

土石流危険溪流における危険区域設定手法について

—オーストリアでの国際ワークショップの議論を中心として—

丸井英明*・海堀正博**・木村正信***

Hazard Mapping Method for Dangerous Torrent Threatened by Debris Flow —On the Basis of Discussion at the International Workshop on Hazard Mapping in Salzburg, Austria—

by

Hideaki MARUI, Masahiro KAIBORI and Masanobu KIMURA

(Abstract)

Hazard map is a topographic map on which dangerous areas threatened by debris flow, slope failures, landslides, snow avalanches and so on are optically expressed by red and yellow color zoning. In order to introduce necessary arrangement for warning and evacuation system or appropriate land use decision as so called soft countermeasures against natural disasters, it is quite important and effective to prepare hazard map as basic data and information for the implementation of such soft countermeasures.

Also in Japan in recent years hazard maps and mapping methods are gradually introduced under the cooperative works among state, prefectural and local governments. Nowadays hazard maps are already exhibited to the public in Japan. However real zoning results of hazards by natural disasters are not expressed in hazard maps but only dangerous torrents or points are expressed in restricted manner. On the contrary, in Austria that has relatively long history and much practical experiences in the field of hazard mapping, there exist comprehensive arrangement and exhibition of hazard maps to the public under a certain legal background since 25 years ago.

A special workshop on "Hazard Mapping Methods" was organized by the federal authority for torrent and avalanche control of the Ministry of Agriculture and Forestry at Rauris in the Federal State Salzburg in Austria from 15th to 18th June 1998. The Workshop was arranged under the framework of IUFRO subdivision S8.04 for Natural Disasters with special focussing on the practical methods for hazard mapping. We had an opportunity to attend to this workshop and to discuss with foreign experts in this fields from Austria, Germany, Republic China, Italy and Slovenia. This Report is to give general informations on hazard mapping system in Austria and further a short introduction of the workshop itself and some important remarks on the main discussion points about the methods of the hazard mapping.

*新潟大学積雪地域災害研究センター

**広島大学 総合科学部

***岐阜大学 農学部

Keywords : hazard mapping method, dangerous torrent, debris flow

キーワード：危険区域設定手法，危険溪流，土石流

I はじめに

危険区域図は、土石流を始め崩壊や地すべりあるいは雪崩等の自然災害による危険の及ぶ範囲を地形図上に表示したものであり、一般に警戒・避難体制の整備や適正な土地利用の誘導等のいわゆるソフトな防災対策のための基礎資料と考えられている。近年、国家財政の逼迫という状況下において、防災事業においても費用対効果の観点からの評価が要請され、多大の投資を必要とする防災施設の建造によるハード対策を適正な範囲に限定し、有効なソフト対策を推進する必要性が生じてきている。わが国の防災事業においても、ソフト対策の基礎資料としての危険区域図の重要性が認識され、国、県、市町村の関係機関の連携の下で、危険区域図の公表、周知が行われるようになってきている。しかしながら、その内容は災害の危険の及ぶ範囲を詳細に示したもののというよりは、危険箇所を示したものに留まっているケースが大半であり、また運用面においても警戒・避難や土地利用の規制などへの利用は限定的なものに留まっている。

ソフト防災対策の先進国であるオーストリアにおいては、25年前から立法措置に基づいた危険区域設定作業を行ってきており、危険区域図の作成方法並びに運用方法に関して豊富な経験を有している。本報告においては、最初にオーストリアにおける危険区域図の導入過程を説明し、次に1998年6月にザルツブルク州で開催された国際ワークショップにおける討論に基づき、危険区域設定手法に関わる具体的な問題点について論じることとする。

II 危険区域図

1. 危険区域図導入の背景

オーストリアにおいて第2次世界大戦後、山岳地域における居住形態が顕著に変化した。すなわち、アルプス地域における観光開発が急速に進んだ結果として、荒廃溪流からの土砂流出や雪崩の危険の及ぶ地域内に、ホテルや住宅等の保全対象物が増加していった。危険地域内における保全対象の増加という事態の下で、従来のように土木的施設による直接対策だけで荒廃溪流や雪崩の危険に対処していくことが困難な状況となってきた。そこで、危険地域内における居住等の土地利用の制限という間接対策を実施することが、検討されるようになった。直接的には1960年代の半ばに大規模な災害による甚大な被害が生じたことが契機となり、1975年の森林法の改定に際し、危険区域図に関する条項が盛り込まれるとともに、1976年に危険区域図条例によってその内容が規定された。現在では約25年間に及ぶ実施の経験を経て、危険区域図の有効性が認められている。

2. 危険区域図の内容

危険区域図には以下の項目内容が表示される。まず、当該荒廃溪流あるいは雪崩発生溪流の流域、流出土砂あるいは雪崩による危険の及ぶ地域（すなわち危険区域）、将来の防止工事のために用地として確保しておくべき地域、ないしは林地等、その保護機能を活用するため特別の管理を必要とする地域（すなわち留保区域）である。

砂防事業における危険区域図に関しては、原則として再現確率150年の災害規模を想定して区域設定が行われる。「赤色危険区域」は荒廃溪流及び雪崩による危険度が高く、想定される災害による被

害の規模と頻度から見て、そこを恒常的な居住の目的に使用することが不可能な領域である。この区域内では通常新たな建築行為は禁止される。「黄色危険区域」は荒廃溪流あるいは雪崩の危険によってその場所の恒常的な居住の目的での使用が支障を受ける区域である。この区域では建築行為は条件付きで許可される。

留保区域は危険区域図上で「青色」で表示される。この区域は土木的対策法並びに植生を用いた対策法の施工とその機能の維持のために必要となる区域、或いは林地の保護機能や防災工事の効果を確実なものとするために特別な管理を必要とする区域である。

その他に以下の指示区域が表示される。「茶色指示区域」は当該荒廃溪流あるいは雪崩の作用と直接関係のない危険、例えば落石、山崩れ、地すべり等のマスマーブメントの危険を受ける区域である。「紫色指示区域」はその場所の荒廃溪流或いは雪崩に対する保護機能が、その土地あるいは土壌の状態に依存している地域である。例えば道路としての盛土が荒廃溪流からの土砂流出があった場合に導流堤として作用し、その保護機能を期待できるような場合をいう。

3. 危険区域図の型式

危険区域図は図面とそれの付随するテキストから構成されている。図面は「危険表示図」と「危険区域図」からなり、前者には計画地域、当該流域並びに主要な危険の原因が示され、後者には危険区域並びに留保区域、指示区域が表示される。危険表示図のための原図としては1：50,000又は1：25,000の地形図、或いは空中写真又は空中写真を判読図化したものが用いられる。危険の原因は原図上に適切な記号によって表示される。危険区域図は縮尺1：5,000以上でなければならないと定められており、図面上には土地台帳に基づく土地の所有区分が同時に表示される。

テキストは流域危険度調査結果及び危険区域設定作業結果を一目瞭然に理解できるように作成されるものであり、それには以下の項目が含まれる。

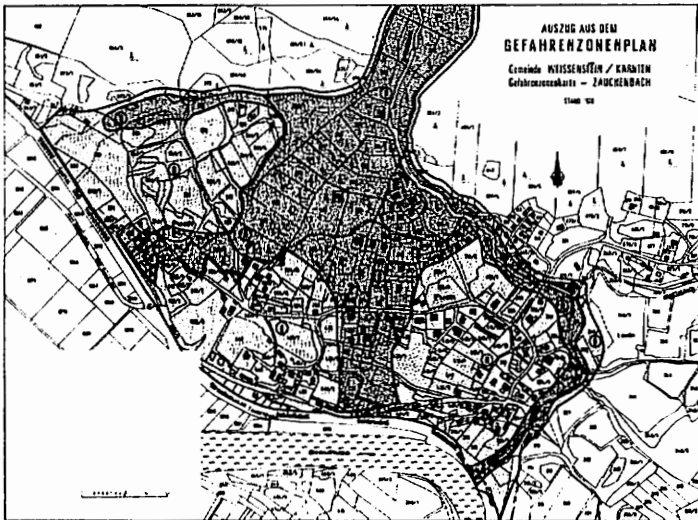
- ①危険区域図の基礎資料に関する記述
- ②危険度評価に関する記述とその根拠
- ③危険区域及び留保区域の表示に関する記述とその根拠
- ④危険区域設定作業のための関連事項

4. 危険区域図策定のプロセス

危険区域図は農林大臣の管轄の下で農林省の砂防及び雪崩防止担当部局で作成される。作成された危険区域図の原案は、当該自治体の首長の管轄の下で4週間に亘って公開され、住民はそれを閲覧することができる。閲覧期間中に利害関係者は文書によって意見を申し立てることができる。原案が妥当であるかどうかは専門委員会によって検討され、必要な場合には変更が加えられる。申し立てられた意見は、この段階において考慮される。専門委員会は農林省の代表を委員長とし、当該の砂防及び雪崩防止地方技術局の代表、州及び自治体の代表によって構成される。専門委員会によって検討された原案は、問題がなければ農林大臣によって認可される。認可された危険区域図は、当該の砂防及び雪崩防止地方工事事務所において検閲の後、コピーが作成される。同一内容の危険区域図が州、地区行政事務所及び自治体に提出される。もし危険度判定の根拠となる状況が変化した場合には、危険区域図は変化した状況に適合するように変更される。

5. 危険区域図の実例

危険区域図の一例として、ケルンテン州、フィラッハ・ラント地区、ヴァイセンシュタイン村のものを図-1に示す。上図は1978年に策定された、同村を流下するツァウヒェンバッハ溪流による危険区域を示すものである。扇状地のかなりの領域が、居住地や交通路として不適当である。また、1950年以來、赤色区域の内部に相当数の住居が侵入してきた経過を読みとることができる。前世紀の末には赤色地域の内部にはわずかう個しかなかった保全対象物が、危険区域図作成時には既に52個に増加している。1978年の危険区域図に基づいて砂防計画が策定され、砂防工事が施工された。下図は1983年に砂防工事完了後の危険区域図を示している。砂防工事の結果、流域内の条件が一変し、赤色区域の範囲は顕著に減少し、保全対象物はもはやその範囲内には存在しない。



砂防工事施工前の危険区域図

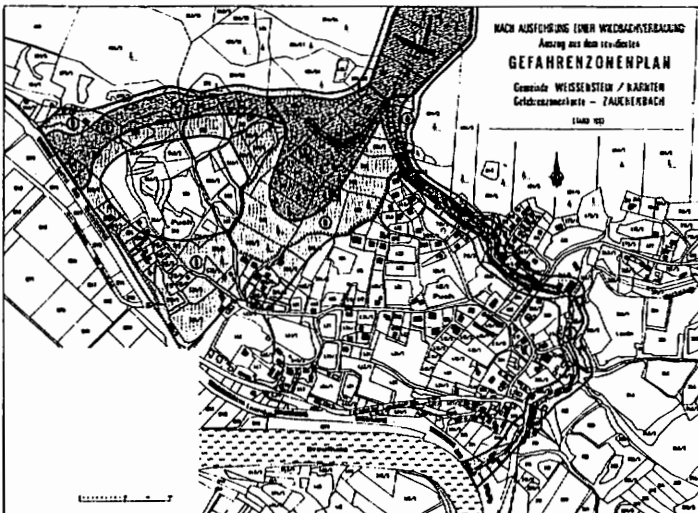
自治体：ヴァイセンシュタイン
ケルンテン州

危険区域図—ツァウヒェンバッハ溪流
1978年の現況

- ① 赤色区域
居住不可能区域
- ② 黄色区域
居住した際被害を受ける可能性のある区域

- 青色留保区域
- 特別な管理を要する森林
- 対策工施工のため必要な区域

- 1900年における状況
- 1900-1950における保全対象物の増加
- 1950-1984における保全対象物の増加



砂防工事施工後の危険区域図

自治体：ヴァイセンシュタイン
ケルンテン州

危険区域図—ツァウヒェンバッハ溪流
1983年の現況

- ① 赤色区域
居住不可能区域
- ② 黄色区域
居住した際被害を受ける可能性のある区域

- 青色留保区域
- 特別な管理を要する森林
- 対策工事

- 1900年における状況
- 1900-1950における保全対象物の増加
- 1950-1984における保全対象物の増加

図-1 危険区域図の実例

Ⅲ 危険区域設定手法に関する国際ワークショップ

1. ワークショップ概要

1998年6月15日から18日にかけてザルツブルク州南部のラウリスで、オーストリア農林省ザルツブルク砂防及び雪崩防止工事局の後援の下、IUFROのS8.04自然災害セッションの主催で土石流災害危険区域設定手法に関するワークショップが開かれた。この会議に日本から丸井英明（新潟大学）、木村正信（岐阜大学）、海堀正博（広島大学）の3名が参加し、討論に加わった（なお、九州大学の太田寛教授は初日のみ参加）。日本以外の国からの参加者数は、開催国のオーストリア10名、ドイツ5名、台湾3名、イタリア、スロベニア各2名、トルコ1名の合計26名であった。ここでは、ワークショップの概要と討論における主要な論点などを簡単にまとめることにする。

2. ワークショップ・プログラム

セッションAおよびB：

初日の午後と翌日の午前にかけて、まず危険区域図に関する全般的な説明があり、次いでオーストリアの方法による土石流危険区域設定の方法・手順や危険度評価基準、並びにラウリスのモデル流域における危険区域図作製作業の基礎となる諸データ等に関する説明がなされた。

セッションC：

説明終了後、モデル流域における危険土砂量算定のため、対象流域の中・上流部の調査を行った。

セッションD：

三日目の午前及び午後3時まで、危険区域図作製に直結する、流域の下流部の扇状地地域の調査を行った。

セッションE：

流域現地調査終了後、午後4時～6時30分にかけて、モデル流域における危険区域図作成結果の発表と質疑応答並びに討論を行った。

セッションF：

四日目の午前、隣接する他の2つの流域で透過型ダム工の現場視察を行った。

3. オーストリア方式による危険区域設定手法

初日午後に、危険区域図の行政的意義や位置付け等に関する全般的な説明が行われた。引き続き翌日の午前に、オーストリアの方法による土石流危険区域設定手法・手順や危険度評価基準に関する説明がなされた。次に、ラウリス近郊のモデル流域に設定されたアインエードバッハ（Einodbach）流域での危険区域図作製の基礎となる流域諸元や流量等の諸データが説明された。この段階で日本や台湾の参加者から、危険区域設定手法と危険度評価基準に関し、特にそれらの学術的根拠について質問がくり返されたが、オーストリア側からの回答は一般論に終始し、納得のいく説明は得られなかった。

主要な論点は、危険区域図の作製に際して、赤色地域、黄色地域として区分表示される危険度評価のそれぞれの基準値に関するものであった。危険度評価基準は表-1に示すものである。オーストリアでは危険区域設定作業に際して150年確率の降雨に対応する危険度を想定している。しかしながら、150年確率降雨に対するイベントを扱うときに、以下の諸点について明確でなかった。

Criteria for mapping of flood-and debrisflow disasters (洪水並びに土石流災害に対する危険度評価基準)
(WR=Torrent Red, WG=Torrent Yellow)

Criteria	Hazard Zone	Design event 150 year return period	Frequent event 10 year return period
1) stagnant water	WR	water depth $\geq 1.5\text{m}$	border line HQ10 $> 50\text{cm}$, HQ1 $> 20\text{cm}$
	WG	water depth $\leq 1.5\text{m}$	border line HQ10 $< 50\text{cm}$, HQ1 $< 20\text{cm}$
2) running water	WR	height of energy line $\geq 1.5\text{m}$	HQ10:height of energy line $\geq 0.25\text{m}$
	WG	height of energy line $\leq 1.5\text{m}$	HQ10:height of energy line $< 0.25\text{m}$
3) erosion (rill-erosion)	WR	depth $> 1.5\text{m}$	rill erosion possible
	WG	depth $< 1.5\text{m}$	runoff without rill erosion
4) bedload deposit	WR	height of deposit $> 0.7\text{m}$	bedload deposit possible
	WG	height of deposit $< 0.7\text{m}$	no bedload deposit
5) Bank collapse due to depth erosion & undercut	WR	upperedge of the cross section & slope	_____
	WG	safety terrain	
6) Debris flow & Soil creeping	WR	boarder of debris flow deposit	_____
	WG		
7) Regressing erosion	WR	possible size	no assessment
	WG	take notice of 3) & 5)	

remarks:

- 1): Bogs, small lakes, small troughs, wells, pools & ponds are not represented
2): Foundation for the broad of the safety strip for the individual case

Mapping of avalanche-events (雪崩災害に対する危険度評価基準)

(LR=avalanche red, LG=avalanche yellow)

Criteria	Hazard Zone	Design event	Frequent event
1) pressure (p)	LR	$P > 25 \text{ kN/m}^2$	$P > 3 \text{ kN/m}^2$
	LG	$1 < p < 25 \text{ kN/m}^2$	$1 < p < 3 \text{ kN/m}^2$
2) heaviness of snow deposit (T)	LR	$T > 1.5\text{m}$	$T > 0.5$
	LG	$0.2 < T < 1.5\text{m}$	$0 < T < 0.5$

表一 危険度評価基準

- ①洪水水深やリル侵食深に関して1.5mを境界値とし、それ以上では赤色、それ以下では黄色と判定する根拠は何か、
- ②流水に関してエネルギーラインの高さ1.5mを境界値とし、それ以上では赤色、それ以下では黄色と判定する根拠は何か、
- ③ベッドロードの堆積深に関して0.7mを境界値とし、それ以上では赤色、それ以下では黄色と判定する根拠は何か、
- ④溪岸崩壊、土石流、ソイルクリープ、並びに後退侵食の発生し得る範囲、あるいは土石流堆積物が堆積する範囲を赤色とし、それ以外の範囲を黄色とする根拠は何か。

4. アインエードバッハ流域の現地調査

モデル流域における現地調査に際し、まず標高1,690m地点まで到達し、そこからアインエードバッハの本流に沿って主に右岸側を下りながら調査した。流域地形概要を図-2に示す。数人が1グループとなり全部で4グループに分かれ、オーストリア側から2名程度の専門家と合同で、グループ単位で独自の判断のもとに調査を実施した。

調査の主要目的は、溪岸および溪流内の不安定土砂量の算定である。ただし、潜在的な不安定土砂の総量を対象とするのではなく、150年確率の降雨に伴う流出土砂量の推定が試みられた。溪流に沿って随所に地すべり性の移動土塊と推測される階段状の地形が確認され、それらを流出可能土砂の生産源として算定に加えるべきかどうかについて、途中何度かオーストリア側の関係者と議論を行った。基本的にこれらは考慮しないという考え方であった。

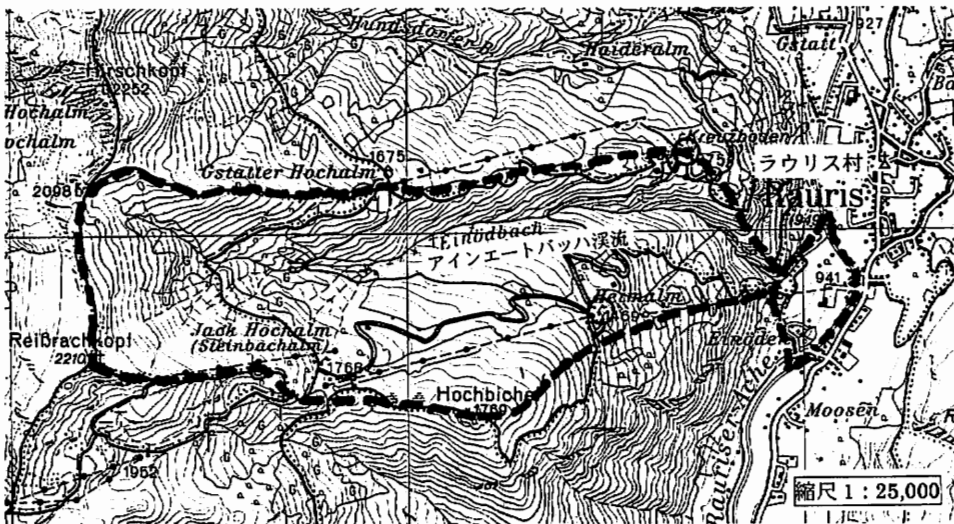


図-2 モデル流域地形概要



写真-1 Einöbachtal流域概況 (中流域から上流域を臨む)

途中の斜面には流域最上流部（標高約2,200m）に見られる残雪からの融雪水が多量に流下していると考えられ、表土の含水量が極めて多い状況であった。なお、流域の地質は上流部にモレーン堆積物が存在する他は、調査範囲のほとんどが風化の進んだ泥質片岩、あるいは黒色千枚岩、石灰岩で構成されている。また、斜面に多量に表流水が確認される状況から、地表面直下に風化物としての粘土質土壌が分布し、その透水係数はかなり低いことが推測された。

各グループとも調査の結果を集計し、扇状地入り口までの流出土砂量を推定した。日本チームの推定値は37,300 m^3 となった。他のグループの推定値も、いずれも35,000～40,000 m^3 の範囲で、値のばらつきがかなり狭い範囲に収まる結果を得たことは興味深い。

次いで、2～3名ずつのグループに分かれて（日本人3名と台湾人3名についてはそれぞれ1グループずつになった）、氾濫域となる扇状地を詳細に踏査し、扇面の地形的特徴や地上建造物の状況、谷の方向との関係などを調べた。日本グループは既設の導流堤や溪流断面の大きさ、扇状地の微地形や地上構造物に注目して調査を進め、最も危険度の高い部分を選び出す作業に注力した。

5. 危険区域図作成結果に関する討論結果と問題点

各グループが作成した危険区域図を提示し、意見交換を行った。提示された結果を比較すると、日本グループが最も絞り込んだ赤色域を設定したのに対して、日本以外の4グループの危険区域図では、扇状地のほとんどすべての区域を赤色域にしていた。調査範囲の全てが赤色域で占められるゾーニングに果たして意味があるのかどうか、大いに疑問であるので、特にこの点に関して集中的に議論を行った。

日本グループは、赤色域を最も可能性の高いと判断される土石流氾濫域に絞り、黄色域については結果的に扇状地の全ての部分をカバーするような区分を行った。扇状地微地形を細かく観察し、相対的な危険度の差異を明瞭に表示することの意義を強調したが、他のグループの見解とは相容れず、議論は平行線をたどった状態で終了した。

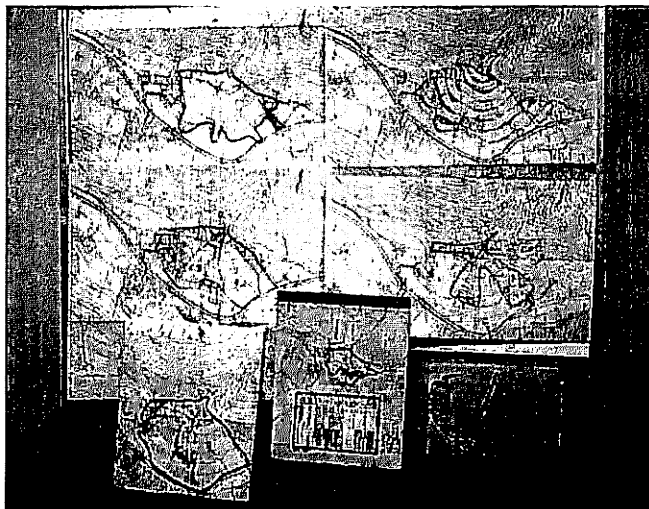
扇状地地域を主体とした保全対象地域を対象として作製された危険区域図をどのように実用に供す



写真－2 ワークショップ討論状況

るかは極めて重要な問題点である。オーストリアでは1975年に改正された森林法のなかで、危険区域図の設定が義務づけられ、法的な効力を伴ったものとして、住民に公示されている。危険区域図に表示された赤色域では住居の建築が法的に禁止され、黄色域では一定の防災処置が義務づけられて、条件付きで住居の建築が許可されている。さらに、地域の開発計画の策定に際しても危険区域図の作製が前提とされている。一方、わが国では危険渓流を表示した地図は公表されているものの、危険の及ぶ範囲まで表示した危険区域図は、一部の研究目的などでの場合を除いて、ほとんどの土石流危険渓流に関して作製されておらず、また公表される段階にないのが現状である。危険度区域設定手法に関する技術的な研究はコンピューター・シミュレーション技術の発達とともに相当程度に進んでいるといえよう。危険区域図の適用範囲に関しては、オーストリアの場合とは異なり、発生頻度の極めて低い現象を対象とすることは少ないと思われる。

今回のワークショップで見聞した、オーストリア方式の危険区域図作製方法では、最も起こり得る可能性の高い現象に対してゾーニングするだけにとどまらず、発生の可能性はあるものの、めったに生じないと思われる現象も含めて、それら全ての現象に起因する危険に対してゾーニングしたトータルの結果を危険区域図に反映させていると考えられる。その結果、扇状地のほとんどの範囲が赤色域となる。そこで発生のある可能性があると想定されている現象は、例えば導流堤が破壊されたり、大きな岩塊が渓流の途中を閉塞して流れが変わったり、表面流によって扇状地が侵食されて微地形が大きく変化してしまったり、土石流の流速が非常に高速（例えば秒速20m程度）になる等の現象である。生じ得る可能性のある現象の発生頻度に順位をつけず、全て取り込むことになるため、中・上流部の現地調査から得られた流出上砂量の推定値と、赤色域の設定との関連性が稀薄である。この点に関して繰り返し質問を行ったが、納得のできる説明は得られなかった。今後、機会を捉えて論議していく必要がある。



写真－3 各グループによる危険区域図作成結果

(上部4枚の大判地図の内、右下の1枚が日本グループによるものである。)

Ⅳ お わ り に

従来、オーストリアの危険区域図並びに危険区域設定手法に関しては、主として文献資料に基づく情報として認識されていたわけであるが、今回の国際ワークショップへの参加によって、危険度区域設定手法・手順や危険度評価の基準に関して詳細な意見交換を行うことができた。

オーストリアは自国の危険区域設定手法に相当の自負を持っていることが随所にうかがわれた。オーストリアでは危険区域図の作製結果に法律上の効力を持たせて適用することが既に義務づけられており、社会的にもこのような制度が定着している歴史を背景とするためと推測される。周辺諸国からの参加者も、この制度を基本的にそのまま受け入れようとする考え方で、会議に臨んでいるように思われた。

我が国では、危険区域設定手法に関して技術面での進展はめざましい反面、その結果が災害発生に先だって十分に活用される可能性はなお不透明である。危険区域図が社会的にまだ十分受け入れられていない現状がある。災害防止のために国民一人一人の果たすべき役割について論議を深め、一般の人々の関心や理解を深めるような普及・啓蒙活動がこれまで以上に必要であろう。日本の危険区域設定手法に関する技術や研究者の業績が、単に研究的な特殊な事例のみに適合するのではなく、また、机上の空論に留まることなく、実用に供しうるものに発展させていくことが強く望まれる。

参 考 文 献

- 海堀正博・丸井英明・木村正信(1998):オーストリア国ザルツブルク州における危険区域図に関するワークショップ, 砂防学会誌, 51(3), pp.81-84.
Bundesgesetzblatt 440(1975): Forstgesetz 1975.
Bundesgesetzblatt 436(1976): Verordnung über die Gefahrenzonenpläne.
Österreichische Raumordnungskonferenz(1986): Raumordnung und Naturgefahren, Schriftenreihe Nr. 50.
Alfred HUNA (1984): Die volkswirtschaftlichen Aspekte der Gefahrenzonenplanung, Allgemeine Forstzeitung, 95. Jahrgang, Folge 6, pp.159-162.

(参 考 資 料)

ワークショップの主催者側の総括である、オーストリア農林省ザルツブルク砂防及び雪崩防止工事局長ヴォルフガング・ケットウル氏のコメントの抄訳を添付する。

ワークショップ総括

オーストリア農林省ザルツブルク砂防及び雪崩防止工事局長
ヴォルフガング・ケットウル(Wolfgang KETTL)

1. 作業グループ調査結果

1. 1. 危険土砂量

危険度調査の結果、推定危険土砂量については驚くほど似かよった値が得られた。全てのグループの推定値が3,000m³の幅の差異、推定総土砂量の10%以下の範囲に収まった。このことは適用された方法的確さを証明しているといえる。

1. 2. 危険区域の境界設定

条件をそろえるために、扇頂部での供給土砂量を40,000m³、最大洪水流量を27m³/secと設定した。その結果、一つのグループを除いて非常に似かよった危険区域図が得られた。2時間に及ぶ徹底した議論の末、見解の相違点を相互に了解することができた。

流域の危険区域図作成に際しては、個々の溪流の危険要因に関する定量的・定性的評価が常に必要である。したがって、危険区域図作成作業は、溪流の特性に対応した特有の現象を評価する一連の計画作業から構成される。危険区域図作成に関する知見が機能的な防災工事計画の基礎となることは既に指摘している。

2. モデル流域における評価

2. 1. 流域現況

[上流域]：樹木が生育しておらず、雪崩が流下する区域で、盆地地形をなす。基岩が諸処に露出している。流出ピークが高い。溪床は部分的に基岩で構成されるが、流木や岩塊による閉塞箇所が多く、非常に不安定で、溪岸斜面は支持を欠いている。

[中流域]：氷河期の堆積物が深層まで分布して谷を埋塞している。右岸側では面的な移動が進行中で、湿潤状態にあり、溪床に向かって側方からの圧力が作用している。流木による閉塞などで溪床幅が狭くなり、所々溪床の上昇が生じている。侵食域が連続し、溪床材料は主として細粒物質からなり、中には粗粒礫も含まれている。林道から扇頂部までの間は兩岸とも基岩面が浅く、部分的に風化物質が露岩の表面に滞留している。

[下流域]：扇状地上の流路は左岸の斜面側に曲げられている。曲流部分の右岸側には導流堤が存在し、部分的に破壊された床固工が見られる。

[扇状地]：流路の水衝方向に存在する土石流堆積が、主要な土石流流下方向を示している。

2. 2. アインエードバッハでの計画対象洪水の想定シナリオ

2. 2. 1. 山間地流域ではピーク流量により溪床のある箇所での閉塞が破壊されると、連鎖的に閉塞箇所が破壊され、基岩露出区間では流路内に存在する閉塞物質が完全に洗い流される。その結果、流木や巨礫などからなる土石流フロントが形成される。

2. 2. 2. 不安定な土砂が基岩の上に堆積している中流域では、河床や右岸側方斜面で大規模な侵食が生じ、土石流材料のボリュームが急速に増大する。洪水中に湿潤状態の斜面下部が侵食を受け崩落を生じ、土砂の取り込みで土石流は発達し、段波状に押し出してくる。

2. 2. 3. 林道から扇頂部の間に存在する薄層の風化物質が面的に滑落し、河道閉塞とその破壊が繰り返される。大量の流木が含まれ、扇状地の近傍であるため、特に危険である。

2. 2. 4. 扇頂部では土石流が右岸側の導流堤を乗り越えて流下する。

2. 3. 災害経過から導かれる結論：防災工事計画

2. 3. 1. 上流域には洪水貯留施設を施工し得る可能性はない。したがって、岩盤露出区間の下流端、すなわち不安定土砂堆積区間の上流側に、土石流阻止工（Murbrecher）を設置し、土石流フロントを減勢する必要がある。これによって土石流となって流下する流れを多少軽減できるが、完全に除去できるわけではない。

2. 3. 2. それゆえ、下流側の侵食域を安定化しなければならない。溪床の上昇によってV字型の

溪流断面を拡幅し、山腹斜面脚部を保護する必要がある。山脚固定床固工群（Konsolidierungswerke）の天端部分には、土石流の速度を低下させる目的で土石流材料の量的篩分け機能を持つ施設を設置することができる。

2. 3. 3. 滑動中の斜面を安定化させるためには、排水工と樹木植栽工法を併用すべきである。

2. 3. 4. 峡谷部での風化物質の滑落を防ぐ手段は無い。それゆえ、これらの特に危険な有害土砂を除去するため、土石流阻止機能を持つ篩分けダム（Sortierwerk）を扇頂部にあらかじめ設置しておく必要がある。この施設はもっぱら未施工区間から流出する粗粒礫をせき止めることによって土石流規模を減少させ、その結果現在の流路断面での流下が可能となるようにするものである。

2. 3. 5. 扇状地上の流路区間では、ごく小規模な補修を除いて施工しない。

2. 4. 評 価

以上の防災工事計画は、機能別に定義された個々の施設からなるが、それらが協調的に作用することによって初めて完全な防災効果が発揮される。

例 1：土石流阻止工（Murbrecher）を施工しなかった場合、床固工群（Konsolidierungswerke）は極めて危険な状態となる。これまでも土石流が流下して階段状床固工が破壊された事例はたくさん存在する。

例 2：侵食域で床固工群（Konsolidierungswerke）を施工しなかった場合、この区間で集積した土砂の大部分が土石流形態で扇状地まで到達する。扇頂部や谷の出口周辺では、地形的な制約から、危険土砂の全量を捕捉できるような施設を設置することができない。

例 3：扇頂部に篩分けダム（Sortierwerk）を施工しなかった場合、未施工の溪流区間で生産された土砂の小規模な流出によって下流域での閉塞や土石流の氾濫が生じる。

以上の例から、個々の要素がどのように一つのシステムに、すなわち一連の機能として連結されるかが理解されよう。

Dipl.-Ing. WOLFGANG KETTL

Leiter des Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, Salzburg