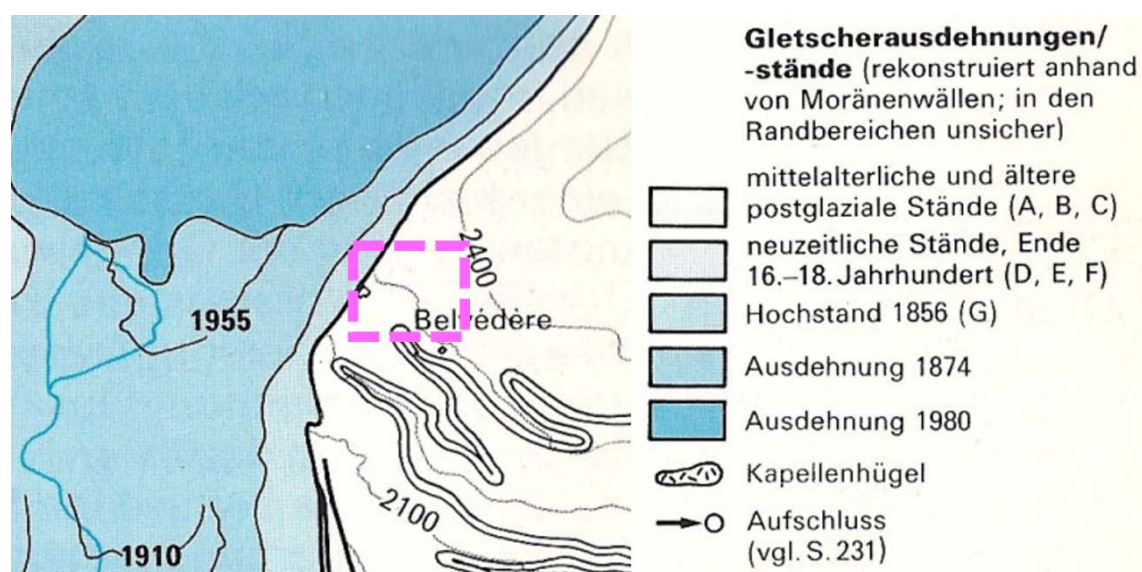


Fig. 10 観測を行ったローヌ氷河のサイドモレーン位置
1856年 - 1980年のローヌ氷河の推移、ローヌ氷河立て看板より
(阿部・大藪, 2010 の Fig. 1 を一部編集)

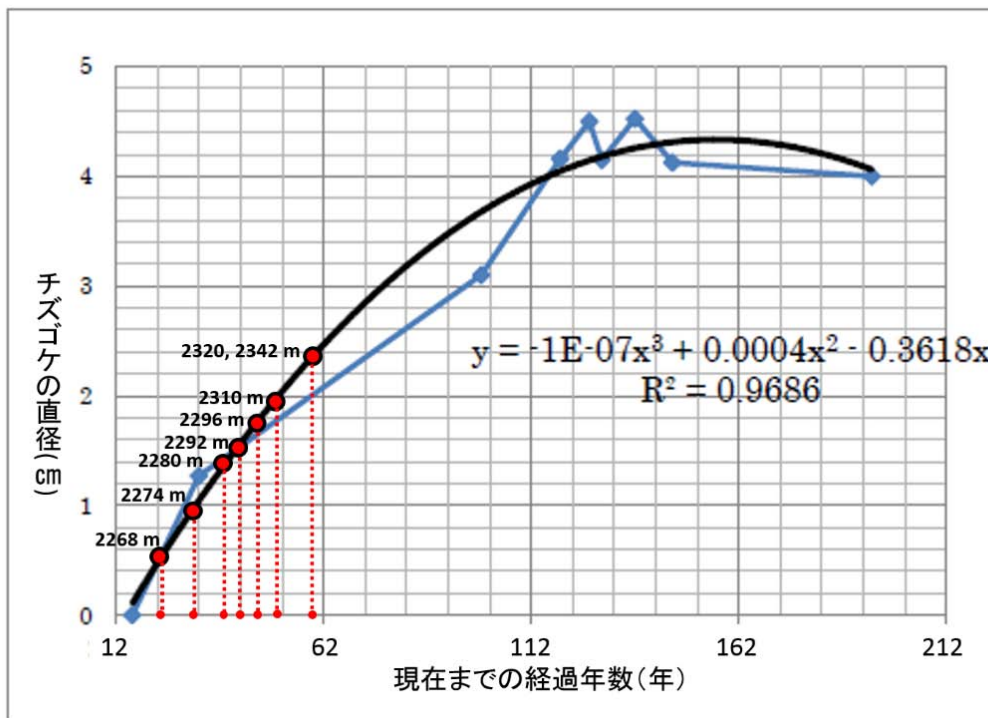


Fig. 11 ローヌ氷河におけるチズゴケの成長曲線
 (駒沢・岡本, 2012 の Fig. 8 を一部編集)

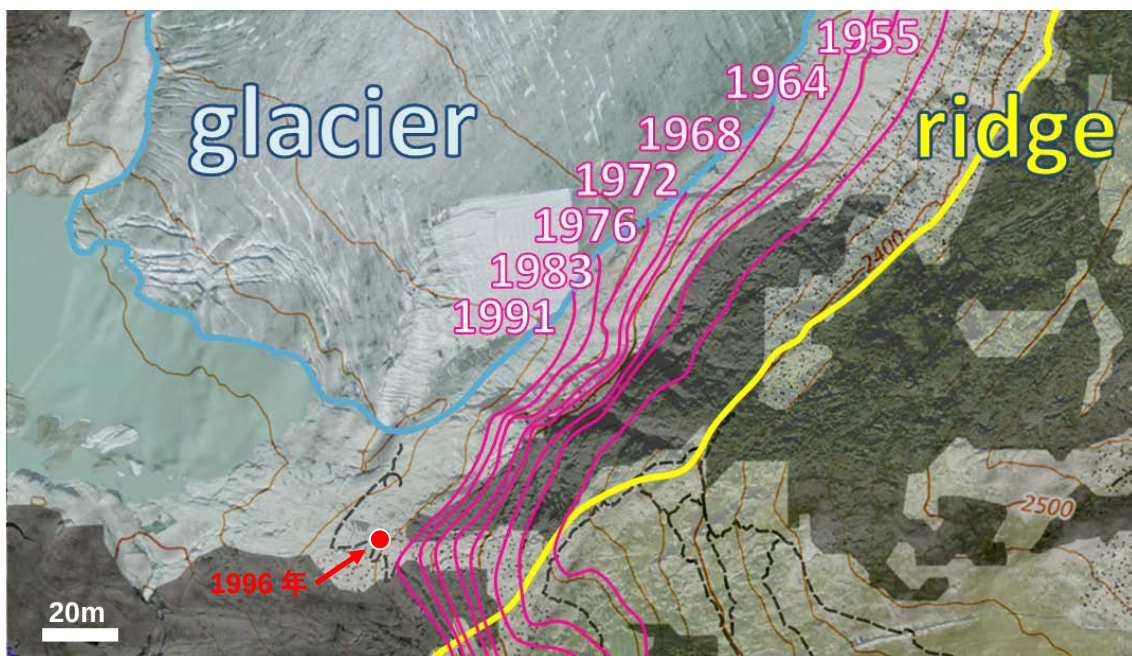


Fig. 12 ローヌ氷河後退年代の推定
 赤い点：1996 年の氷河末端地点 (立て看板より)



Fig. 13 1870年代のローヌ氷河の様子



Fig. 14 1990年代のローヌ氷河の様子

Wikipedia より引用：

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%AD%E3%83%BC%E3%83%8C%E6%B0%B7%E6%B2%B3>

6. まとめ

ローヌ氷河は、北緯 46 度 34 分、東経 8 度 22 分のスイス中央部に位置する氷河であり、地球温暖化の指標に限らず、水力発電の原動力として、または自然災害の要因として、スイスの人々の生活と密接な関係をもつ。しかしローヌ氷河は近年後退が進行しており、ローヌ氷河の後退についてあらゆる研究が行われている。本調査では、特にライケノメトリーを用いてローヌ氷河の後退年代の推定を試みた。2014 年 9 月 5 日と 6 日にローヌ氷河におけるサイドモレーンのチズゴケサイズを 3 回測定した。測定位置は GPS の気圧高度計およびハンドレベルを用いた。測定の結果、標高が高くなるにつれてチズゴケサイズも大きくなることが示された。2012 年に作成されたチズゴケの成長曲線より、今回調査した標高およびチズゴケサイズからおおよその氷河後退年代を推定した。チズゴケの成長曲線からローヌ氷河の後退年代を推測すると、氷河の後退が年々進行していることが確認でき、氷河の厚さは年間約 70 cm 薄くなっていることが推察できる。また、実際に 1996 年に氷河の末端が存在した地点と比較したところ、1996 年の線は 1991 年の線の下に引くことができ、チズゴケによる年代推定が実際の年代をよく言い表していると言える。しかし、チズゴケの成長速度が生育する環境によって左右されることや、岩盤等が露出してからチズゴケが付着して成長し始まるまでの時間を考慮する必要がある、より明確な検討をするには長期的なデータ収集が必要であると言える。だが、チズゴケといった氷河の周囲の環境から後退年代を推定することは、ローヌ氷河以外の記録の少ない氷河の過去の様子を推定する手掛かりにもなり得るため、今後の更なる進展が望まれる。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、終止御指導を頂き、貴重なる御助言、また御校閲の労を賜りました北海道大学大学院地球環境科学研究院助教 澤柿 教伸博士、ならびに同大学低温科学研究所准教授 杉山 慎博士、同助教 下山 宏博士に心から厚く御礼申し上げます。また、御協力頂きましたスイス実習参加大学院生および関係者の皆様に心から感謝いたします。

付録

2014 年 9 月 5 日、6 日における標高およびチズゴケの測定値

	北緯 (Nddd°mm'ss.s'')	東経 (Nddd°mm'ss.s'')	GPS標高 (m asl)	ハンドレベル標高 (m aal)	チズゴケサイズの平均 (cm)
基準点(☆)	046°34'43.4''	008°23'12.8''	2272		
PM-5-Sep					
1	046°34'43.3''	008°23'12.7''	2274		1.0
2	046°34'43.4''	008°23'13.1''	2280		1.4
3	046°34'43.3''	008°23'14.6''	2292		1.6
4	046°34'43.4''	008°23'14.8''	2296		1.8
5	046°34'42.8''	008°23'16.0''	2310		1.9
6	046°34'42.2''	008°23'16.6''	2320		2.3
7	046°34'43.7''	008°23'18.2''	2342		2.7
8	046°34'43.1''	008°23'11.8''	2268		0.5
AM-6-Sep					
1	046°34'43.3''	008°23'13.2''	2303	2272	0.9
2	046°34'43.3''	008°23'14.2''	2312	2280	1.0
3	046°34'43.6''	008°23'15.3''	2319	2287	1.2
4	046°34'43.0''	008°23'15.4''	2324	2293	1.5
5	046°34'42.4''	008°23'16.1''	2339	2301	2.1
6	046°34'42.4''	008°23'16.6''	2347	2309	1.8
PM-6-Sep					
1	046°34'43.3''	008°23'13.0''	2298	2272	0.9
2	046°34'43.2''	008°23'13.8''	2305	2280	0.8
3	046°34'43.6''	008°23'14.4''	2312	2287	1.2
4	046°34'42.8''	008°23'15.1''	2319	2295	2.1
5	046°34'42.5''	008°23'15.2''	2327	2302	1.1
6	046°34'42.3''	008°23'16.2''	2334	2310	2.1
7	046°34'42.6''	008°23'16.7''	2342	2317	2.6

参考文献

- Bauder, A., R. Huggen, R. (2009) The Swiss Glaciers 2003/2004 and 2004/2005 Glaciological Report No. 125/126.
- Grove, J.M. (2004) Little Ice Ages: Ancient and Modern, 第 1 巻, p.173.
- Benedict, J.B. (2009) A Review of Lichenometric Dating and Its Applications to Archeology, American Antiquity, Vol. 74, No. 1, pp. 143-172.
- Chaujar, R.K. (2006) Lichenometry of yellow Rhizocarpon geographicum as database for the recent geological activities in Himachal Pradesh, Current Science, Vol. 90, No. 11, pp. 1552-1554.
- Armstrong, R. (2004) Lichens, Lichenometry and Global Warming, Microbiologist, 2004 (September), pp.32-35.
- 阿部洋祐, 大藪幾美 (2010) 小氷期以降のローヌ氷河変動
- 夏目 奏, 蒲山 裕起, 中野 一成 (2011) ロールヌ氷河における相対年代法を用いた氷河後退年代の推定
- 駒澤 皓, 岡本彩加 (2012) ロールヌ氷河におけるライケノメトリー手法を用いた氷河の後退年代推定
- 国土地理院 HP, 水準点の測量

<http://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/suijun-survey.html>