

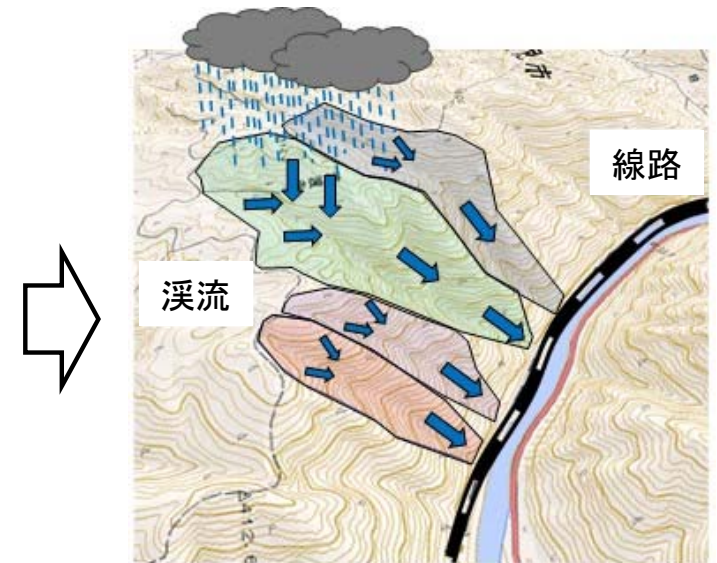
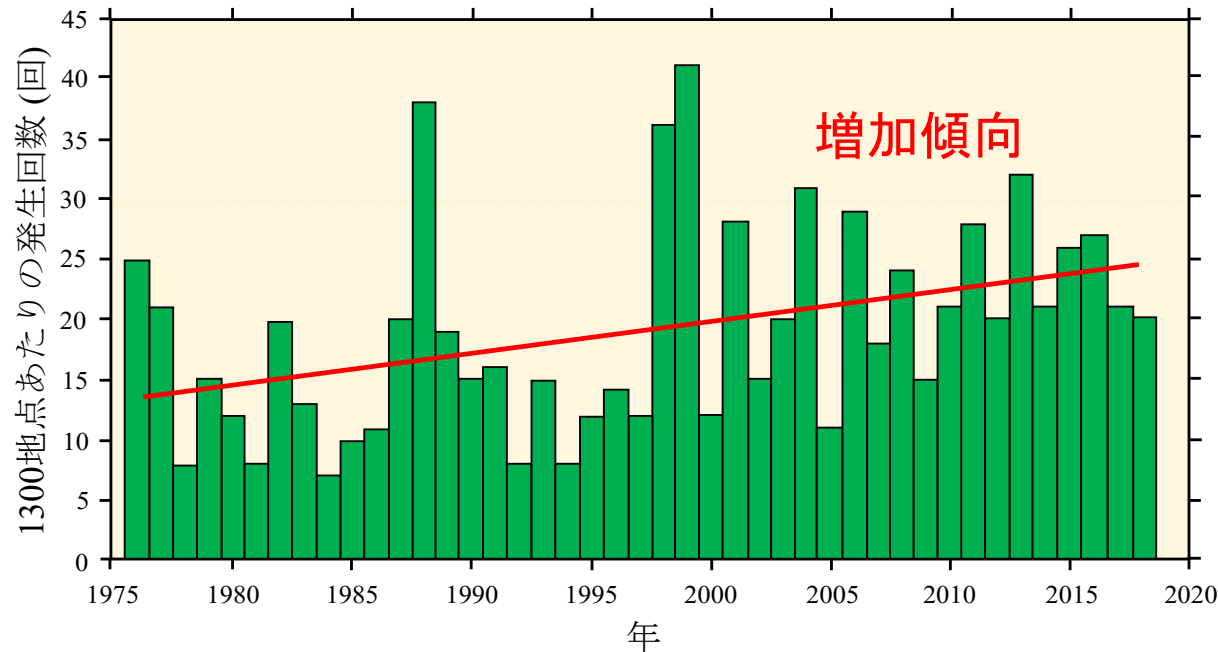
2022年度 土木学会関西支部技術賞候補発表会

列車運行の安全確保のための溪流危険度評価に関する技術開発



西日本旅客鉄道株式会社	森 泰樹
	杉山 友康
立命館大学	里深 好文
株式会社レールテック	藤井 昌隆

降雨形態の変化に伴う土砂流入・土石流の増加

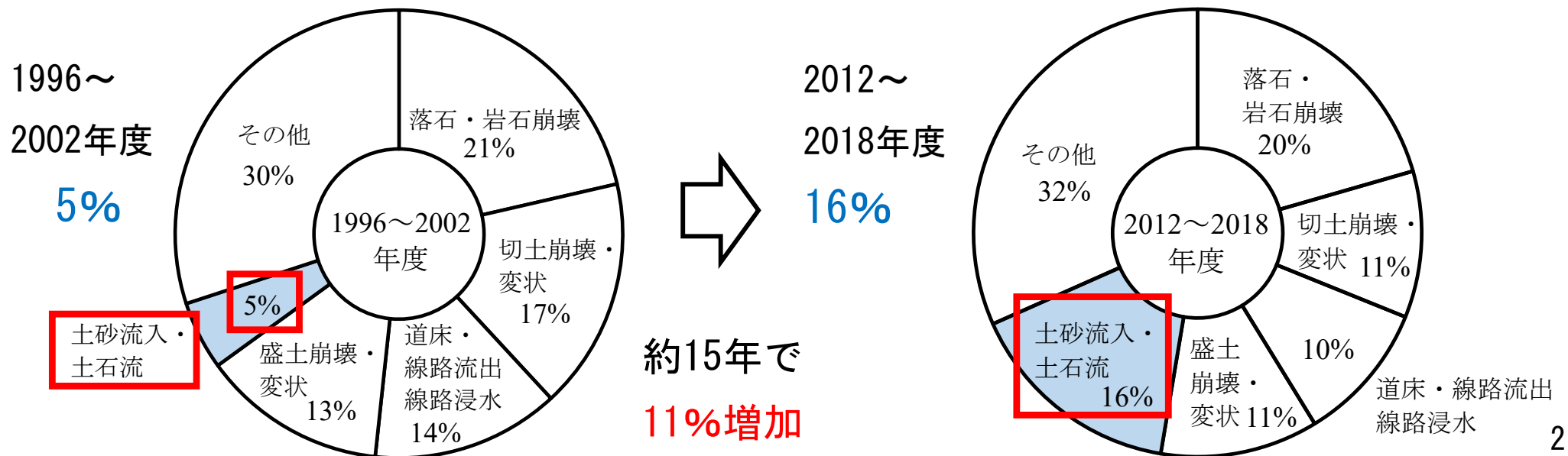


土砂流入・土石流の増加

1時間雨量80mm/h以上の年間発生回数の経年変化（1976～2018年）

引用文献）気象庁：気候変動監視レポート2018

【西日本旅客鉄道株式会社（以下、JR西日本という）における災害の割合】



線路を押し流すような大規模な土砂流入・土石流は少ない。

土砂等が線路の一部を埋没させる程度の小規模な土砂流入・土石流が多い。



小規模な土砂流入・土石流であっても重大な事故が発生する危険度は高い。 ⇒ 小規模な土砂流入・土石流に着目

※ 以下、小規模な土砂流入・土石流を「土砂流入」という。

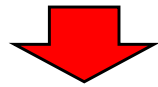
技術開発を行うきっかけとなった災害の概要

発生日：2016年7月14日

発生場所：広島県三次市

芸備線 西三次駅～志和地駅間

土砂流入に伴う列車脱線事故の発生



わずかな土砂等の流入
であっても重大な事故が
発生する可能性がある。

(3) 成し遂げた技術 (③使命感の程度)

溪床堆積物の多量の分布



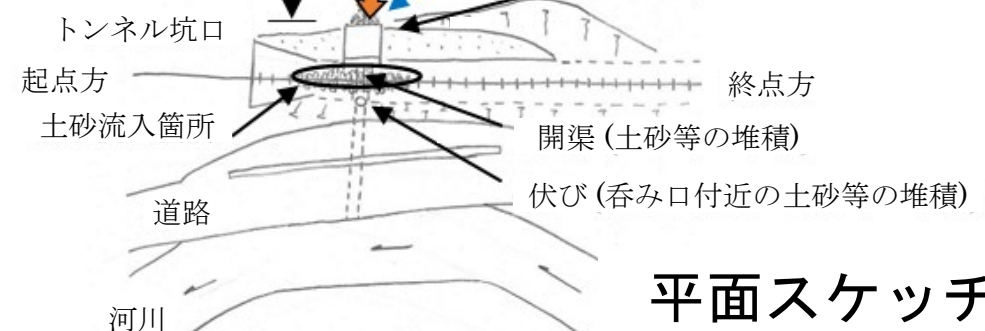
溪床堆積物が特に集中している範囲
(0.1～0.3m程度の大きさのことが多い)
(延長約50m, 溪床勾配約25°)



縦下水の閉塞



縦下水の呑み口に土砂等が堆積



平面スケッチ



鉄道の安全・安定輸送の実現のために、いち早く
評価手法を開発したいという強い使命感があった。

鉄道における土工等設備の検査・調査（斜面防災カルテ）

支社:		線区:		様式-2		
防災管理マップ	箇所番号:	線名:	駅間:	キロ程:	延長m	調査日:
位置情報, 調査日等		平面スケッチ		断面スケッチ		
区間概要 (地形, 地質等)		検査時の着眼点		評価結果		
調査結果 (評価の理由等)		想定災害形態		特記事項 (災害履歴等)		

日常の検査に加えて、斜面防災カルテ（以下、カルテという）を整備し、個々の土工等設備だけでなく、地形や地質、立地条件等も含めた斜面全体の状態を把握している。

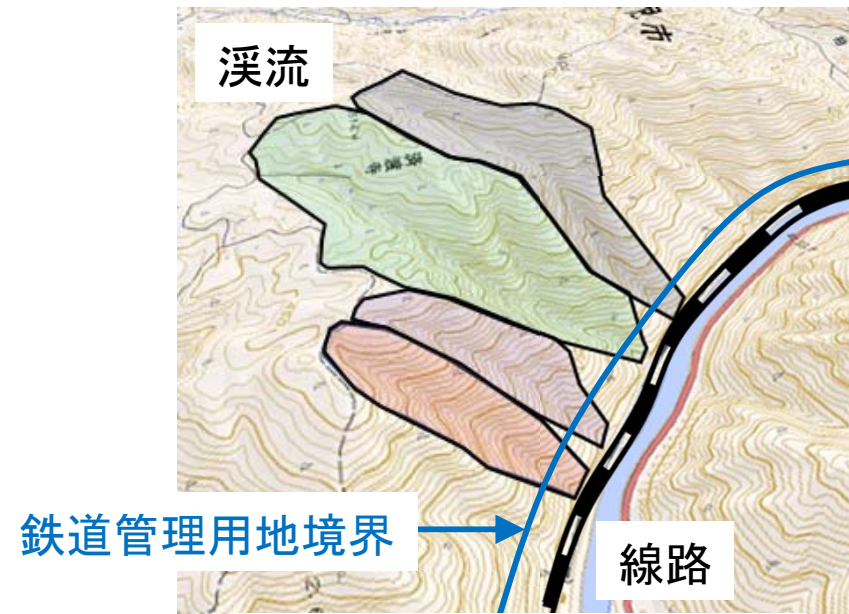
溪流の危険度を評価する上での課題

[課題1]

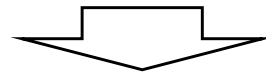
線路沿線には、膨大な数の溪流が存在し、それらの流域は鉄道管理用地外におよぶ場合もあるため、**危険度評価には多くの時間や労力を要する**。

[課題2]

溪流には、地形、地質、溪床や溪岸斜面の荒廃状態等の様々な要因が混在するため、**調査者の危険度判断能力による評価のバラツキが生じる可能性がある**。



膨大な数・広域分布



目的：効率的かつ効果的な溪流の危険度評価手法の提案

線路近傍の溪流の状態や、線路と溪流の交差部の構造等の簡易な調査により、現場技術者でも効率的かつ効果的に溪流の危険度を評価できる手法を開発する。

土工等設備（溪流）に対する危険度評価

JR西日本
(カルテ作成・更新時)

溪流からの土砂等流出の危険度評価

高い ←————→ 低い

列車運行
への影響度
評価

大きい
↑
小さい

		土工等設備の変状および不安定性の評価 (溪流からの土砂等流出の危険度評価)				
		aa	a	b	c	s
列車運行への 影響度評価	1	AA	A	B	C	S
	2	A	B	B	C	S
	3	B	B	C	C	S

溪流の
危険度
評価

[土工等設備の変状および不安定性 (溪流からの土砂等流出の危険度)評価の区分]

aa：きわめて不安定，a：不安定，b：やや不安定，c(s)：安定

[対策工等の効果を考慮した列車運行への影響度評価の区分]

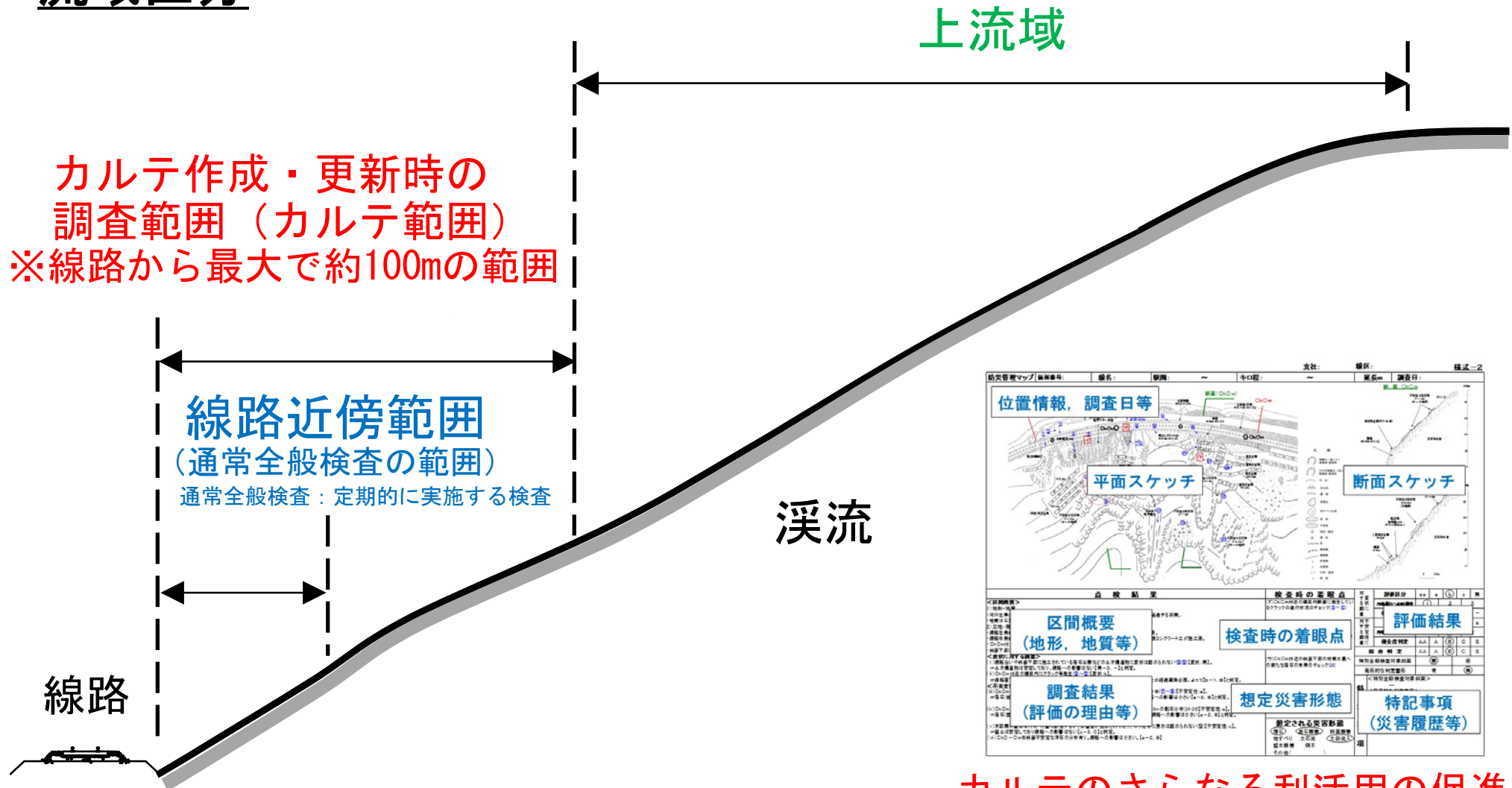
1：影響大，2：影響中，3：影響小

【溪流の危険度評価】

溪流からの土砂等流出の危険度と，土砂等が流出した場合の列車運行への影響度との組み合わせにより行う。

鉄道の検査や調査の体系に 合わせた溪流評価のための 流域区分

(1) 新しい技術 (①独創性 ②独自性)



カルテのさらなる利活用の促進

溪流の流域を鉄道の検査や調査の体系に合わせて
3つに区分し, 危険度を評価する.

溪流からの土砂等流出の危険度評価 (線路近傍範囲) の例

(1) 新しい技術 (②独自性)

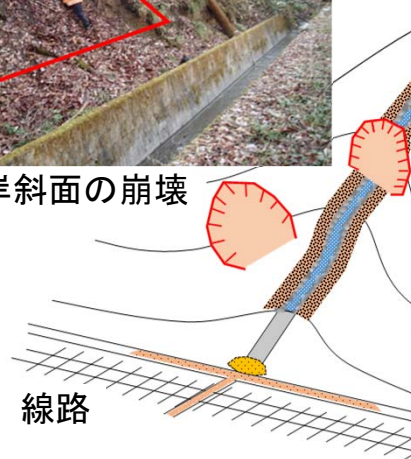
(2) 使える技術 (①汎用性)

通常全般検査は、現場技術者が線路付近を移動しながら行う検査であるため比較的容易に使用できるものが望ましい。

⇒事例写真やビジュアルを利用して評価する手法



溪岸斜面の崩壊



線路

aランクの例

溪岸斜面の崩壊



溪床の中心

溪岸斜面の崩壊
(溪床も一部含む)

- ・ 不安定な溪床堆積物の分布
- ・ 著しい荒廃
- ・ 崩壊土砂等による閉塞
- ・ 線路付近への土砂等流下

bランクの例



不安定な状態の程度が小さい



cランクの例

危険度が小さく問題とならない

採点表を開発するためのデータ整備 (カルテ範囲)

(1) 新しい技術 (2) 独自性

(3) 成し遂げた技術 (1) 努力度

数量化Ⅱ類解析⇒採点表（溪流からの土砂等流出の危険度）

JR西日本管内 1976～2016年度

災害溪流（52箇所）未災害溪流（49箇所）

【目的変数】土砂流入の発生の有無

【説明変数】地形，地質，環境および溪床や溪岸斜面の荒廃状態等のデータ

適用性の検討・調査結果の分析（43条件⇒13条件，カテゴリー分類）

条件		カテゴリー分類		
地形 地質	溪床の平均勾配 (度)	$\theta_r < 10^\circ$	$10^\circ \leq \theta_r < 25^\circ$	$25^\circ \leq \theta_r$
	溪岸斜面の平均勾配 (度)	$\theta_s < 40^\circ$	$40^\circ \leq \theta_s$	-
	流域面積 (km ²)	$S_b < 0.05$	$0.05 \leq S_b$	-
	溪流の横断形状	U型	V型	-
	地質	火成岩	堆積岩	変成岩
環境	流水の有無	なし	あり	-
	溪床の植生量	少ない,なし	多い,普通	-
荒廃	溪床堆積物の平均厚さ (m)	$H_s < 1.0$	$1.0 \leq H_s$	-
	溪床の平均侵食断面積 (m ²)	$S_r < 0.25$	$0.25 \leq S_r$	-
	溪床の崩壊の有無	なし	あり	-
	溪岸斜面の崩壊面積 (m ²)	$S_s < 100$	$100 \leq S_s$	-
列車運行 への 影響度	線路と溪床との高さ関係 (線路を基準とした溪床高さ)	低い	同じ	高い
	線路上流側平坦地の線路直角方向長さ (m)	$L < 10$	$10 \leq L$	-

- ・ 過去の災害記録等を参考にして基礎データの整備を進めた。
- ・ 全箇所を踏査し，データの統一化を図った。
- ・ 短期間で現地調査とデータ分析を行った。

溪流からの土砂等流出の危険度を評価する採点表の開発 (カルテ範囲)

(1) 新しい技術 (②独自性)

(2) 使える技術 (①汎用性 ②発展性)

(3) 成し遂げた技術 (②困難の克服度)

採点表

条件		カテゴリー分類	データ数	点数	点数の範囲 (最大値と最小値の差分)	順位
地形 地質	溪床の平均勾配 (度)	$\theta_r < 10^\circ$	15	-0.47	0.95	1
		$10^\circ \leq \theta_r < 25^\circ$	41	-0.09		
		$25^\circ \leq \theta_r$	22	0.48		
	溪岸斜面の平均勾配 (度)	$\theta_s < 40^\circ$	30	-0.35	0.57	2
		$40^\circ \leq \theta_s$	48	0.22		
	流域面積 (km ²)	$S_b < 0.05$	54	-0.12	0.39	7
		$0.05 \leq S_b$	24	0.27		
	地質	火成岩	50	0.10	0.40	6
		堆積岩	20	-0.12		
		変成岩	8	-0.30		
環境	溪床の植生量	少ない, なし	47	0.20	0.51	4
		多い, 普通	31	-0.31		
荒廃	溪床堆積物の平均厚さ (m)	$H_s < 1.0$	50	-0.05	0.14	8
		$1.0 \leq H_s$	28	0.09		
	溪床の平均侵食断面面積 (m ²)	$S_r < 0.25$	26	-0.36	0.54	3
		$0.25 \leq S_r$	52	0.18		
	溪岸斜面の崩壊面積 (m ²)	$S_s < 100$	42	-0.19	0.41	5
		$100 \leq S_s$	36	0.22		

8つの条件の点数の

合計値から溪流からの土砂等流出の危険度を評価する.

$$P = \sum P_i$$

$0.07 \leq P \Rightarrow a$ ランク

$-1.41 \leq P < 0.07 \Rightarrow b$ ランク

$P < -1.41 \Rightarrow c$ ランク

ここで,

P_i : 採点表による各条件の点数

P : 採点表により算出した判別点数

- ・ 数量化Ⅱ類解析の結果を重視しつつ, 現場技術者が活用することを意識して作成した.
- ・ データの蓄積により評価精度の向上も可能である.

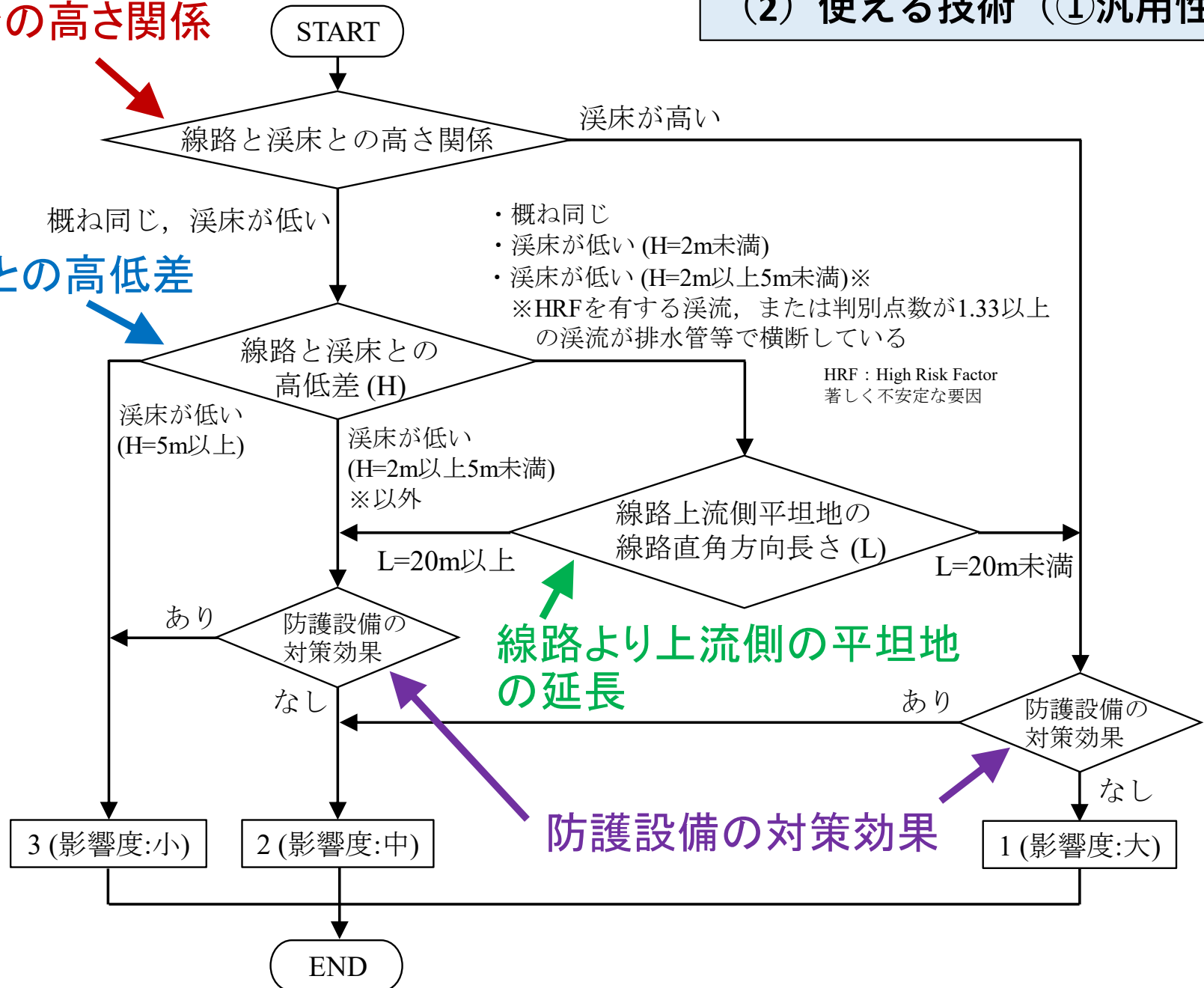
列車運行への影響度評価フロー

(1) 新しい技術 (②独自性)

(2) 使える技術 (①汎用性)

線路と溪床との高さ関係

線路と溪床との高低差



「3」 影響度:小 「2」 影響度:中

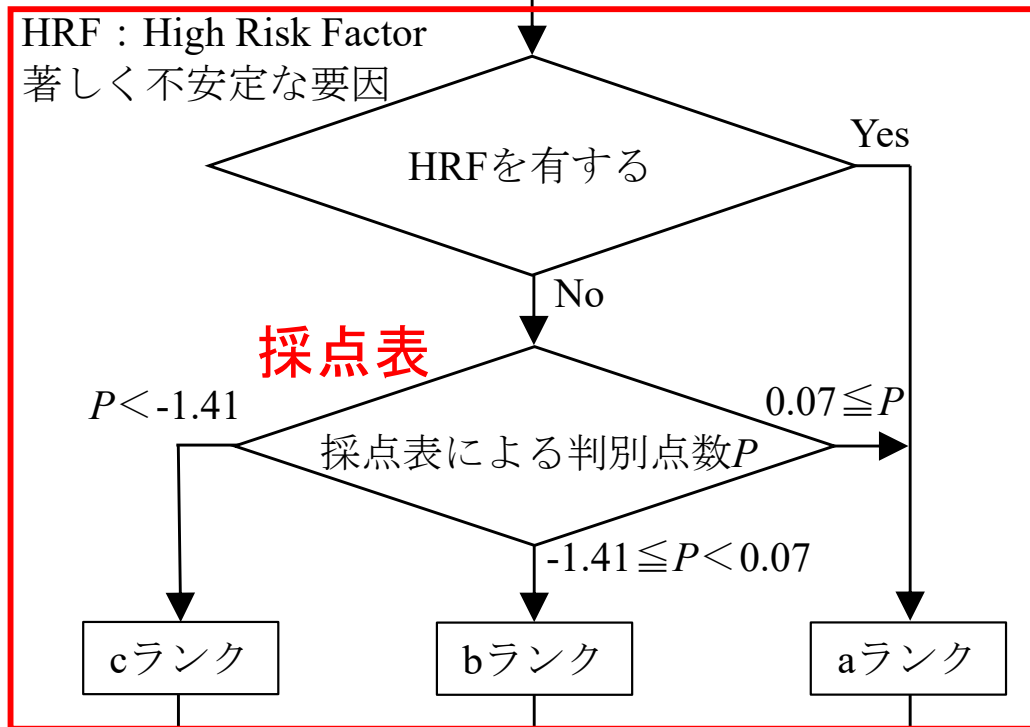
「1」 影響度:大

溪流の危険度評価フロー（カルテ範囲）

(1) 新しい技術 (②独自性)

(2) 使える技術 (①汎用性)

溪流からの
土砂等流出の
危険度評価



列車運行への
影響度評価

列車運行への影響度評価 (1, 2, 3)

1:影響大 2:影響中 3:影響小

溪流の危険度
評価

溪流の危険度評価 (A, B, Cランク)

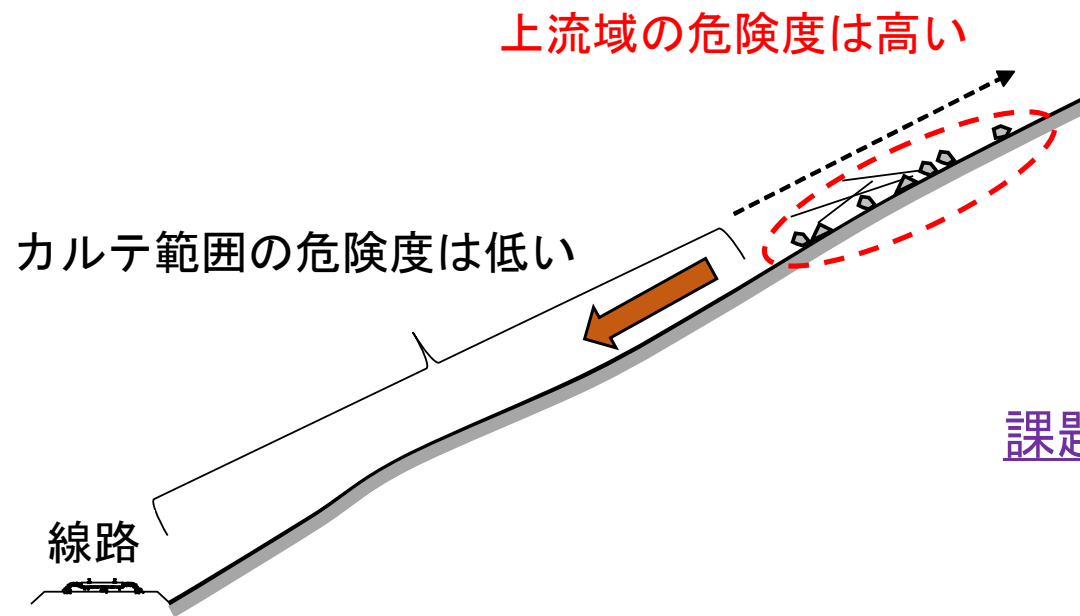
A:不安定 B:やや不安定 C:安定

END

※非常に危険な状態があるAA(aa)ランク，危険な状態が全くないS(s)ランクは別途評価する。

数値標高モデル（DEM）を活用した危険度評価の検討（上流域）

(1) 新しい技術 (2) 独自性 (3) 先駆性



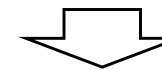
上流域の影響を受け、カルテ範囲の危険度が高まる。
⇒土砂流入の危険度が高まる。



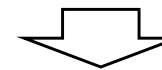
上流域の危険度の評価が必要

課題：広範囲の上流域を踏査することは困難

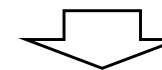
航空レーザ計測の技術の進展



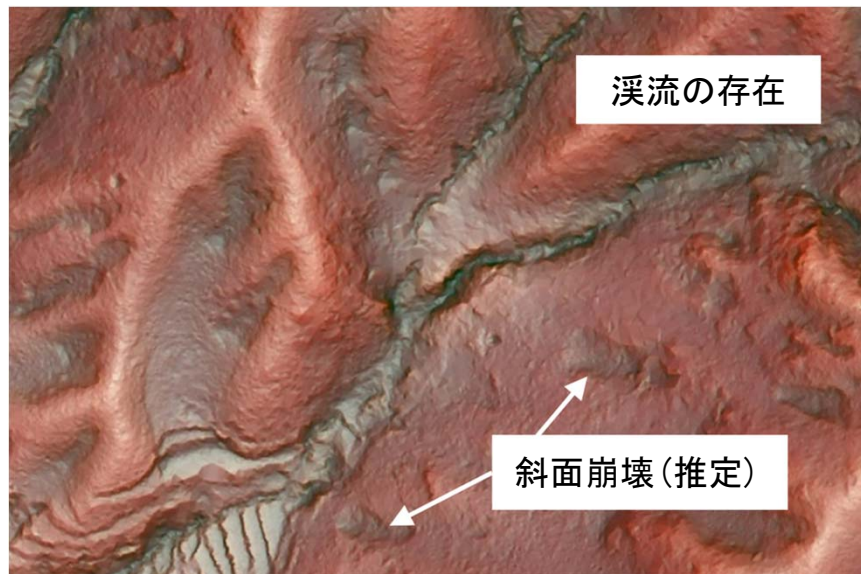
地表面や地物に対する高密度な3次元座標データを取得できるようになった。



全ての地物を取り除いた地表面のメッシュデータ
(数値標高モデル : Digital Elevation Model :
DEM) を活用



採点表 ⇒ DEM-採点表を作成



数値立体地図の例

DEM-採点表の開発 (上流域)

(1) 新しい技術 (②独自性 ③先駆性)

(2) 使える技術 (①汎用性 ②発展性 ③応用性)

(3) 成し遂げた技術 (②困難の克服度)

DEM-採点表

条件		カテゴリー分類	データ数	点数	点数の範囲 (最大値と最小値の差分)	順位
地形 地質	渓床の平均勾配 (度)	$\theta_r < 10^\circ$	15	-0.47	0.95	1
		$10^\circ \leq \theta_r < 25^\circ$	41	-0.09		
		$25^\circ \leq \theta_r$	22	0.48		
	渓岸斜面の平均勾配 (度)	$\theta_s < 40^\circ$	30	-0.35	0.57	2
		$40^\circ \leq \theta_s$	48	0.22		
	流域面積 (km ²)	$S_b < 0.05$	54	-0.12	0.39	7
		$0.05 \leq S_b$	24	0.27		
	地質	火成岩	50	0.10	0.40	6
		堆積岩	20	-0.12		
		変成岩	8	-0.30		
環境	渓床の植生量	少ない, なし	47	0.20	0.51	4
		多い, 普通	31	-0.31		
採点表の 条件から 変更 荒廃	渓床堆積物の最大厚さ (m)	$H_s < 1.0$	50	-0.05	0.14	8
		$1.0 \leq H_s$	28	0.09		
	渓床のガリ侵食の有無	なし	26	-0.36	0.54	3
		あり	52	0.18		
	渓岸斜面の崩壊面積 (m ²)	$S_s < 100$	42	-0.19	0.41	5
		$100 \leq S_s$	36	0.22		

評価基準は採点表と同じ

$$P_D = \sum P_{Di}$$

$0.07 \leq P_D$ のとき, aランク
 $-1.41 \leq P_D < 0.07$ のとき, bランク
 $P_D < -1.41$ のとき, cランク

P_{Di} : DEM-採点表による各条件の点数
 P_D : DEM-採点表により算出した判別
 点数

- ・ 数値標高モデルの活用方法を繰り返して検討した.
- ・ 数値標高モデルの精度向上に合わせてDEM-採点表の精度も向上できる.
- ・ 斜面や岩塊等の危険度評価手法の開発にも応用できる.

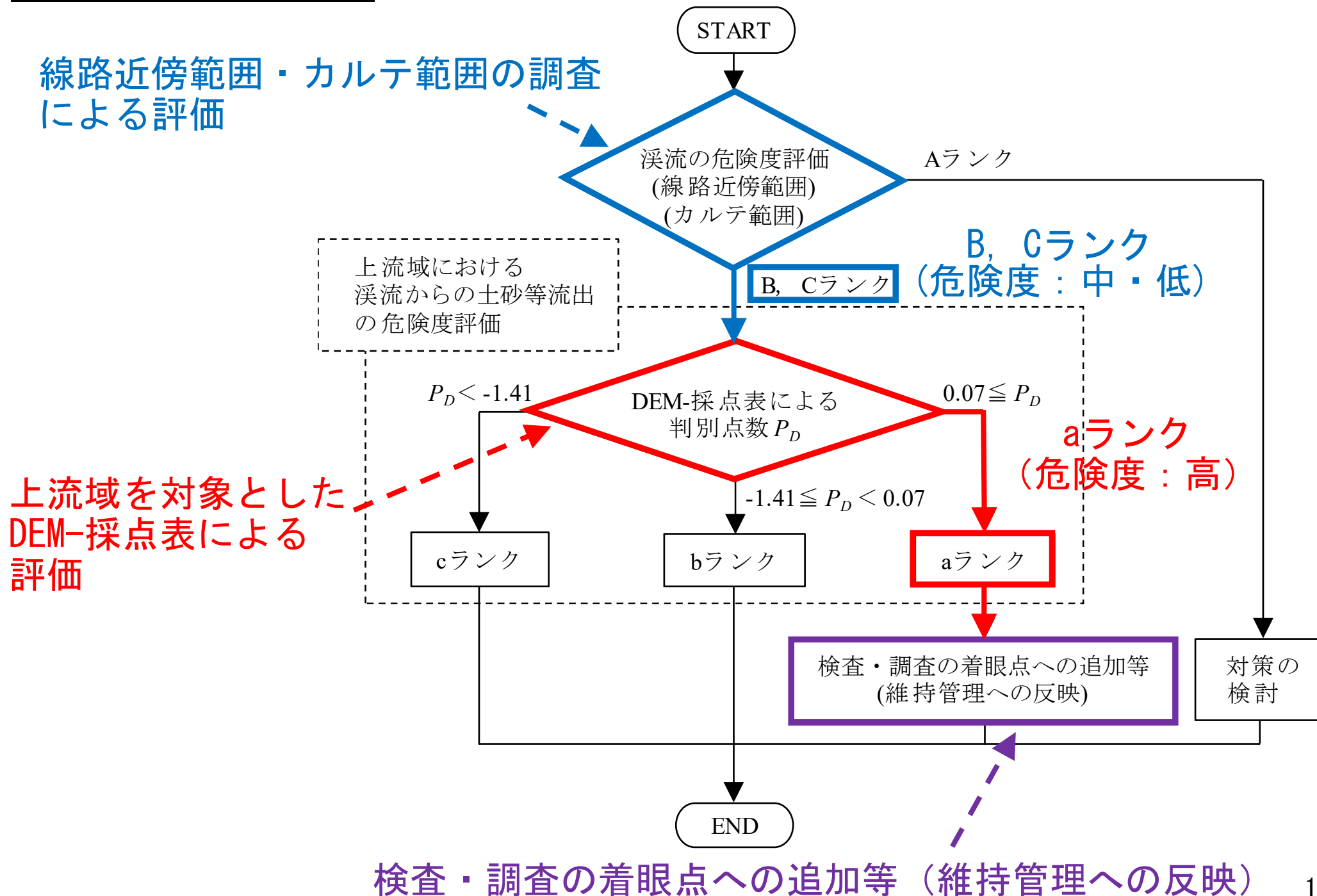
【斜面調査の専門技術者の評価との比較】

DEM-採点表の方が安全側の評価をしたものも含めると, 一致した割合は90%

⇒ DEM-採点表による評価の精度は, 比較的高い.

上流域における溪流からの土砂等流出の危険度評価フロー

(1) 新しい技術 (2) 独自性



鉄道の安全・安定輸送の実現と 地域への貢献

(2) 使える技術 (①汎用性)

(4) 喜ばれる技術 (①地域への貢献度)

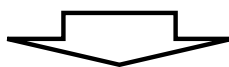
学識経験者を含む斜面防災委員会（委員長：沖村孝 神戸大学名誉教授）において本技術を検討し，JR西日本全社に展開すべきとの提案をいただいた。

＜JR西日本への技術展開＞

- ・ 2021年より新幹線に展開
- ・ 2022年より在来線に展開



- ・ 維持管理への技術展開
- ・ 斜面防災対策への大きな貢献
- ・ 市町村，道路，林野等への周知と連携



鉄道の安全・安定輸送の実現と地域への貢献



溪流の危険度評価のための現地調査

※ 本技術は，鉄道以外の分野（他交通機関や住宅等）においても適用できる。

技術開発を進めるにあたり，多くの方々に
多大なるご指導，ご協力をいただきました。
深く，感謝しております。

ご清聴ありがとうございました。