

講演

平成28年度 森林土木セミナー 治山技術の歴史を学ぶ(2)



オーストリアの治山技術の歴史
—その変遷と日本への影響—

新潟大学 災害・復興科学研究所 特任教授 丸井 英明

はじめに

我が国の治山技術の形成と発展の過程において、19世紀末葉以降のヨーロッパアルプス諸国、とりわけオーストリアの治山技術は多大の影響を及ぼしている。我が国における治山分野の高等教育機関として、1900年に東京帝国大学林学科に「森林理水及び砂防工学講座」が設置されているが、治山に関する実質的な講義が行われたのは、1904年にオーストリアよりアメリゴ・ホフマンが上記講座を担当する外国人教師として招聘されたことを嚆矢とする。その後、1925年までの間に、諸戸北郎、村上恵二、赤木正雄等の諸先達がオーストリアに学び当時の治山・砂防の学問・技術を日本に導入した。オーストリアは治山分野において数百年に及ぶ長い歴史と幅広い技術の蓄積を有しており、当時のヨーロッパアルプス諸国の中でも先進的な位置を占めていたことに基づいている。

オーストリアの治山技術がどのような発展過程を遂げてきたかを辿り、過去百年以上に亘り日本の治山に及ぼしてきた影響について講述する。

1. オーストリアの治山技術の歴史

オーストリアの治山の起源は13世紀にまで遡ることができる。当時のチロル伯マインハルト二世はトリエントの司教ハイน์リヒとの抗争において、既に旧くから設置されていたボーゼン近郊のタルファ河畔の防護壁を

1277年に破壊させたと報告されている。また、その60年後の1340年には、タルファ河畔の防護壁の再建が始まったとされる。猶、トリエントは当時チロルの南部としてオーストリア帝国の領域であったが、現在ではイタリア北部の自治県となっている。この南チロルに関しては、中世期における荒廃溪流の被害に対する防護策に関する記述が繰り返し現れる。例えば、1400年にベルギーネ村を防護するための施設がフェルシナ河畔に建造されたことが知られている。また、1455年にはシュテルツィングの町を防護するためにファラーバッハ溪流に防護壁が建造されたことが報告されている。

しかしながらチロルに限らず、オーストリア帝国の他の諸州においても、既に数百年以前から荒廃溪流対策が行われていたことが報告されている。例えば、ザルツブルク州南部に位置するガシュタイナー渓谷内のホーフガシュタインでは、1570年にキルヒバッハ溪流に強大な防護壁が建造されている。また、1900年には同じくザルツブルク州南西部に位置するピンツガウではミュールバッハの河道をニーデルンシル村落から迂回させる工事が行われている。

さらに、1537年にはトリエント近郊において、フェルシナ川からの膨大な流出土砂を貯留するために堰堤が建造されている。この堰堤は洪水により何度も破壊されているがその都度再建され、現在も34mの高さで維持

されている。当時描かれた絵画により、この最古の土砂貯留堰堤の建造初期の様子が推察される (図-1)。



図-1 最古の土砂流出防止堰堤 (Pont-alto-Sperre)
(オーストリア農林省編：砂防 100 年史、1984)

荒廃溪流からの膨大な土砂の流出状況は、例えば 1737 年のツェルアムゼーの災害によって窺い知れる。ツェルアムゼーの集落はシュミュッテンバッハの沖積扇状地上に形成されており、過去に土石流が繰り返し発生してきたことが明白である。特に 1737 年には大規模な土石流災害に見舞われており、甚大な被害の様子は当時描かれた絵画によって生々しく伝わってくる (図-2)。



図-2 土砂災害で荒廃したツェルアムゼー集落
(オーストリア農林省編：砂防 100 年史、1984)

このような繰り返し発生する甚大な土砂災害に直面し、オーストリア帝国の政府機関は 18 世紀には溪流災害の克服に取り組まざるを得なくなった。1749 年にはチロル州政府は将来の被害の予防並びに回避のための布告を出している。さらに 1788 年には、荒廃の原因と対策を含んだ布告がなされている。この段階においては災害の原因や対策に関する認識は単に経験的な観察に基づいたものに留まっていた。

その後、インスブルック大学教授のフランツ・ツァリンガーが 1779 年に初めて治山・砂防に関する学術的な著作を記した。当初はラテン語で、さらにはドイツ語で「チロルの洪水について」と題する著書を刊行し、土本的工法並びに生物学的手法による対策について論じている。さらに 30 年後の 1808 年にはバイエルンの道路及び河川局長ゲオルグ・フォン・アレティンは「山崩れ及びその予防あるいは被害軽減策について」と題する小冊子を刊行している。その中で「山地溪流の影響を水源で食い止め、水流の力を減勢しなければならない」ことを論じている。さらに 20 年後の 1826 年には、南チロルの道路及び河川監督官ヨーゼフ・デュイールは「山岳地域における荒廃溪流対策について」と題する

著作を刊行し、荒廃溪流の対策方法の選定に際しては科学的な解析に基づくべきことを論じている。しかしながら、上流域の水源における対策の重要性が指摘されたにも拘わらず、18世紀の終わり頃までは、砂防工事は専ら溪流の下流域に限られ、上流部の土砂生産源の対策は手つかずであった。

1882年の秋、アルプスの主山稜南側の地域、すなわちケルンテン、チロル、とりわけ南チロルで及びクラインの諸地方は極めて甚大な洪水災害に見舞われている。雨の多い夏の後、9月前半に激しい長雨が続き、その後気温低下により山岳地域で大雪となった。それに続く極端な豪雨と突然の気温上昇に伴う急激な融雪の結果、9月後半に入ると災害を引き起こす危険水位に到達し、大規模な洪水災害をもたらした(図-3)。さらに、10月27日に24時間降り続いた激しい雨による第二の洪水災害が追い打ちを掛けたため、未曾有の大災害となった。



図-3 1882年の甚大な洪水災害の挿絵
(オーストリア農林省編：砂防100年史、1984)

1882年の未曾有の洪水災害を受けて、チロル州政府は被害規模の把握と災害原因の調査のための委員会を組織し、被災地に派遣している。一方、林業試験所長アルツール・フォン・セッケンドルフの提案を受け、農林大臣ファルケンハインが1883年6月にフランスに赴いた。フランスでは1856年にローヌ溪

谷を中心とする南フランスで甚大な洪水災害を経験し、4年後の1860年に法律を制定し、アルプス山地並びにピレネー山地において溪流工事並びに荒廃地造林を実施するための行政組織を整備していたことによる。ファルケンハインは引き続き南チロル及びケルンテンを訪問し、洪水災害の被害状況並びに復興作業を視察している。さらに、専門家グループが南フランスに派遣され、溪流工事並びに荒廃地造林の実践方法のオーストリアへの導入が図られた。1884年6月30日に「山地溪流水の安全な誘導に関する法律」、すなわち我が国の「砂防法」に相当する法律が制定され、これに基づき農林省の所管の下に治山担当部局が設立されている(図-4)。

猶、現在のオーストリアが北海道と同程度の8万km²の国土であるのに比して、1884年当時のオーストリア・ハンガリー帝国は国土面積68万km²を有する大国であったことに留意が必要である。広大な帝国内の辺境地域においても治山事業が実施されており、それぞれの後継国における土砂災害対策の礎石となっていることが注目される。

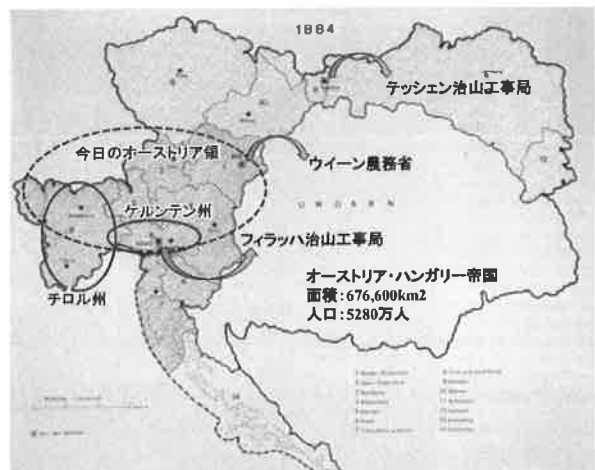


図-4 1884年当時の治山担当部局の配置状況
(オーストリア農林省編：砂防100年史、1984)

治山事業開始当時において非常に荒廃した状況にあった溪流に対し、100年以上に亘っ

て営々と実施されてきた治山事業の事例を以下の事例によって窺い知ることができる (図-5、図-6)。

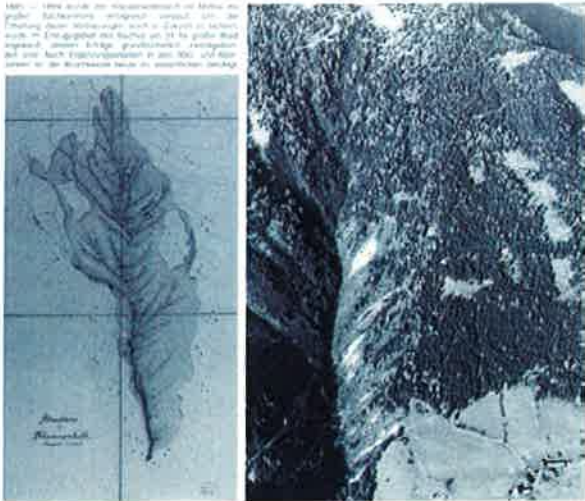


図-5 ケルンテン州メルタルの治山事業の成果

(オーストリア農林省編：砂防100年史、1984)

1885年から1894年に掛けて、当時の技術的知見を適用し、ケルンテン州メルタルのクラウゼンコッフエル溪流において治山工事が実施されている。流域内の94 haの森林を購入し、1930年代及び1960年代の追加工事を経て、100年後には荒廃地域が回復している (図-5)。

また、東チロルのカルメリターグラール溪流では荒廃が激しく、施工開始以前の1891年の状況では、溪流の側壁斜面には全く植生が無い状況であったが、その後階段ダム工が施工され縦浸食が防止され側壁斜面に植林がなされ、治山工事施工後100年を経て、植生は回復している (図-6)。



図-6 東チロルカルメリターグラール溪流の成果

(オーストリア農林省編：砂防100年史、1984)

2. 日本との学術・技術交流

我が国においても、1896年(明治29年)に河川法が制定され、さらに1897年(明治30年)には砂防法並びに森林法が制定され、治山・砂防事業の法的根拠が整備されている。一方、先述の様に専門教育機関として1900年に東京帝国大学に「森林理水及び砂防工学講座」が設置されている。しかしながら、当時国内には担当者がいなかったため、オーストリアのウィーン農科大学に学んだアメリカ・ホフマンを招聘し担当教師とした。ホフマンは1904年(明治37年)から1909年(明治42年)まで滞在し、オーストリアの治山・砂防の体系を導入した。入れ替わりに、当時助教授を務めていた諸戸北郎がオーストリアに留学し、現地においても同国の治山・砂防を学び、帰国後「理水並びに砂防工学」を発刊した。さらに1925年(大正14年)に村上恵二が、オーストリアより帰国し、砂防堰堤の安定計算法を総括した。また、赤木正雄も同年オーストリアより帰国し、立山砂防工事事務所長を務め、常願寺川の砂防を計画・実施した。赤木正雄はオーストリア滞在中に数多くの現場を訪問している。例えば、赤木が視察したチロル州エッツタールのフィッシュ

バッハ溪流の堰堤は今日も有効に機能している (図-7)。



図-7 エッツタールのフィッシュバッハの堰堤

フィッシュバッハは流域面積 73km^2 とかなり大きく、谷の出口に大規模な石積みの堰堤が建造された。この堰堤は大規模な水抜きを有し、洪水時の流出土砂を一時的に貯留し、その後の出水で徐々に流出させる機能を有している。また、水抜きの上流側には鋼製の柵を設置し、流木による閉塞を防止する構造となっている。建造後 90 年を経過しているが、漸次補修がなされ、現在も十分に機能を果たしている。

猶、諸戸北郎がオーストリアに滞在した時期は広大な帝国の辺境部に至るまで治山事業を展開していた時期であるのに対し、村上恵二や赤木正雄が滞在した時期は、第一次大戦で敗戦し、帝国の崩壊により、各民族が独立国家を形成したために、国土が現在と同規模の狭い領域に縮小されたことと、戦後の財政難により十分な事業の展開が困難な時期であった点に留意が必要である。

第二次世界大戦と戦後の混乱期に亘り両国間の学術・技術交流は途絶える。1974年(昭和49年)にウィーン農科大学のアウリツキー教授が来日され、1ヶ月に亘り全国の治山・砂防の現場を視察され、当時の日本の状況と

対比しつつオーストリアの状況について講演されると同時に寄稿された。



図-8 ウィーン農科大学とアウリツキー教授

1980年には、オーストリアで開催された防災に関する国際会議である、インタープリメント会議に対して日本から治山・砂防分野の専門家 30 名余りが初めて参加した。以来、4 年毎に開催されるこの会議には毎回 30 名規模の参加があり、学問・技術の交流が継続している。猶、この会議の起源は、オーストリアの内外で 1965 年、1966 年と相次いで深刻な土砂災害が発生したことを契機として、1967 年にオーストリアのケルンテン州の州都クラゲンフルトにアルプス諸国の防災専門家が集まり、災害の原因究明と防止・軽減対策に関して意見交換を行ったことにある。同会議は、当初はオーストリアの専門家の主導で運営されたが、1992 年以降「国際防災学会インタープリメント」に組織体制が拡大され現在に至っている。

3. アルプス地域について

アルプスはヨーロッパ大陸南西部に位置し、東西に展開する大山脈である。幅は 130km から 200km で延長は 1200km に及ぶ、総面積は約 18万 km^2 で、そこに 1200 万人が居住する。最高峰は 4807m のモンブランである。アルプス山脈は第三紀の造山運

動で形成された大褶曲山地で、ドナウ河やライン河等主要河川の分水界を形成し、ヨーロッパの屋根といわれる（図-9）。アルプス山地は冬期の積雪量が大きいため、年間を通じて安定的に大量の水を供給することができる。そのため、アルプス山地内には多数の発電ダムが建造されている（図-10）。

また、アルプスに水源を有する主要河川は、日本の河川に比してはるかに規模が大きく、流量が安定しているため、今日でも舟運に利用されている（表-1、図-11）。しかしながら、中流域までは滔々と流れる大河川も最上流域の支流まで遡ると、浸食による土砂の生産と流出が激しい山地溪流の姿を現す（図-12）。長年月に亘り繰り返して流下した土石流の堆積により、谷の出口には巨大な扇状地が形成されている。

表-1 ヨーロッパと日本の大河川の比較

	流域面積 (km ²)	河川長 (km)	比流量 (m ³ /S.km ²)	河状係数
ドナウ河	817,000	2,860	0.0092	ノイブルク /17
ライン河	224,000	1,320	0.0145	ケルン /16
セーヌ河	47,800	780	0.0072	パリ /24
利根川	16,840	322	0.0289	栗橋 /928
信濃川	11,900	367	0.0512	小千谷 /109

（高橋裕、河川工学、1990；高山茂美、川の博物誌、1986による）



図-11 ドナウ河を遡り航行する貨物船



図-9 ヨーロッパ大陸の主要分水界



図-12 アルプス山地内の急峻な溪流



図-10 アルプス地域における水力発電

4. オーストリアの地形 / 地質

オーストリアの国土はアルプス山脈の東部を占めており、即ち東経 9° 32' から 17° 10'、北緯 46° 22' から 49° 01' の範囲に位置し、北でドイツ、チェコ、西でスイス、南でイタリア、スロヴェニア、東でスロヴァキア、ハンガリーと国境を接している。国土の総面積は 83,858km² で北海道よりやや大きい。人口は 861 万人（2015 年）であり、人口密度は 104.3 人 / km² で、日本の 335.9 人 / km² と比べて小さい。しかしながら、アルプスの山岳地域にも旧くから比較的多数の人間が居住し

てきたために、山岳地域の集落は頻繁に土砂災害を経験してきた。

オーストリアの国土の約 2/3 はアルプス山地の領域に含まれる。スイスより連なってきたアルプスは東に向けて徐々に標高を下げ、ウィーンの位置でドナウ河に到達して消滅する。ドナウ河の本川はオーストリアの北東部を約 350km に亘って貫流し、主要河川は大半がドナウ河の流域に属する。主要河川はイン、ザルツアッハ、トラウン、エンス、イプス、トライゼン、ライタ、ラープ及びムールを含むドラウ等で、アルプス山中に水源を発生し、南側からドナウ河へ注ぎ込む(図-13)。これらの河川の支流が概ね荒廃溪流となっている。



図-13 オーストリアの主要河川

オーストリアの国土は地形変化に富んでいるが、概略的に図-14 に示す様な景観区分がなされる。即ち高山の景観をなす高アルプス地域が西端のフォアアルベルク州からチロル州、ザルツブルク州中南部、ケルンテン州西部及びシュタイアマルク州西部まで連なる。その北側には高度の低い前アルプス地域が隣接し、さらに北側のドナウ河までの間の低地はアルプス前地と呼ばれる。ドナウ川のチェコとの国境にまでの間はヴァルトフィアテル及びミュールフィアテルと呼ばれる高原地帯となっている。高アルプス地域の南東部にはケルンテン盆地を取り囲むアルプス東縁を経て、南東オーストリア平坦・丘陵地が連なる。高度分布に関しては、最低点がノイジー

トラー湖で、海拔 115m、最高点がグロースグロックナー山で海拔が 3,797m とおおよそ日本と似通っている。



図-14 オーストリアの地域区分
(農林省編：林業年次報告 1982 年版)

オーストリアの地質構造は複雑ではあるが、概略的には東西方向の構造によって形成されている(図-15)。高アルプス地域の骨格をなす部分はおおよそイン川とエンス川を結ぶ東西の線を境界として、北側は石灰岩から成り北石灰岩アルプスと呼ばれる。一方、南側は主として変成岩、とりわけ結晶片岩から構成されており、中央アルプスと呼ばれ、広大な面積を占めている。猶、その中央部にはタウエルン・フェンスターという特に構造的に破碎された部分を含んでいる。中央アルプスの南側のイタリアとの国境付近では石灰岩系統で、いわゆるドロマイトを主体とする岩塊から成り、南石灰岩アルプスと呼ばれる。北石灰岩アルプスの北側には、フリッシュ地帯が細く帯状に延びている。フリッシュは主として砂岩・泥岩の互層をなす海成の堆積層であり、白亜紀から古第三紀に掛けてアルプスの主変動域の前縁に沈降した造山時堆積物から成る。フリッシュ地帯の北側はモラッセ地帯である。モラッセはアルプス山体から供給された粗粒堆積物から成る第三紀の堆積層である。モラッセ地帯の北側のドナウ河対岸からチェコに掛けてはボヘミア地塊と呼ばれ、堅硬な花崗岩及び片麻岩から構成されている。

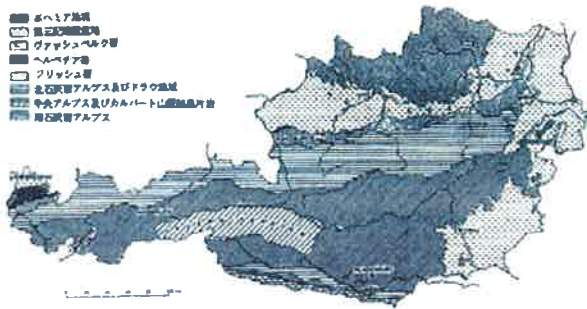


図-15 オーストリアの地質概要
(地域整備会議編: 地域整備と自然の脅威、1986)

オーストリアはその地理的位置から、海洋性気候と大陸性気候の遷移領域にある。大西洋による海洋性気候の影響が西部から東部に掛けて漸次弱まり大陸性気候に移行していく。大西洋気候の影響は、海岸線から約1,000km 離れているにもかかわらず、オーストリアの気象現象の大勢を支配している。すなわち、北石灰岩アルプスや中央アルプスの主山稜の高山地域では、大西洋から流入してきた前線に対してアルプスが障壁となって遮るために、北西向きの斜面に大量の降雨がもたらされる。その結果、アルプスの主山稜や北ないしは北西向きの支山脈では、国土の西部において2,500mm を超える年間降雨量があり、東部に向けて漸減し500mm 以下となる。しかしながら、高山によって遮られるアルプス山地内の谷ではかなり少なく、年間600~700mm 程度である(図-16)。

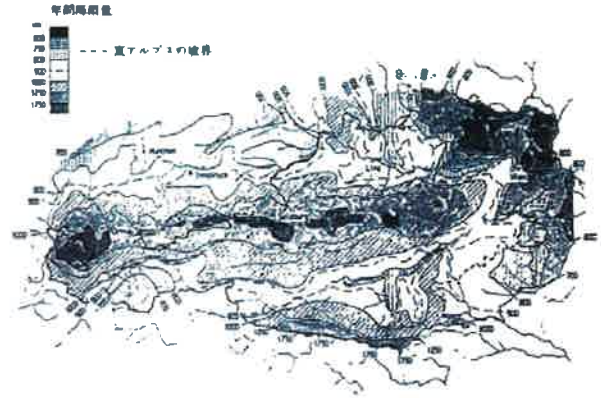


図-16 オーストリアの年間降雨量 (Mayer, 1971)

一方、ウィーン盆地を中心とする東部の低平地では大陸性気候の影響下にある。この地域は東ヨーロッパの乾燥した空気塊の影響のために降雨が少なく年間600mm 以下である。それに対して、オーストリアの南東部、東シュタイアマルクから東ケルンテンでは、アルプス山体の陰に位置するために大西洋からの前線の影響は非常に弱められ、殆ど降雨をもたらさない。他方で、南部国境から85km しか離れていないアドリア海で発生する低気圧により湿った空気塊が容易に進入し強い影響を及ぼす。したがって、山地付近では年間平均降雨量は1000mm、東部では800mm 程度である。特にゲヴィッターと呼ばれる短時間降雨強度が極端に強い雷雨の発生回数が非常に多いことが注目される。この地域では平均して年間40回程度もゲヴィッターに遭遇し、殆ど毎年のように洪水並びにそれに伴う土砂災害が発生している。

また、アルプス地域では降雪が多く、大部分の地域では12月の終わり頃から積雪に覆われ3月の後半まで平均的に約100日間程度続く。また、高度1,500m 以上の地域では積雪期間は150日以上に及ぶ。したがって、春先には融雪による洪水並びに土砂災害がしばしば発生する。アルプス地域は頻繁にフェーン現象に遭遇し、そのために急激な融雪が誘発され洪水並びに土砂災害に至る。

オーストリアの森林面積は、2015年現在で387万haあり、これは国土面積の約47%に相当する。ヨーロッパ諸国の平均では35%程度であり、森林に富んだ国に数えられる。森林面積は山岳地域に多く、平坦地や丘陵などの農業に適した地域は農地として用いられ林地は少ない。また、高山地域では高度の高い領域が夏期の放牧地として利用されているため森林面積は比較的少ない。前アルプス地域では森林面積率が70%以上に及ぶが、東部の平坦地及び丘陵地やドナウ河南側のアルプス前地では20%程度でしかない(図-17)。森林限界は中央アルプスでは、1,800mであり、石灰岩アルプス地域では約1,600mである。また、天然の樹木限界は森林限界より約300m高い標高にある。

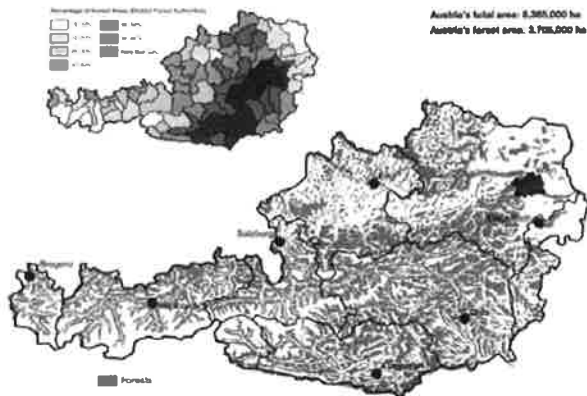


図-17 オーストリアの森林面積
(農林省編:オーストリアの森林、1985)

森林の減少が荒廃溪流や雪崩の危険度にどのような影響を及ぼすかについての長期に亘る解析例がある。すなわち、1800年頃から近年に至までの西チロルにおける森林面積の増減と荒廃溪流並びに雪崩危険地域面積の変化との関係が調べられている(図-18)。森林面積の減少に伴って荒廃溪流及び雪崩危険地域の面積が増大するが、造林によって森林面積が回復すると再び減少する過程が読み取れる。この様に森林の土砂災害防止機能に関する評価が定着しており、オーストリアでは治

山事業において荒廃地造林が積極的に推進されている。

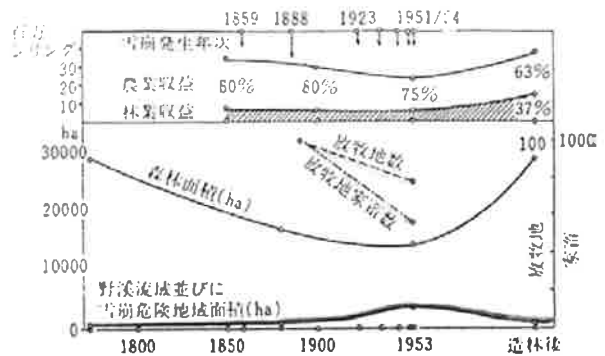


図-18 西チロルにおける森林面積の減少と荒廃溪流並びに雪崩危険地域面積の変化 (Fromme, 1957)

5. オーストリアの主要な土砂災害

アルプス地域の特異な地質構造に対応し、様々な規模と形態の土砂移動現象が発生している。それらの現象の発生機構を理解する上で、移動土塊の材料特性を考察する必要がある。特に、集落や鉄道・道路などの重要基盤施設に対し、長期間に亘って甚大な影響を及ぼす、大規模な土砂移動現象として以下の3つの形態を取り上げる。

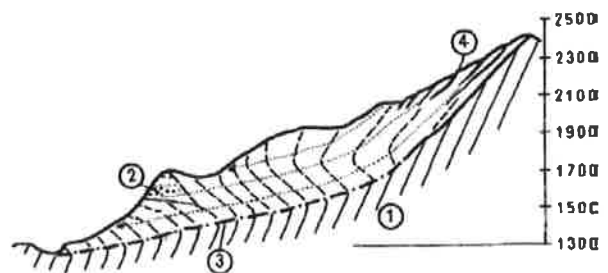


図-19 山体のマス・クリープ (Zischinsky, 1966)

山体のマス・クリープは、山体を構成する長大斜面が深層から緩慢にクリープ変形を生じる大規模な地すべり現象である。斜面上部におけるすべり面を伴った剪断変形と斜面下部における塑性的なクリープ変形の組み合わせた移動と考えられる(図-19)。通常、

規模が非常に大きく、恒久的に甚大な影響を周辺地域に及ぼすために対策には多大のコストを要する。

Block diagram: Toppling

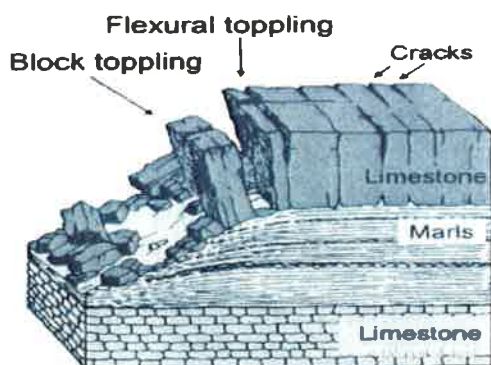


図-20 岩盤崩落及び山体分離 (Dikau, 1966)

岩盤崩落及び山体分離は、下層の軟弱で塑性的な性状を示す泥岩層あるいは頁岩層の上部に存在する堅硬な石灰岩や安山岩等の岩盤が、鉛直の節理面に沿って巨大ブロック状に分離し、前面部ではトップリングを生じつつ多数の岩塊が側方に移動していく現象である(図-20)。流域源頭部で岩盤崩落が発生し、その結果下部の軟弱層の流動化を生じ、土石流として下流域まで長距離を移動する 경우가多々ある。

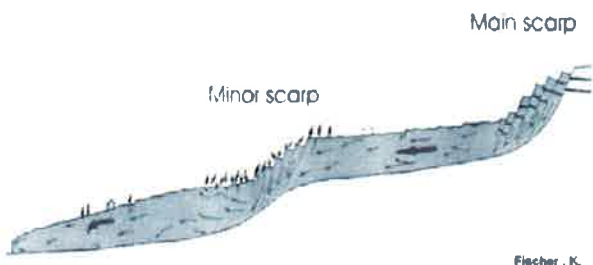


図-21 流動型すべり (Fischer, 1967)

流動型すべりは、凹地状斜面あるいは溪流の流域内に存在する、多量の水分を含んだ細粒材料を主体とする堆積物が氷河の流動と同様の流下形態で下方に移動する現象である(図-21)。

上述の3つの形態の土砂移動現象の代表的な事例の分布を図-22に示す。破壊的な大規模な土砂移動現象の発生にはしばしば非常に降雨強度の強い集中豪雨が関与している。記録的な日雨量の観測事例を図-23に示す。

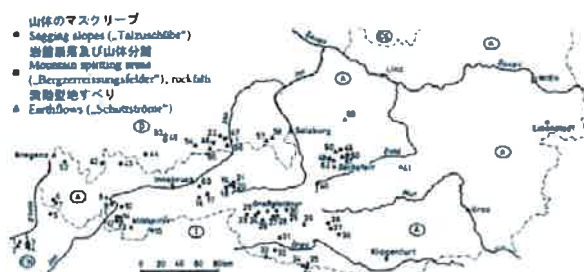


図-22 代表的な土砂移動現象の分布 (Moser, 2002)

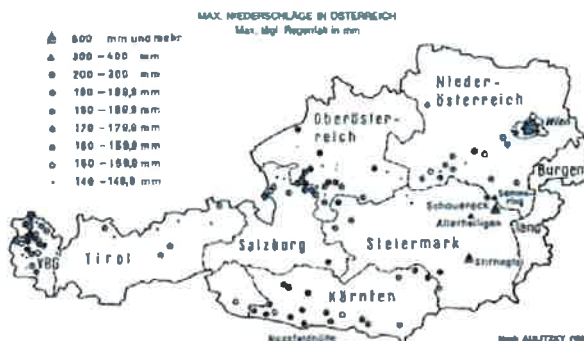


図-23 最大日雨量の観測事例 (Aultzky, 1968)

溪流の源頭部で岩盤崩落が生じ、流動型すべりを経て、最終的に土石流状で流下しているシュタムバッハの事例を示す(図-24)。このような現象はアルプスの山岳地域における現行の景観形成過程を表すものであり、景観面からも防災面からも重要な現象である。



図-24 シュタムバッハ源頭部の状況
(1980年代)

さらに、モレーン堆積層における代表的な荒廃事例として、シュッサトーベルの大規模崩壊を示す(図-25)。この流域の源頭部は18世紀までは森林に覆われていたが、1796年に牧草地を得るために森林が皆伐されたとされる。その結果、流出条件が悪化し、その後大規模な崩壊と土石流が幾度も発生している。基盤地質は石灰岩類であるが、その上に最大200mに及ぶ厚いモレーンが堆積している。崩壊地の規模は長さ1800m、幅700m、面積60haに及んでいる。流出土砂の貯留により溪床を上昇させ、崩壊面の脚部を安定化させるため、100基以上の大規模な堰堤が崩壊地内に施工され、溪床は平均40m、最大で70m上昇している。一方、扇状地も広大で、長さ1500m、幅600m、面積80haに及んでいる。1930年の段階では扇状地域における流路は安定せず、人家は存在しない。1983年の段階では対策工事の進捗の結果、扇状地右岸側に居住地が展開している。



図-25 シュッサトーベルの大規模崩壊
(オーストリア農林省編:砂防百年史、1984)

6. オーストリアの治山・溪流対策

オーストリアの治山対策の根底には、荒廃溪流を流域システムとして捉え、そのバランスを維持していくという考えが据えられている。森林の有する浸食や土砂流出を防止、軽減する機能が高く評価されており、一連の対策技術は、「森林・工学技術体系」一すなわち森林造成的技術と土木工学的技術の総合と位置付けられている。

対策法は以下の4種に大別することが出来る。すなわち、(1)土木工学的対策法、(2)森林・生物学的対策法、(3)経営管理的対策法、(4)予防的対策法である。以上の内(1)、(2)、(3)は災害をもたらす現象の発生原因を取り除くか、現象の作用の及ぶ範囲を局限する「直接的方法」であり、(4)は被害を受ける対象の側で危険を回避する「間接的方法」である。通常、単独ではなく、対象となる荒廃溪流の性格に応じ幾つかの方法を有効に組み合わせる。

土木工学的対策法に関しては、日本で施工される「溪間工事」と本質的な相異はない。この範疇に属する構造物は我が国と同様その形態及び機能から、縦浸食を防止する「横工」と、横浸食を防止するための「縦工」とに区分される。前者には堰堤、床固工、帯工等が属し、後者には護岸工、流路工、水制工等が含まれる。東チロル地方のプレッターヴァントバッハ源頭部で施工された階段状堰堤工の事例を示す(図-26)。この溪流では、1347

年には扇状地域のマトライ村が壊滅している
(図-27)。



図-26 ブレッターヴァントバッハ上流堰堤工



図-27 ブレッターヴァントバッハ全景

堰堤工は、土砂生産の抑止、山脚固定、流出土砂の貯留並びに調節と多様な機能のものが用いられている。1970年代以降は透過型堰堤が多用され、様々な機能と形態を有する堰堤が開発されている(図-28)。なかには、洪水の推移期間中に流出土砂量のきめ細かい調節を目的とした極めて複雑な構造の堰堤も建造されている(図-29)。この堰堤はザルツブルク州のガシュタイナー渓谷の一溪流に施工されているが、同渓谷には非常に多様な機能と形態を有し、材料的にもコンクリート製、鋼製、両者併用の、多様な透過型堰堤が建造されている。

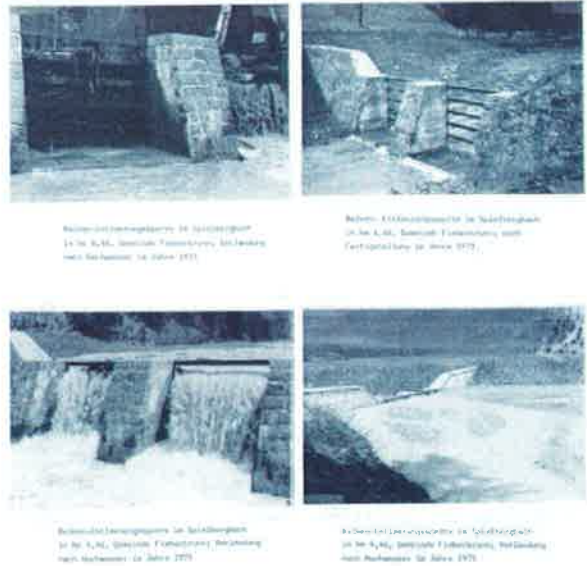


図-28 1970年代に開発されたスリットダム
(オーストリア農林省資料)



図-29 流出土砂量調節用のスリット堰堤

オーストリアの治山事業においては、森林・生物学的対策法は大きな比重を占めている。また、森林管理計画や地域整備計画においても治山対策としての森林・生物学的方法は必ず考慮されなければならないものとされている。この対策法は「緑化工」と「造林」との二つの範疇に区別されている。緑化工は崩壊跡地やはげ地等に植生を導入し被覆を図るものであり、主として表面浸食の防止を目的とする。一方、造林は崩壊地や地すべり地等の土砂生産源の外延部に植林し、山腹斜面の水文条件を面的に改善することを目的としている。また、造林は治山目的と同時に雪崩防止

目的との両者をかねて施工されることが多い。アルプス山地内の気象、地形条件の下では多くの荒廃溪流が土砂の生産、流出と同時に雪崩発生のパテンシャルを有しているからである。

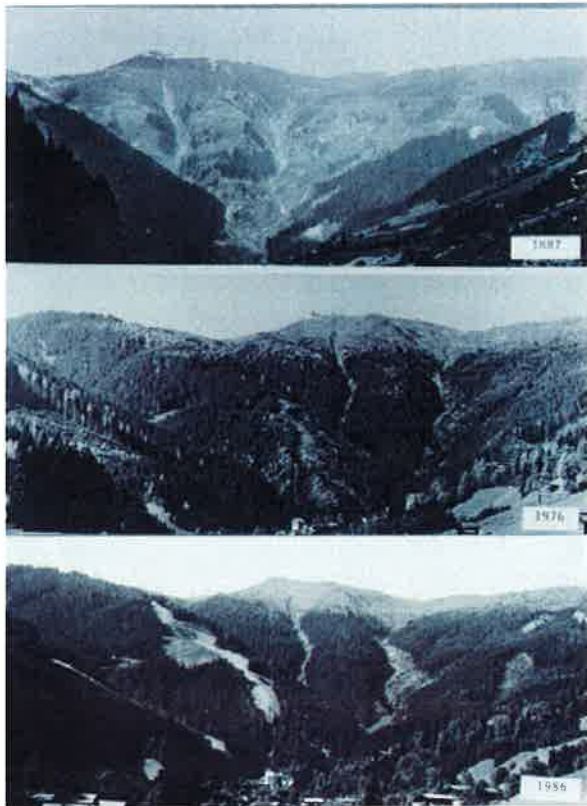


図-30 シュミッテンバッハ上流域の植生の推移
(オーストリア農林省資料)

先述のツェルアムゼーのシュミッテンバッハ上流域は荒廃地造林が精力的に推進された場所である(図-30)。1887年では流域内の森林は殆ど伐採され非常に荒廃した状況である。その後精力的に造林が推進され、1976年には森林植生は大幅に改善されている。ところが、1986年では中腹部斜面に大規模なスキーコースが造成され、大幅に森林が伐採されている状況が見られる。開発に伴う流域環境の悪化の軽減・改善が課題となっている。

経営・管理的方法とは流域内の水文条件を良好なものにするために土地利用形態の転

換、農業耕作形態の変更あるいは経営・管理方法の転換を図る方法である。通常は農地とりわけアルプス山地の牧草地の森林への転換が主要な方法であり、開墾の規制や道路工事の制限等もこの範疇に含まれる。特に注目されるのが「総合的土地改良法」と呼ばれる経営・管理的方法と土木工学的的方法とを効果的に組み合わせた方法である。すなわち、土地利用の転換とそれに伴う森林の造成、拡大によって治山対策としての効果を追求するだけでなく、全体としての収益の向上による地域の経済状況の改善をも目的とした総合的な方法である(図-31)。



図-31 総合的土地改良法(チロル州ツィラー谷)
(チロル州編、1975)

予防的対策法とは危険区域設定の実施に他ならない。被害を受ける可能性のある保全対象物の側で被害を回避することを講じる訳である。すなわち、設定された危険区域図に基づいて、危険区域内での住居等の建築をその危険度に応じて全面的に禁止したり、あるいは補強工事を義務付け条件付きで許可したりするものである。近年では危険地域内への居住が急速に拡大している。増大する保全対象物に対し将来においても直接的な防止対策を実施していくことは、財政的な許容限度を超え、

予防的対策が重要視される。

予防的対策法の実施に際しては、適切な危険区域図の作成が前提となる。直接的には1960年代半ばの大規模災害の発生を契機とし、1975年の改定森林法において危険区域図作成を規定する条項が盛り込まれると共に、1976年に制定された危険区域図の内容を定める政令によって、危険区域設定という方策が導入された。ケルンテン州のゲンドルファー溪流の事例を示す(図-32)。赤区域では新たな住居の建築は禁止される。黄色地域では補強の条件付きで許可される。左図は対策工施工以前の状況で、右図は対策工施工後の状況を示している。対策工の施工等の対象溪流の状況の変化に伴う危険区域図改定の必要性も規定されている。

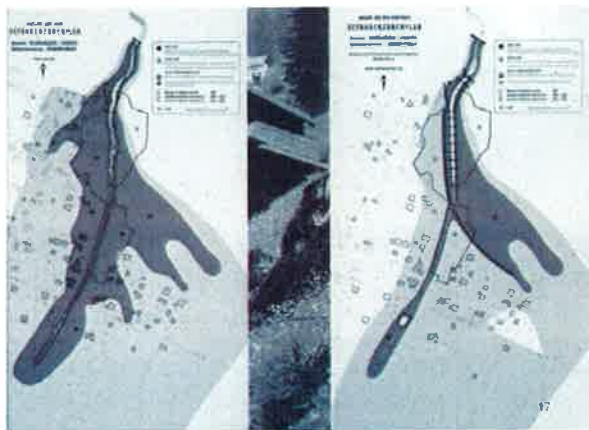


図-32 危険区域図の一例(ケルンテン州)
(オーストリア農林省編:砂防100年史,1984)

7. おわりに

オーストリアにおいては我が国における治山事業と砂防事業との両者を一括した内容が農林省所管の下で実施されている。土木的工法に偏重することなく、森林の有する浸食並びに土砂流出防止機能を高く評価し、造林並びに緑化工にも重点がおかれている。一方で、構造物に関しても1970年代以降、様々な機能と形態を有する構造物が開発され、今日では技術基準として取りまとめられている。ま

た、危険区域図いわゆるハザードマップに関しても1975年に制度が導入され、今日ではほぼ国土全域に関し作成済みである。

明治初年のアメリカ・ホフマンの招聘以来、日本とオーストリアとの間の治山技術の交流は110年を超える。戦前には諸戸北郎、村上恵二、赤木正夫の諸氏が相次いでオーストリアに留学し、アルプスの治山技術を日本に伝えた。戦後は1970年代のアウリツキー教授の来日以降、学術交流が再開されている。また近年では、国際防災学会インタープリメントへの参加あるいは日本での開催を通じて交流が強化されている。2000年以降は、オーストリアにおいても各種技術基準が整備され、実験的研究や数値シミュレーションに関しても優れた成果を挙げている。近年では、荒廃溪流及び雪崩危険斜面に関する詳細なデータベースの整備とGISシステムの活用によって、既往災害に関する的確な情報を提供することにより、住民に対し災害の危険性に関する適切な理解と被害の軽減のための知見を啓発することにも力が注がれている。治山分野における学術・技術交流のさらなる進展が期待される。

引用・参考文献

- 1) オーストリア農林省(1984):オーストリア溪流工事100年史(100 Jahre Wildbachverbauung)
- 2) 高橋裕(1990):河川工学
- 3) 高山茂美(1986):川の博物誌
- 4) オーストリア農林省(1982):オーストリア林業年次報告1982年版(Jahresbericht ueber die Forstwirtschaft 1982)
- 5) オーストリア地域整備会議編(1986):地域整備と自然の脅威(Raumordnung und Naturgefahren)
- 6) Mayer(1971):Die Waldgebiete und Wuchsbezirke Oesterreichs, Centralblatt fuer das gesamte Forstwesen 88, 3, 129-

- 164.
- 7) オーストリア農林省編 (1985): オーストリアの森林 (Oesterreichs Wald)
- 8) Fromme (1957): Der Waldrueckgang im Oberinntal, Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Mariabrunn, 54.
- 9) Zischinsky (1966): On the Deformation of High Slopes, Veroeff. des Int. Kongresses fuer Felsmechanik, Thema 6
- 10) Dikau (1966): Landslide Recognition, John Wiley & Sons.
- 11) Fischer (1967): Erdstroeme in den Alpen, Mitt. der Geogr. Ges. i. Muenchen, 52. Bd.
- 12) Moser (2002): Geotechnical aspects of landslides in the Alps, Proc. 1st Europ. Conf. On Landslides, Prague.
- 13) Aulitzky (1968): Analyse der Schadensursachen von Unwetterkatastrophen zum Zweck der Vorbeugung, Oesterr. Wasserwirtschaft 20.
- 14) チロル州(1975): チロルの洪水及び雪崩対策 (Hochwasser- und Lawinenschutz in Tirol)
- 15) 丸井英明(1988): オーストリアの治山事情(I)～(IV), 治山

【著者】

丸井英明(まるいひであき) / 新潟大学災害・復興科学研究所特任教授 / 流域保全学研究部門 / 農学博士(京都大学) / 自然工学博士(ウィーン農科大学) / 国際防災学会 INTERPRAEVENT 副会長