



| | |
|------------------|---|
| Title | スイスの山岳排水処理 |
| Author(s) | 余湖, 典昭; 小椋, 和子 |
| Description | 第9回衛生工学シンポジウム (平成13年11月1日 (木) -2日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 3 計画・事例 . 3-1 |
| Citation | 衛生工学シンポジウム論文集, 9, 145-150 |
| Issue Date | 2001-11-01 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/7160 |
| Type | departmental bulletin paper |
| File Information | 9-3-1_p145-150.pdf |



3-1

スイスの山岳排水処理

余湖典昭（北海学園大学）、小椋和子（元東京都立大学）

1. はじめに

1999年8月22～29日に、(社)日本水環境学会の「身近な生活環境研究委員会」の主催で、「スイス連邦の水環境思想と保全対策」と銘打った研修ツアーが実施され、筆者は参加する機会を得た。この研修では、前半はチューリッヒでスイスの河川技術者との近自然工法に関するセミナーの開催と現場見学、そして後半はアルプス（ベルナーオーバーラント）で山岳排水処理の視察が行われた。スイスの河川の近自然工法については数多くの事例が日本に既に紹介されているが、山岳排水に関する情報は限られている。ここでは近年わが国でも問題となりつつある山岳排水処理についてスイスの事例を報告したい。

2. スイス連邦の水質保護政策

アルプスのユングフラウヨッホでは施設見学を行うとともに、現地の担当者から次の二つのレクチャーを受けることができた。

(1) 「スイス連邦とベルン州における水質保護法」

講師；オイゲン・ベア（Eugen Bear）氏
（ベルン州建設局 水質保護・ゴミマネージメント部）

(2) ユングフラウヨッホの排水とゴミ処理

講師；ハインツ・シンドラー（Heinz Schindler）氏
（ユングフラウ鉄道広報部長）

(2) については次章で触れることとし、ここでは(1)の内容について紹介しておく。

スイス連邦は、26州からなり、3000の地方公共団体がある。

連邦最初の水質保護法が制定されたのは42年前であるが、下水道整備が実際に進んだのは、1971年に法律が改正され建設補助金制度が発足してからである。ベルン州（人口90万人）では下水道や処理場へ約1000億円が投資された。1991年には再度改正され、水質の保全が生態系の保全につながる事が明記され、水質と水量の確保と、自然の水循環を進めることが盛りこまれた。具体的には、良好な水質、十分な流量、近自然工法による生物や人間にとってエコロジカルな水域を目指す努力を重ねている。合流式下水道を分流化したり、屋上雨水の浸透により水量確保を試みている。チューリッヒでは地下浸透性の舗装を見かけたが、様々な方法で雨水の地下浸透が行われている事例が紹介された。

下水道への補助金は1997年に廃止され、受益者負担となった。これまでに建設された公的下水道および私的下水道の距離はそれぞれ5000km、下水処理場は前者が111、後者が670であり、下水道はほぼ行き渡っている。しかし、栄養塩の30%は下水処理場から環境へ排出されており、高度処理が必要となってきた（窒素負荷の50%は牧畜など農地から、20%は自然からの流入、全リン負荷の20%は牧畜、50%は自然からである）。一方、溶存リンの65%が下水処理場から排出されており、25%が牧畜など農地から排出されている。したがって、今後は肥料使用量の減少と下水の高度処理が課題である。今後10年で400億円を投資する予定であ

り、現在の処理場の3分の1は高度処理のために拡張が必要である。

以上のようにスイス連邦ではこの30年間に精力的な下水道整備が行われ、現在は高度処理の普及、農地対策など第2段階に入りつつあると考えられる。

3. スイスの山岳排水処理

松井²⁾はスイスのユングフラウヨッホをはじめマッターホルン、モンブランなどの3000m級の展望台に水洗トイレが完備していることを報告し、その処理方法についてラジオ放送のスイス人レポーターから得た資料をもとに紹介しているが、シンドラー氏によれば、ヨーロッパ各国からユングフラウヨッホの排水処理施設の見学者は多いが、日本からわざわざ話を聞きにきたのは我々のグループが第1号と言うことであった。スイス連邦の重要な外貨獲得手段である観光産業がどのような山岳排水処理を行っているか、現地で得た情報をもとに述べることにする。

3. 1. ベルナーオーバーラントとユングフラウヨッホの排水処理

ここでは、先に述べたハインツ・シンドラー氏のレクチャーの内容と、現地で収集したパンフレット等^{3,4,5,6)}に基づいて、ユングフラウヨッホの排水処理について述べたい。

ベルナーオーバーラントはスイス連邦の南部に位置する世界的な山岳観光地である。麓のインターラーケンを起点として、数多くの高山鉄道(ユングフラウ鉄道)、ロープウェイ、トレッキングルートが整備され、アイガー、メンヒ、ユングフラウの3巨峰を中心として雄大な山岳地帯が広がり(図1)、とりわけ日本人には人気の高い観光地である。中でも「Top of Europe」と呼ばれるユングフラウヨッホ(Jungfrauoch、標高3454m)には、アイガーの岩盤を貫いたトンネルを通り、ユングフラウ鉄道によって容易に登ることができ、そこからの絶景は観光客を魅了して止まない。

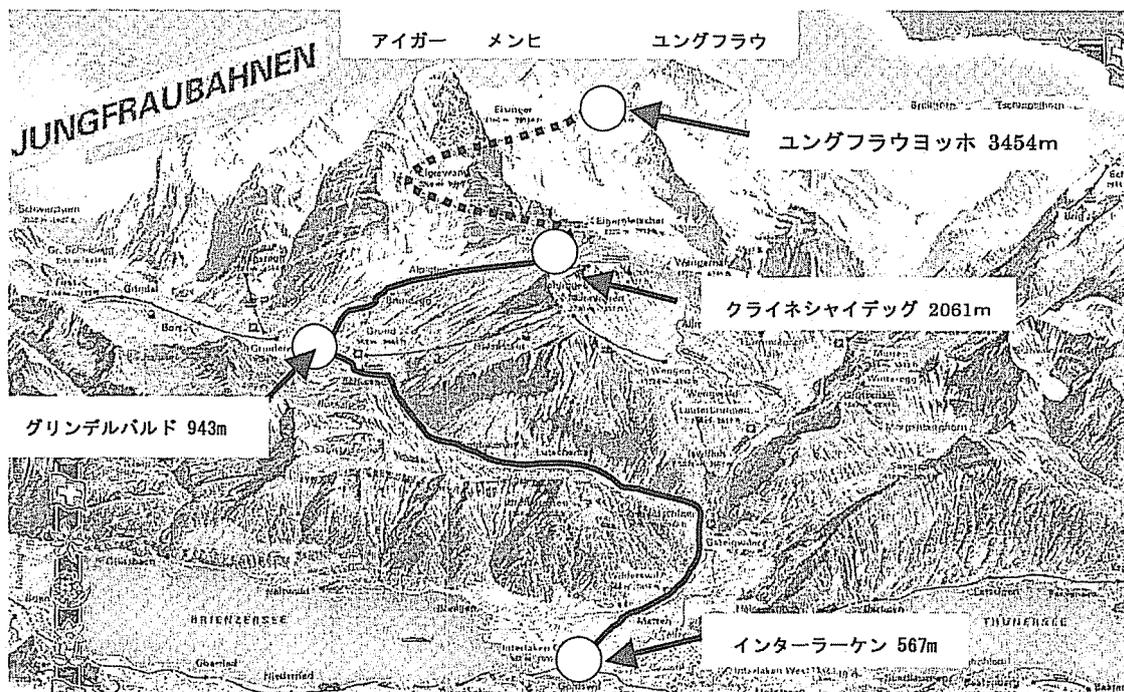


図1 ベルナーオーバーラント概観

(点線太線はトンネル部分、ユングフラウ鉄道のパンフに加筆)

ユングフラウヨッホへの鉄道建設が最初に計画されたのは1890年である。その後5回建設計画が浮上し、議会の承認を得るに至ったものもあったが結局実現しなかった。計画段階では「神への冒瀆」とか、反対の声もあったと聞く。Adolf Guyer-Zellerの建設計画が議会により承認されたのが1894年であり、ついに着工となった。アイガーの岩盤を7.2km掘り抜き、クライネシャイデックからユングフラウヨッホまでの計9.4kmが開通したのが1912年、工期は予定を大幅に上回る16年にも達し、工費も15,000,000スイスフランを要したという。電車(トラム)は1888年に実用化されたばかりであったが、建設当初から、自重が軽く運転管理が容易な電車を利用する計画が立てられた。発電所を建設し、電力を確保することから工事は始まった。冬期間は雪と氷で孤立するため、300人の作業員の宿泊施設には、秋に大量の食料、ワイン、タバコ、燃料などが運搬されたと記録されている。相当の難工事であったことは想像に難くない。

鉄道の開通後、ユングフラウヨッホには、1912年に“Tourist Lodge”(100人宿泊)が、1924年には“House above the clouds”が建設されたが、1972年10月21日に原因不明の火災により全焼した。1975年に駅構内の一部でレストランが開業されたが、現在の施設は、計画2年、施工5年をかけて1987年に完成したものである。

図2に観光客数の推移を図示したが、入込み数は近年特に上昇が著しく、年間約50万人にも達する。また一日当りの最大数は7003人と言う記録がある。ちなみに観光客の4分の1を日本人が占める(鉄道では日本語のアナウンスがある)。

現在の施設には宿泊施設はないが、合計720席のレストランがあり、下界と同レベルの快適さが保証されている。先にも若干触れたが、このような高地まで鉄道を敷き多くの観光客を招き入れることに対して、自然保護の観点からは当然ながら、高山病の危険性なども指摘され反対の声が上がったと言われている。講演者のシンドラー氏は、「来るものは拒まず」と語っていたが、観光立国スイスならではの事情も無視できないであろう。そのような背景もあり、パンフレットによれば様々な省エネ対策、環境への配慮が行われているようである。またユングフラウヨッホ駅に隣接して、宇宙・地球環境の観測等を実施している「スフィンクス」と呼ばれる研究所が建設されている。

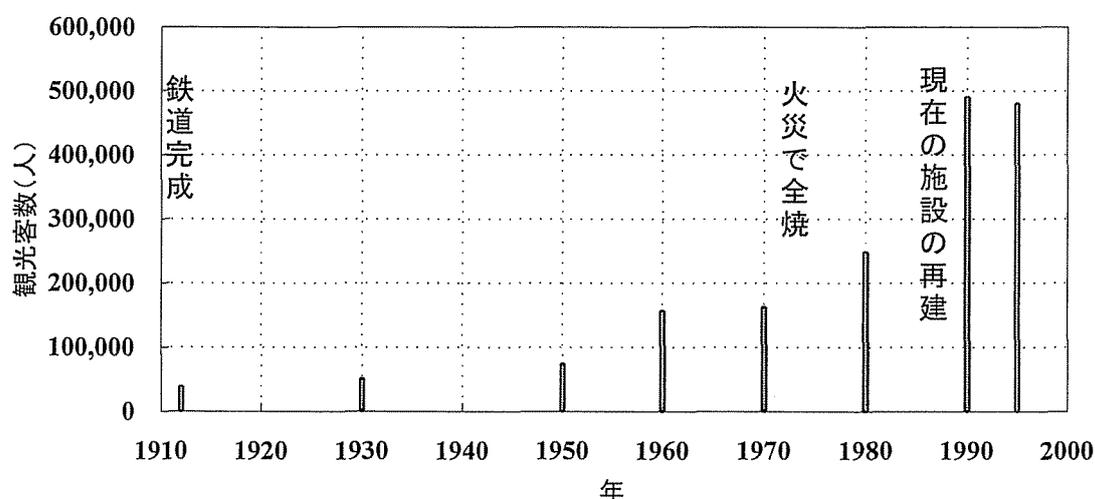


図2 ユングフラウヨッホへの観光客数

ユングフラウヨッホでの水使用量は 9000m³/年である。その内 5000m³ は鉄道でクライネシャイデッグから輸送し（写真1）、4000m³ は融雪水を利用している。融雪水は砂ろ過、活性炭処理、紫外線照射などにより処理を行っている。観光客数によるが、一日あたりの使用水量は 20~60m³ 程度である。消火用水は 70m³ の容量を持つ水槽 2 つに貯留されている。

ユングフラウヨッホのトイレは下界とまったく同じ清潔な水洗トイレである。またレストランの厨房排水も発生する。これらの排水は水質的には通常の汚水と変わらないが、悪天候の日には観光客は激減するため、汚水量の変動が非常に大きいことが特徴である。また、低い酸素濃度の問題もあり、汚水は現地では処理せず、グリンデルバルトの処理場まで輸送されている。

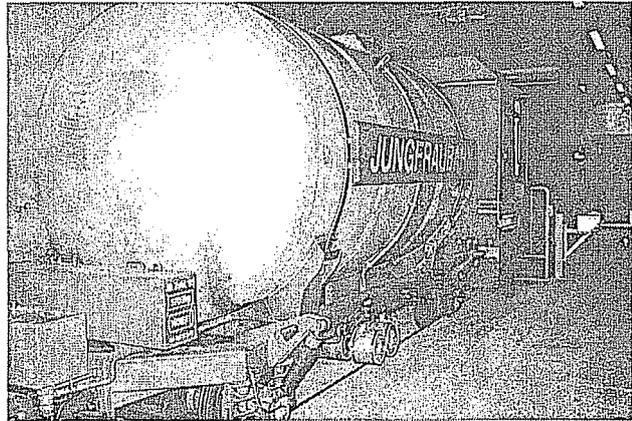


写真1. 水輸送用の車両

汚水は、油分分離装置を経た後（流下途中でのパイプへの付着防止のため）、貯留槽に一時貯められる。一定量貯まると、ポンプで圧力(10bar)をかけ一気に下流へ送られる。間欠式のポンプ圧送である。図3に、輸送方法の概略を図示した。汚水は、処理場までの標高差約 2600m のダウンヒルコースを流下することになる。図に示したように、クライネシャイデッグまでの 9.4km の内、7.2km がトンネル区間である。このトンネルは強固な岩盤であるため汚水管を埋設ができず、直径 16cm の汚水管は、鉄道の線路と平行に露出敷設されている（写真2）。

トンネル内は気温が低いいため汚水が流下途中で凍結する恐れがある。したがって流下前に過熱するとともに、流下途中の凍結防止策も講じている。方法としては二つあり、一つはパイプの径を一部で変えて管内攪拌する方法である。しかしトンネルの出口に近づくほど水温が低下するためトンネル内の下 2km では加熱している。流下中は、汚水の先頭部分の水温が最も低くなるので、先頭を加熱する工夫をしている。すなわち、低水温の先端をヒーターで加熱し、後続の比較的水温の高い汚水はバイパスを通過する仕組みにしてある。

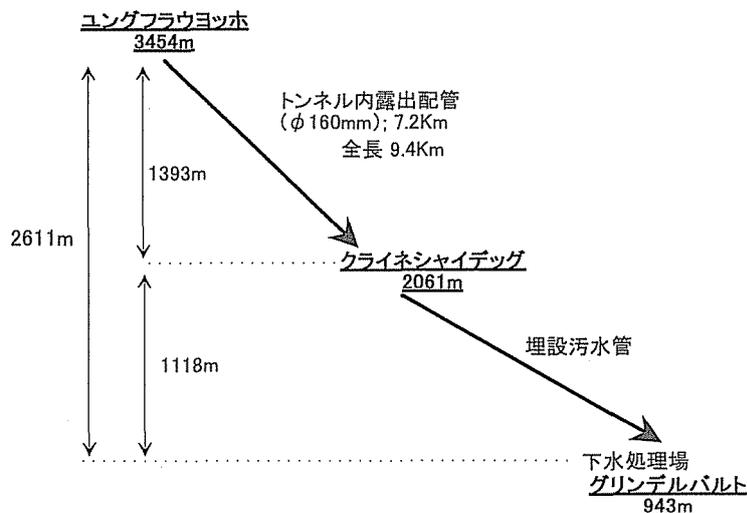


図3. 汚水輸送方法

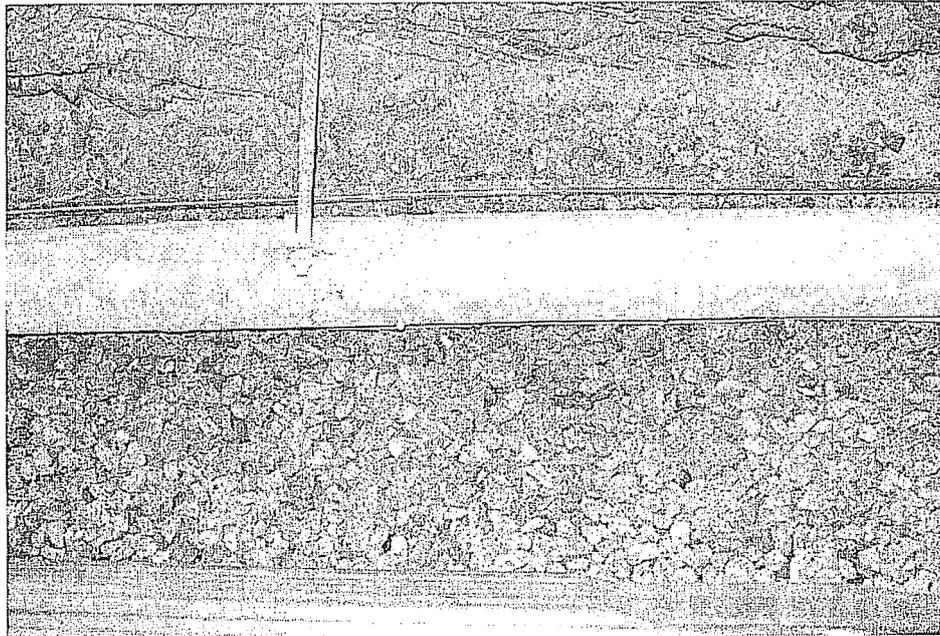


写真2. トンネル内に敷設された污水管
(列車内から撮影、写真下に車両の一部が写っている)

排水処理施設はユングフラウ鉄道が管理運営している。水などの物資の輸送を含めてユングフラウヨッホの施設維持費は決して安くはないはずであるが、実はこの経費は、鉄道料金に含まれている。日本人の多くはツアーで参加するため意識することが少ないが、ユングフラウ鉄道の運賃は高い。特にユングフラウヨッホまでの運賃は他の路線に比較して割高であり、グリンデルバルトから片道1時間半の乗車料金は日本円にして往復1万1千円程度である。運良く好天に恵まれれば決して高い料金とは言えないが、これは運賃というよりも立入料金と理解すべきものであろう。自然度の高い環境の中に、人間に都合のよい地上生活の快適性を持ち込むと、環境に負荷を与えることは避けられない。したがってその代償として立入料金を徴収し、環境への負荷を最小限に抑えることがユングフラウヨッホでは実践されているのである。

3. 2. 山小屋排水の処理

ユングフラウ鉄道のように鉄道がある場合は、下の処理場まで下水管を敷設することは比較的容易だが、散在する山小屋では難しい。たとえば、2000泊・人/年程度の利用がある山小屋では、コンポスト処理を行っている。太陽熱を利用して凍結を 방지、大便と小便を分離して処理している（実際には、男性の小便を分ける）。男性の小便は地下浸透で処理し、その他は炭素源としてワラ、干し草を入れて堆肥化する。水分と分離することで処理は大変うまく行く。しかし残念ながら肥料としての価値は低いので、年に一度ヘリコプターで山麓に降ろして焼却処理している。

ツアーの団長である桜井善雄先生と渡辺義人先生は、信州大学在職中に、同様の考え方に基づく固液分離型のコンポストの実験を上高地で1年間行ったと聞いた。実験結果は上々であったが、その後あまり普及していないとのことであった。

最近新聞報道等で、山小屋のし尿の問題が取り上げられる機会が多くなった。わが国のし尿処理の主流は依然として垂れ流しである。たとえば北アルプスの稜線近くにある山小屋44軒のうち、処理装置を備え、自然への負荷軽減策をとる小屋は2軒、し尿をヘリで下界に下ろす小

屋が3軒あるが、残りはいし尿を埋め立て、あるいは崖や沢に放流している⁷⁾。また北海道でも大雪山のトイレ道や植生の変化などが報道された⁸⁾。

一方、一部の山小屋では処理施設の導入が進められつつある。コンポスト式、浄化槽式などいくつかのタイプがあり、太陽エネルギーによる発電を併用したものもある。しかし設備投資、維持管理の面から考えると課題も多い。そもそも山小屋に地上と同じ水洗便所を持ち込む必要があるのかも大いに疑問である、山小屋の規模や立地条件に合わせた処理法が検討されるべきであろう。また、経費面から考えると、前節で述べたような立入料金の考え方を本格的に検討する時期に来ていると考えられる。

4. おわりに

スイスの山岳排水処理について報告した。筆者の意図は、スイスの山岳排水処理の素晴らしさを報告することだけではない。このツアーを通して、スイスの技術者が、立地条件に応じた柔軟な発想を生かし、コストパフォーマンスの高い技術開発を目指していることを痛感した。近自然工法のセミナーや現場視察で感じたことでもあるが、創意工夫が随所に見られた。これが、我々日本人が最も見習うべき点であると強調したい。

ユングフラウヨッホでのレクチャーは高山病との戦いでもあった。メモと収集したパンフをもとに出来る限り正確を期したつもりであるが、間違いがあれば御容赦いただきたい。

この研修の団長の桜井善雄先生（応用生態学研究所）、事務局を担当した土屋十國先生（前橋工科大学）、ガイド・通訳・講師の3役を務めていただいたスイス在住の山脇正俊氏に、この場をお借りして心から感謝致します。

参考文献

- (1) **Gewässerschutz in der Schweiz mit besonderer Berücksichtigung des Kantons Bern** (1999); E.Bear 氏レクチャー資料.
- (2) 松井良太郎 (1999) スイスのトイレ考、下水道協会誌、vol. 36、No. 440、80-85.
- (3) **Jungfrauoch top of Europe** (1999); Jungfraubahnen (ユングフラウ鉄道) 発行パンフレット.
- (4) **History and technology-science and research on the Jungfrauoch – Top of Europe** (1999); Jungfraubahnen (ユングフラウ鉄道) 発行パンフレット.
- (5) **Top of Europe – Berghaus Jungfrauoch** (1999); Jungfraubahnen (ユングフラウ鉄道) 発行パンフレット.
- (6) **Eiger, Mönch & Grindelwald** (1999); スイス連邦発行の観光案内パンフレット.
- (7) 信濃毎日新聞 (1999); 連載記事「北アの山小屋し尿処理」、1999年7月20日～25日.
- (8) 北海道新聞 (2000); 「トイレ探しで荒れる大雪」、2000年2月3日夕刊.