

3. 代表的な基準雨量設定手法の解説と手法の特徴

基準雨量の設定手法として、砂防部局で利用されることの多い以下の4手法をとりあげ、手法の解説ならびに特徴を示す。

- ① 指針案による手法 (A案)
- ② " (B案)
- ③ 矢野による手法 (矢野案)
- ④ 総合土砂災害対策検討会による手法 (提言案)

3.1. 各手法の経緯と関連性

各手法は、技術的発展の過程に沿って提案されたものであり、相互に関連する (図 3.1)。

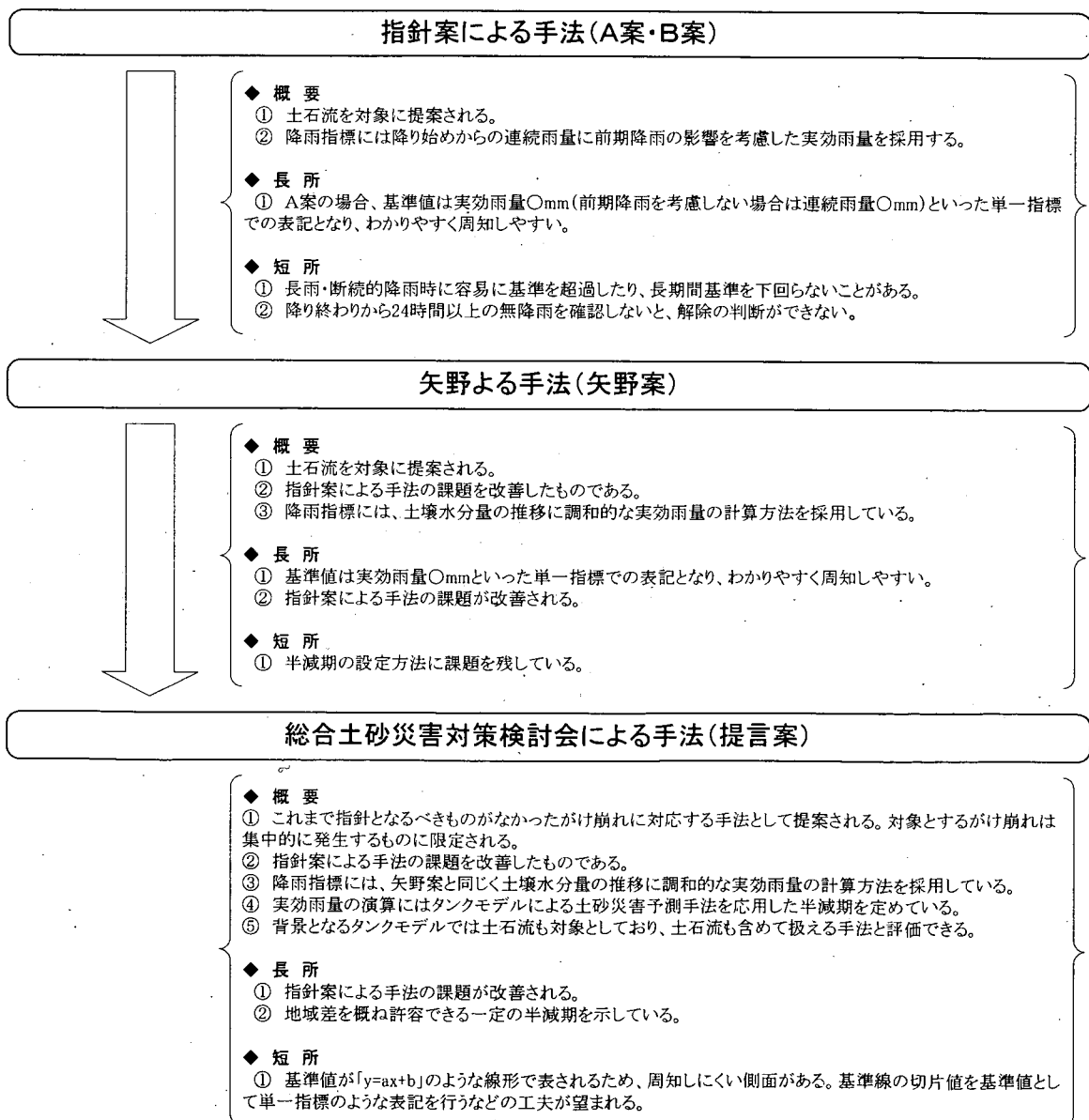


図 3.1 各手法の経緯と関連

「土石流災害に関する警報の発令と避難の指示のための降雨量設定指針(案),建設省,1984」によって示された手法(「指針案による手法(A案・B案)」と呼ぶ)は、土石流災害の実態に関する当時の知見から、降雨強度が大きくなるときは総雨量が少なくても土石流が発生すること、また降雨強度が小さくても総雨量が大きくなれば土石流が発生していることに着目し、降雨強度と総雨量に関する降雨指標を組合わせたものである。総雨量に関連する降雨指標には連続雨量に前期降雨の影響を考慮した実効雨量を採用している。降雨強度に関する指標には時間雨量を用いるA案と有効降雨強度を用いるB案の二つの手法が示され、A案による基準の設定が困難な場合、B案を利用することができるとしている。

A案の場合、検討過程では二つの降雨指標を用いるが、最終的な基準値は「実効雨量〇mm」といった単一指標での表記となり、わかりやすく地域防災計画への掲載など周知を促しやすい利点がある。前期降雨を考慮しなければ、連続雨量による表記となり、さらにわかりやすい指標となる。ここでの実効雨量は、降雨の推移に応じて増加の一途をたどる指標であり、少降雨が長期間続いたり、断続的に強さを増すような場合に容易に基準を超過したり、一端基準を超過すると長期間に渡って基準を下回ることがないなどの問題が指摘されている。

矢野(1990)²²⁾は指針案による手法の課題を改善した手法を示した(「矢野による手法(矢野案)」と呼ぶ)。矢野は時刻を追って減少係数を乗じる実効雨量の演算方法を採用し、土中水分量の推移に調和的な降雨指標とすることで、指針案による手法の課題を改善できている。しかしながら、地域の地形や地質などに応じた流出・貯留特性を表す半減期については、その設定方法を具体的に示していない。基準値は、A案と同様に単一指標での表記となるためわかりやすく周知しやすい利点がある。

がけ崩れに対する基準雨量設定手法の必要性から、1993年に建設省(現国土交通省)が主催した「総合土砂災害対策検討会」より一つの手法が提言された(「総合土砂災害対策検討会による手法(提言案)」と呼ぶ)。この手法は、演算が簡便で、土中水分量の推移に調和的な矢野(1990)²²⁾による実効雨量の演算方法を採用し、地表および地中の水分量を表す二種類の実効雨量によって基準雨量を設定するものである。二種類の実効雨量に用いる半減期は、花崗岩地帯において検討された鈴木ら(1979)⁹⁾によるタンクモデル貯留高の推移特性と類似するように定められ、半減期1.5時間(1段目タンクに相当)および半減期72時間(2・3段目タンクに相当)を採用している。半減期は浸透や貯留特性を表す定数であるため、地域ごとに定める必要も考えられるが、いくつかの地域での検討結果より提言案の汎用性が確認されている²⁵⁾。このことは、花崗岩地域におけるタンクモデルが他の地域においても有効性を示すという牧原ら(1993)²³⁾の研究成果とも合致する。この手法で対象とする現象はがけ崩れとされるが、背景とする鈴木ら(1979)のタンクモデルが土石流に対しても有効性を示すことから、土石流に対しても適用可能な手法と評価できる。そのため、最近ではがけ崩れと土石流をこの手法によって統一的に取り扱うケースが増えている²⁹⁾³⁸⁾。

なお、この手法では設定される基準が「 $y = ax + b$ 」のような線形で定められるため、周知しにくい側面がある。そのため、基準線を「 $b = y - ax$ 」のように変形し、切片値 b を基準値として置き換え、「 $y - ax$ 」の2変数からなる指標との大小関係で基準を判定するなどの工夫が望まれる。

以降に、4つの手法について設定手法等を詳述する。

◆トピック

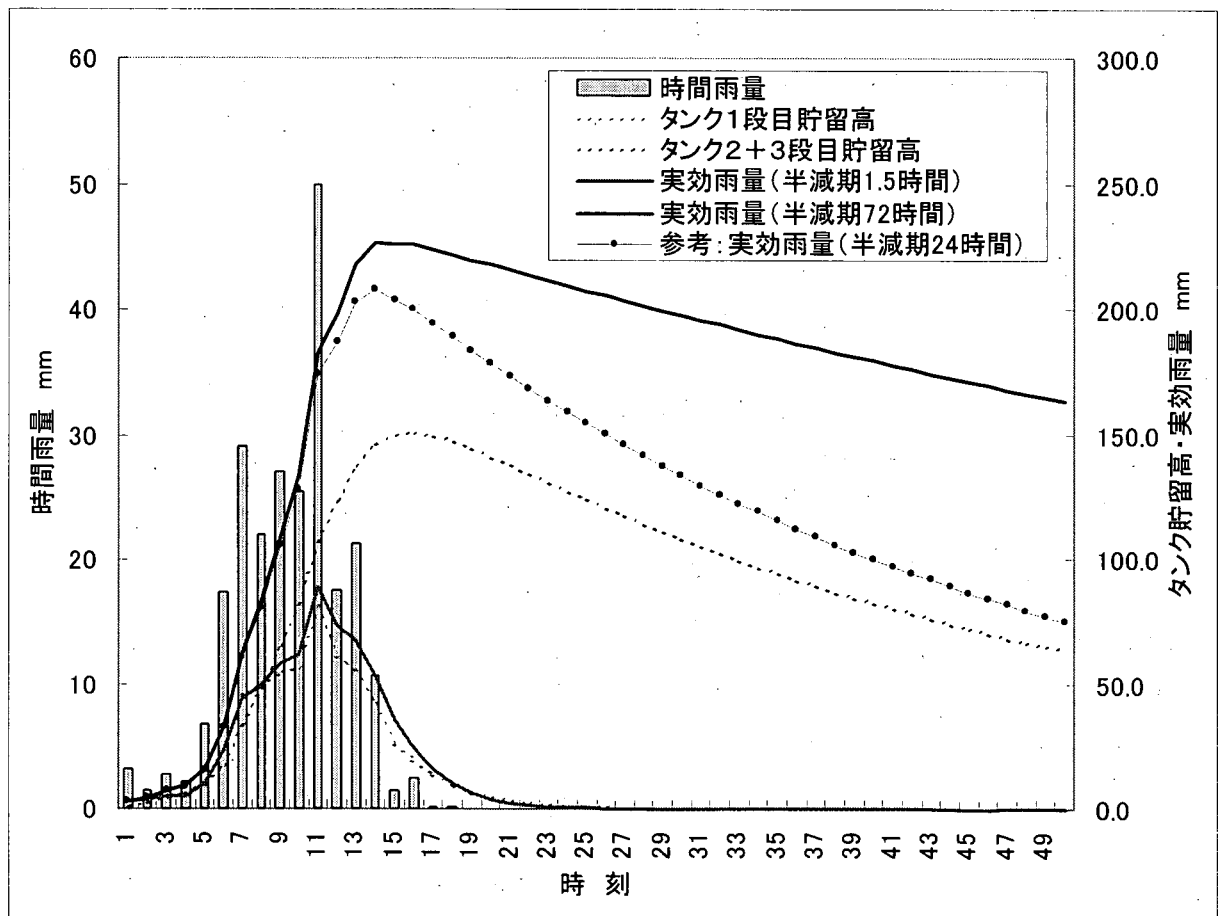
「鈴木ら（1979）のタンクモデルと提言案における実効雨量の比較」

提言案における実効雨量（半減期 1.5 時間および 72 時間）は、鈴木ら（1979）⁹⁾のタンクモデルを背景として推移特性が類似するように導かれたものである。

それでは、仮の降雨パターンを用いてその状況を確認してみよう（下図参照）。

下図をみると、タンク 1 段目の貯留高と実効雨量（半減期 1.5 時間）は、計算値および推移特性ともによく似たものとなっている。一方、タンク 2 段目と 3 段目の貯留高の合計と実効雨量（半減期 72 時間）では、計算値は異なるものの、ピークの位置や曲線の傾きなどの推移特性は類似している。

計算値の違いは設定される基準値の違いに反映されるものであり、手法の類似性を評価する上では指標の推移特性が類似しているかどうかに着目点となる。このような視点でみると、両手法はよく類似するものと理解できよう。



3.2. 指針案による手法

総合土石流対策を実施する上で、土石流の発生予測指標に降雨量を用いるのが適切であるとして、警戒避難体制をとるための基準雨量を設定する一手法を示した通達が1984年に建設省河川局砂防課長から各都道府県土木部長および建設省各地方建設局河川部長等関係機関に出された。

基準雨量を設定する手法は、「土石流災害に関する警報の発令と避難の指示のための降雨量設定指針(案)」(指針案と呼ぶ)として示され、これにより、各都道府県や建設省各地方建設局では昭和60年代前半に勢力的な検討が進められ、ほぼ全国で基準雨量の原案が設定された。

3.2.1. 適用

(1) 対象とする現象

「土石流」を対象として検討された手法である。

(2) 適用地域

指針案では、土石流危険渓流ごとに基準雨量を設定するのが望ましいが、設定のための降雨データや土石流災害の発生実績が十分でない現状等もあり、地形・地質・植生等が類似する近傍の土石流危険渓流では同一の基準雨量を採用できるとしている。

過去の検討事例をみると、素因特性等が類似する地域を分類した上で、市町村ごとに避難の指示・勧告が行われることを考慮し、市町村界に沿って区分した地域ごとに基準雨量を設定している例が多い。

(3) 降雨指標

土石流災害の実態に関する当時の知見から、降雨強度と総雨量に関する降雨指標の組合わせとする。

すなわち、図3.2に示すように縦軸に降雨強度(雨の強さの指標)を表し、横軸に総雨量をとり、発生降雨、非発生降雨のデータをそれぞれ◎印、×印でプロットすると、一般に図のように右下がりの直線あるいは曲線で、◎印群と×印群に区分することができる。この境界線の左下側は土石流が発生しない安全領域であり、右上側は土石流発生の危険のある領域となる。

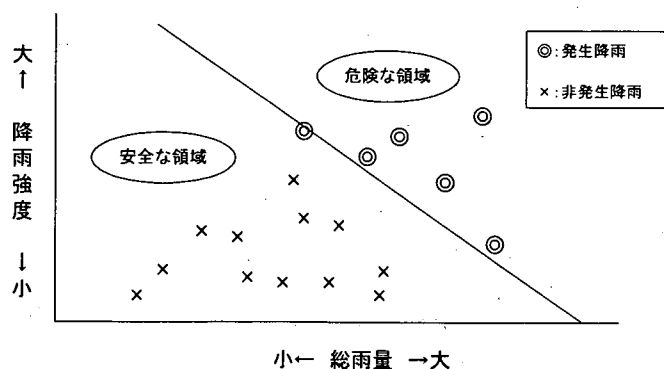


図 3.2 土石流発生の危険な領域
と安全な領域の概念図

(4) その他(運用等について)

指針案は、災害対策基本法に基づいて市町村が土石流災害に関する警報の発令と避難の指示を行うための降雨量（基準雨量）設定について参考とするもので、具体的には設定された基準雨量を市町村地域防災計画に記載し運用することが望ましいとされている。

また、都道府県は、総合土石流対策推進連絡会において、基準雨量の設定についての総合的な検討を行い、都道府県防災会議等を通じて市町村を指導するよう記されている。

なお、建設技術評価制度「昭和 58 年建設省告示第 2014 号：土石流監視装置の開発」によって開発され、現在も多く用いられている土石流監視装置では、この指針案による基準雨量の判定手法が用いられている。

3.2.2. 設定手法

(1) 設定手順

図 3.3、図 3.4 に示すように、まず降雨資料を収集するための雨量観測所を選定する。次に、土石流発生時の降雨（発生降雨と称す）資料と土石流非発生時の降雨（非発生降雨と称す）資料を所定の様式－1，2（表 3.1、表 3.2）に収集整理する。実際上は、土石流に先行して発生するがけ崩れ等についても有効な資料となるため、あわせて収集・整理することが望まれる。

指針では、この様式をもとに図 3.2 における指標の組合わせに応じて、以下の 2 種類の設定方法が示されている。

A 案	：	1 時間雨量（縦軸）	－	実効雨量（横軸）
B 案	：	有効降雨強度（縦軸）	－	実効雨量（横軸）

指針案では、A 案により妥当な設定値が得られない場合は B 案を用いてもよいとされている。これは運用の容易さを考慮して A 案による方法が推奨されたことによる。

3.2.2.(1) 降雨資料を収集するための雨量観測所の選定

- ① 既設雨量観測所の位置と観測期間の整理
- ② 非発生降雨を整理する代表雨量観測所の選定
- ③ 発生降雨を整理する災害箇所近傍の観測所の選定

3.2.2.(3) 土石流発生時の降雨資料の収集

- ① 過去の土石流発生時刻等の整理
- ② 土石流発生時の降雨資料の収集

3.2.2.(4) 土石流非発生時の降雨資料の収集

- ① 代表観測所における長期間の降雨資料の収集

3.2.2.(3)及び3.2.2.(2) 土石流発生時の降雨資料の整理〔表3.1 様式-1の作成〕

- a. 発生時期の古い土石流から順に番号を付ける。
- b. 土石流が発生した溪流名、地先名、番号、発生年月日時刻、代表観測所までの距離を記入。但し、発生時刻が推定の場合、()書きとする。
- c. 一連続雨量(※3.2.2(2)の①を参照)及び降り始め降り終りの時刻を記入。
- d. 2日前から14日前までの各々の24時間雨量を記入し、設定した半減期ごとの前期実効雨量(※3.2.2(2)の②を参照)を記入。
- e. 一連の降雨の降り始めから土石流が発生する1時間前までの積算雨量、土石流発生1時間前までの実効雨量、土石流発生時点の前1時間雨量を記入。
- f. 総実効雨量と土石流が発生した溪流から代表観測所までの距離を記入。

①		②		③		④		⑤		⑥		⑦		⑧		⑨		⑩		⑪		⑫	
観測所番号	溪流名	地先名	土石流発生番号	発生年月日時刻	代表観測所までの距離	一連続雨量 (Rc)	降り始め時刻	降り終り時刻	2日前前日	14日前前日	前期実効雨量 (Ra)	土石流発生1時間前までの積算雨量	土石流発生1時間前までの実効雨量 (R1)	土石流発生時点の前1時間雨量	総実効雨量 (Rt)	土石流発生までの距離	有効雨量 (Rv)	総実効雨量 (Rt)	土石流発生までの実効雨量 (R1)	前期実効雨量 (Ra)	1時間前雨量	1時間雨量	
a		b		c																			

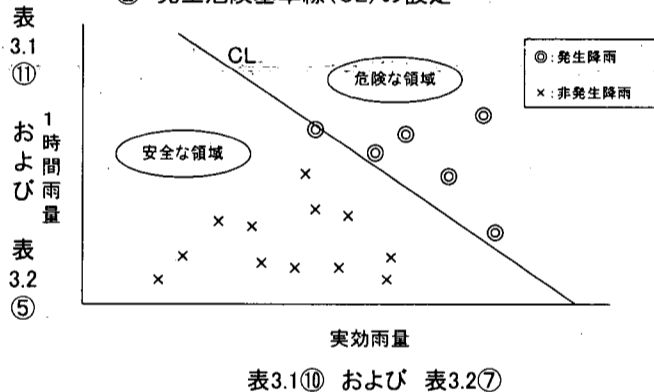
3.2.2.(4)及び3.2.2.(2) 土石流非発生時の降雨資料の整理〔表3.2 様式-2の作成〕

- a. 発生時期の古い降雨から順に番号を付ける。
- b. 一連続雨量(※3.2.2(2)の①を参照)及び降り始めと降り終りの時刻を記入。
- c. 2日前から14日前までの各々の24時間雨量を記入し、設定した半減期ごとの前期実効雨量(※3.2.2(2)の②を参照)を記入。
- d. 一連の降雨の中の最大1時間雨量及びその発生時刻を記入。
- e. 一連の降雨の降り始めから最大1時間雨量が発生するまでの積算雨量、最大1時間雨量が発生するまでの実効雨量を記入。
- f. 総実効雨量を記入。

①		②		③		④		⑤		⑥		⑦		⑧		⑨		⑩		⑪		⑫	
観測所番号	溪流名	地先名	土石流発生番号	発生年月日時刻	代表観測所までの距離	一連続雨量 (Rc)	降り始め時刻	降り終り時刻	2日前前日	14日前前日	前期実効雨量 (Ra)	最大1時間雨量	最大1時間雨量発生時刻	降り始めから最大1時間雨量発生までの積算雨量	降り始めから最大1時間雨量発生までの実効雨量 (R1)	総実効雨量 (Rt)	土石流発生までの距離	有効雨量 (Rv)	総実効雨量 (Rt)	前期実効雨量 (Ra)	1時間前雨量	1時間雨量	
a		b		c																			

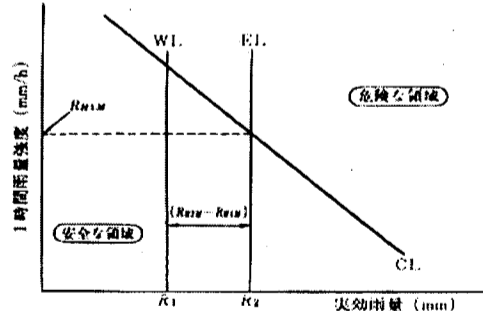
3.2.2.(5)① 土石流発生危険基準線(CL)の設定

- ① XYグラフの作成(発生降雨・非発生降雨のプロット)
- ② 発生危険基準線(CL)の設定



3.2.2.(5)② 警戒基準線(WL)、避難基準線(EL)の設定

- ① CLに対する避難指示のタイミングを設定(一般にCL到達1時間前)
- ② CLに対する警戒発令のタイミングを設定(一般にCL到達2時間前)
- ③ 上記時間内の想定雨量の設定(一般に既往最大雨量や確率雨量)
- ④ EL・WLの設定



3.2.2.(5)③ 各基準線の妥当性の検討

- ① 分離性
- ② 発令頻度
- ③ 空振頻度

3.2.2.(5)④ 警戒基準雨量、避難基準雨量の設定

(複数案の比較検討により最適な基準を設定)

注:各項目の見出し番号は対応する本文の見出し番号を示している。

図 3.3 A 案の基準雨量設定手順

3.2.2.(1) 降雨資料を収集するための雨量観測所の選定

- ① 既設雨量観測所の位置と観測期間の整理
- ② 非発生降雨を整理する代表雨量観測所の選定
- ③ 発生降雨を整理する災害箇所近傍の観測所の選定

3.2.2.(3) 土石流発生時の降雨資料の収集

- ① 過去の土石流発生時刻等の整理
- ② 土石流発生時の降雨資料の収集

3.2.2.(4) 土石流非発生時の降雨資料の収集

- ① 代表観測所における長期間の降雨資料の収集

3.2.2.(3)及び3.2.2.(2) 土石流発生時の降雨資料の整理〔表3.1 様式-1の作成〕

- a. 発生時期の古い土石流から順に番号を付ける。
- b. 土石流が発生した溪流名、地先名、番号、発生年月日時刻、代表観測所までの距離を記入。但し、発生時刻が推定の場合、()書きとする。
- c. 一連続雨量(※3.2.2(2)の①を参照)及び降り始めと降り終りの時刻を記入。
- d. 2日前から14日前までの各々の24時間雨量を記入し、設定した半減期ごとの前期実効雨量(※3.2.2(2)の②を参照)を記入。
- e. 一連の降雨の降り始めから土石流が発生する1時間前までの積算雨量、土石流発生1時間前までの実効雨量、土石流発生時点の前1時間雨量を記入。
- f. 土石流発生時までの実効雨量、初期雨量及び変曲点までの時刻、土石流が発生した時点までの有効雨量(※3.2.2(2)の⑤を参照)を記入する。
- g. 土石流が発生した時点までの有効時間(※3.2.2(2)の⑤を参照)、土石流が発生した時点までの有効雨量強度(※3.2.2(2)の⑤を参照)を記入する。
- h. 総実効雨量と土石流が発生した溪流から代表観測所までの距離を記入。

(様式-1)		(市町村名)				(観測所名)				(代表観測所名)				
整理番号	溪流名	地先名	発生年月日時刻	距離	一連続雨量(日時)	前期実効雨量(日時)	前期実効雨量(日時)	前期実効雨量(日時)	前期実効雨量(日時)	前期実効雨量(日時)	前期実効雨量(日時)	前期実効雨量(日時)	前期実効雨量(日時)	前期実効雨量(日時)
a		b			c									

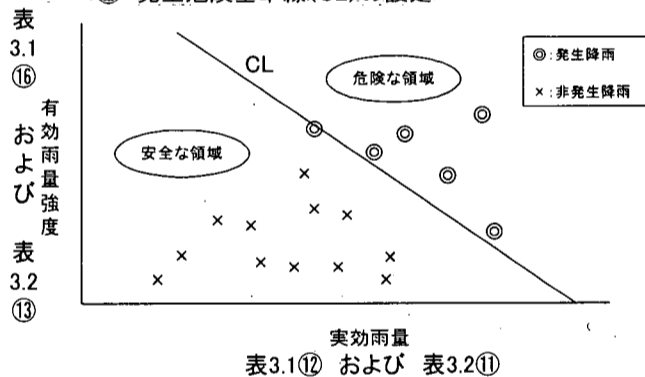
3.2.2.(4)及び3.2.2.(2) 土石流非発生時の降雨資料の整理〔表3.2 様式-2の作成〕

- a. 発生時期の古い降雨から順に番号を付ける。
- b. 一連続雨量(※3.2.2(2)の①を参照)及び降り始め降り終りの時刻を記入。
- c. 2日前から14日前までの各々の24時間雨量を記入し、設定した半減期ごとの前期実効雨量(※3.2.2(2)の②を参照)を記入。
- d. 初期雨量(※3.2.2(2)の④を参照)および変曲点Aの時刻、一連の降雨降り始めから変曲点Bまでの積算雨量及び変曲点Bの時刻、変曲点Bまでの有効雨量(※3.2.2(2)の⑤を参照)を記入。
- e. 変曲点Bまでの実効雨量、変曲点Bまでの有効時間(※3.2.2(2)の⑤を参照)、変曲点Bまでの有効雨量強度(※3.2.2(2)の④を参照)を記入する。
- f. 非発生降雨の総実効雨量を記入。

(様式-2)		(市町村名)				(観測所名)				(代表観測所名)			
整理番号	発生時刻	降り始め時刻	降り終り時刻	一連続雨量(日時)	前期実効雨量(日時)	前期実効雨量(日時)	前期実効雨量(日時)	前期実効雨量(日時)	前期実効雨量(日時)	前期実効雨量(日時)	前期実効雨量(日時)	前期実効雨量(日時)	前期実効雨量(日時)
a													

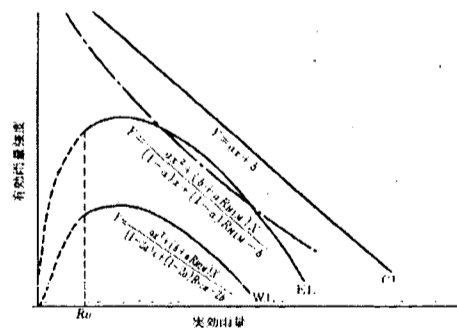
3.2.2.(6)① 土石流発生危険基準線(CL)の設定

- ① XYグラフの作成(発生降雨・非発生降雨のプロット)
- ② 発生危険基準線(CL)の設定



3.2.2.(6)② 警戒基準線(WL)、避難基準線(EL)の設定

- ① CLに対する避難指示のタイミングを設定(一般にCL到達1時間前)
- ② CLに対する警戒発令のタイミングを設定(一般にCL到達2時間前)
- ③ 上記時間内の想定雨量の設定(一般に既往最大雨量や確率雨量)
- ④ EL-WLの設定



3.2.2.(6)③ 各基準線の妥当性の検討

- ① 分離性
- ② 発令頻度
- ③ 空振頻度

3.2.2.(6)④ 警戒基準雨量、避難基準雨量の設定

(複数案の比較検討により最適な基準を設定)

注:各項目の見出し番号は対応する本文の見出し番号を示している。

図 3.4 B案の基準雨量設定手順

市町村名																	(都道府県名)				代表観測所名			
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦ 前期雨量 (RA)					⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	
整理 番号	渓流名	地先名	土石流危 険渓流 番号	発生年 月日時	一連続雨量 (Rc) (日時) (日時)	2	3	4	-----	14	半 減 期	前期実 効雨量 (RwA)	土石流発生 1時間前ま での積算雨 量	土石流発生 1時間前ま での実効雨 量 (Rw) ⑩+⑪	土石流発生 までの実効 雨量 (Rr) ⑬+⑭-⑮	初期雨量 (Ri) (日時)	土石流発生 までの有効 雨量 (Re) ⑯+⑰-⑱	有効時間	有効雨量 強度 (Ie) ⑲÷⑳	総実効 雨量 ㉑+㉒	発生渓流 と観測所 との距離	備考		
						日前	日前	日前	日前															

図2.151の記入要領 (様式-1)

- ① 発生時刻の古いものから順に番号をつける。
- ② 渓流名を記入する。
- ③ 渓流に係る地先名を記入する。
- ④ 昭和57年9月1日河砂第50号砂防部長通達「総合的な土石流対策の推進について」の様式-1による渓流番号を記入する。
- ⑤ 土石流の発生年月日、時刻を記入する。なお、発生時刻が推定による場合には()書きとする。
- ⑥ 一連続雨量 (Rc) および降り始めと降り終りの時刻を記入する。
- ⑦ 2日前から14日前までの各々の24時間雨量を記入する。
- ⑧ 設定した各半減期ごとの前期実効雨量 (RwA) を記入する。
- ⑨ 一連の降雨の降り始めから土石流が発生する1時間前までの積算雨量を記入する。
- ⑩ 土石流が発生する1時間前までの実効雨量を記入する。
- ⑪ 土石流が発生した時点の前1時間の雨量を記入する。
- ⑫ 土石流が発生した時点までの実効雨量を記入する。
- ⑬ 初期雨量 (Ri) および変曲点Aの時刻を記入する。
- ⑭ 土石流が発生した時点までの有効雨量 (Re) を記入する。
- ⑮ 土石流が発生した時点までの有効時間を記入する。
- ⑯ 土石流が発生した時点までの有効雨量強度 (Ie) を記入する。
- ⑰ 発生降雨の総実効雨量を記入する。
- ⑱ 土石流が発生した渓流から代表観測所までの距離を記入する。

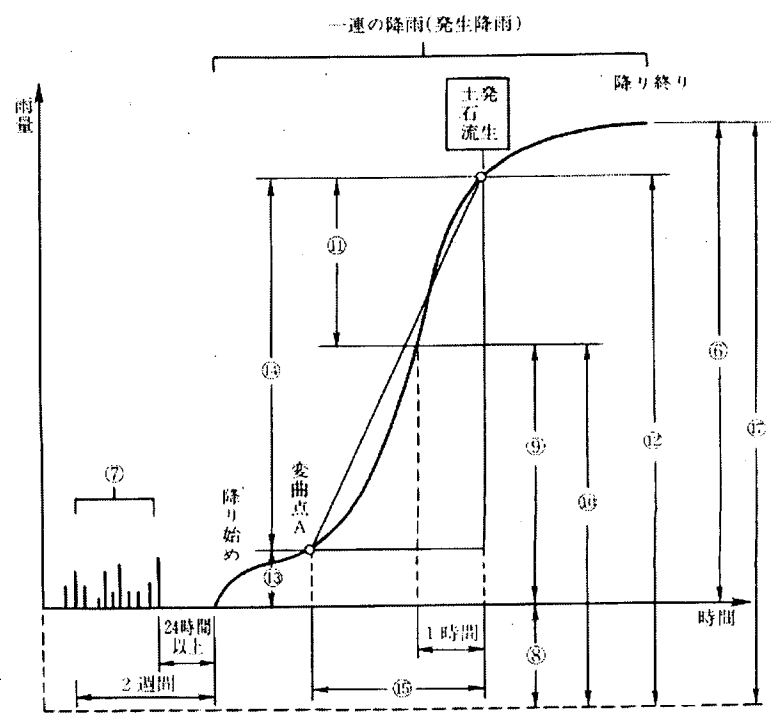


表 3.1 発生降雨整理表 (様式-1)

① 整理 番号	② 一連総雨量 (R_c) (年月日)	③ 前期降雨					④ 前期実 効雨量 (R_{wa})	⑤ 非発生降雨に おける最大 1時間雨量 (\sim 日時)	⑥ 最大1時間 雨量発生時 までの積算 雨量	⑦ 最大1時間 雨量発生時 までの実効 雨量 (④+⑥)	⑧ 初期雨量 (R_l) (日時)	⑨ 変曲点Bま での積算雨 量 (日後)	⑩ 変曲点Bま での有効雨 量 (R_E) (⑨-⑧)	⑪ 変曲点Bま での実効雨 量 (④+⑩)	⑫ 有効時間	⑬ 有効雨量 強度 (⑩/⑫)	⑭ 総実効 雨量 (④+⑭)	備考	
		2 日前	3 日前	4 日前	-----	14 日前													

図2.152の記入要領(様式-2)

- ① 降雨資料の古いものから順に番号をつける。
- ② 一連総雨量(R_c)および降り始めと降り終りの時刻を記入する。
- ③ 様式-1の記入要領⑦に同じ。
- ④ 様式-1の記入要領⑧に同じ。
- ⑤ 一連の降雨の中の最大1時間雨量およびその発生時刻を記入する。
- ⑥ 一連の降雨の降り始めから最大1時間雨量が発生する前までの積算雨量を記入する。
- ⑦ 最大1時間雨量が発生する前までの実効雨量を記入する。
- ⑧ 初期雨量(R_l)および変曲点Aの時刻を記入する。
- ⑨ 一連の降雨の降り始めから変曲点Bまでの積算雨量および変曲点Bの時刻を記入する。
- ⑩ 変曲点Bまでの有効雨量を記入する。
- ⑪ 変曲点Bまでの実効雨量を記入する。
- ⑫ 変曲点Bまでの有効時間を記入する。
- ⑬ 変曲点Bまでの有効雨量強度(I_E)を記入する。
- ⑭ 非発生降雨の総実効雨量を記入する。

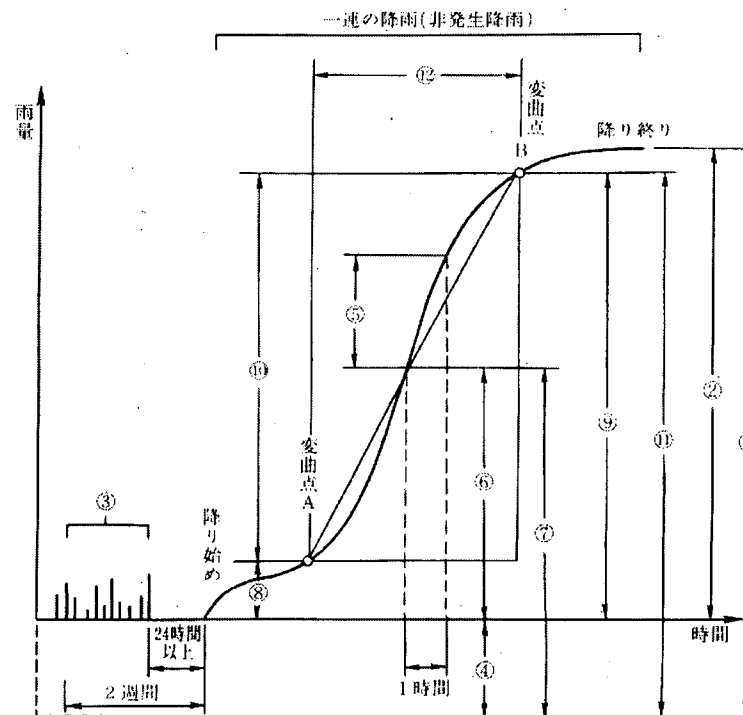


表 3.2 非発生降雨整理表(様式-2)

(2) 降雨指標の定義

様式-1、2の作成にあたっては、様々な降雨指標の演算を行うことになる。

ここでは、様式中の降雨指標の定義について解説する。

① 一連の降雨、一連続雨量 (R_C)、前期降雨、前期雨量 (R_A)

降雨の前後に24時間以上の無降雨期間を有するひとまとまりの降雨を「一連の降雨」と呼び、その総雨量を「一連続雨量 (R_C)」という。この関係を図3.5に示す。

一連の降雨の降り始め時刻から1週間～2週間前程度(後述する実効雨量の半減期と関連する)までの降雨を「前期降雨」といい、その雨量を「前期雨量 (R_A)」という。前期降雨は一連の降雨の降り始め時刻から起算して24時間前までを1日前の降雨、24時間前から48時間前までを2日前の降雨、以下同様に降雨を定める。ただし、一連の降雨の定義から1日前の降雨量は常に0である。

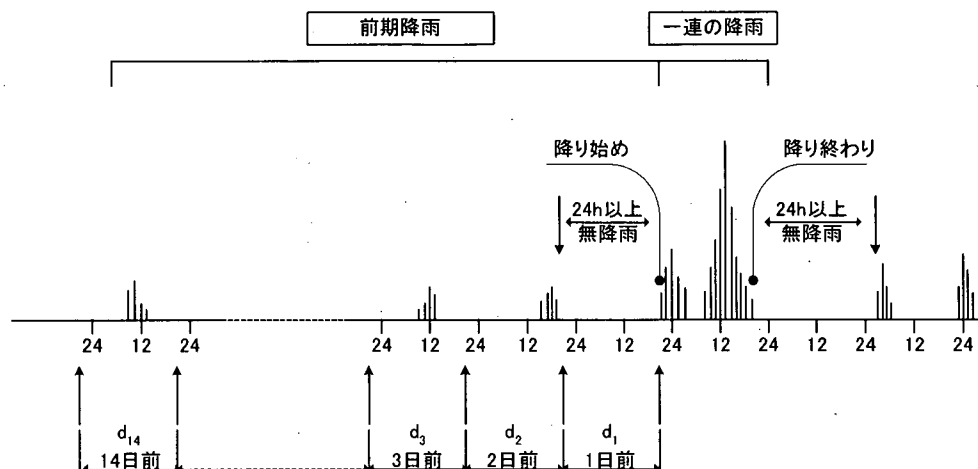


図 3.5 一連の降雨と前期降雨の概念

② 実効雨量 (R_W)、前期実効雨量 (R_{WA})、減少係数

実効雨量とは前期降雨の影響を考慮した積算雨量である。一般に土石流は発生降雨だけではなく前期降雨の影響を受けており、この影響の度合いは、発生降雨との時間差が大きくなるほど減少するものと考えられる。そこで、発生降雨の1日前の24時間雨量についてはその雨量の α_1 倍、2日前については α_2 倍というように、 t 日前までの24時間雨量(d_t とする)に係数を α_t ($\alpha_t < 1$)をかけて、その和を前期実効雨量 (R_{WA})と名付ける。

$$R_{WA} = \alpha_1 d_1 + \alpha_2 d_2 + \dots + \alpha_{14} d_{14} = \sum_{t=1}^{14} \alpha_t d_t$$

ここで、この係数 α_t を t 日目の減少係数と呼ぶ。 α_t の決め方はいろいろ考えられるが半減期を1日とした場合、すなわち1日経つと α の値が α_{t-1} の $1/2$ になるものとして前期実効雨量 (R_{WA})を計算すると、

$$R_{WA} = 0.5d_1 + 0.25d_2 + 0.125d_3 \dots$$

となる。土石流発生、非発生の判別を行うとき、半減期を2日、3日と置き換えて判別の適正を検討する。このときの減少係数と半減期の関係は次式で与えられる。

$$\alpha_t = 0.5^{t/T}$$

ただし、 T : 半減期の日数、 t : 降り始めからの前日数である。

なお、半減期1日、2日、3日に応じた減少係数の演算結果は表 3.3 のとおりであり、減少係数が約 0.004 未満となる期間では演算値への影響が少ないことが多いので、演算を省略することができる。しかしながら、前期の降雨量が大きく減少係数を乗じた値が無視できない場合はこの限りではない。

表 3.3 半減期と減少係数 (α_t)

降り始めから の前日数	半減期		
	1日	2日	3日
1	0.50000	0.70711	0.79370
2	0.25000	0.50000	0.62996
3	0.12500	0.35355	0.50000
4	0.06250	0.25000	0.39685
5	0.03125	0.17678	0.31498
6	0.01563	0.12500	0.25000
7	0.00781	0.08839	0.19843
8	0.00391	0.06250	0.15749
9	0.00195	0.04419	0.12500
10	0.00098	0.03125	0.09921
11	0.00049	0.02210	0.07875
12	0.00024	0.01563	0.06250
13	0.00012	0.01105	0.04961
14	0.00006	0.00781	0.03937
15	0.00003	0.00552	0.03125
16	0.00002	0.00391	0.02480
17	0.00001	0.00276	0.01969
18	0.00000	0.00195	0.01563
19	0.00000	0.00138	0.01240
20	0.00000	0.00098	0.00984
21	0.00000	0.00069	0.00781
22	0.00000	0.00049	0.00620
23	0.00000	0.00035	0.00492
24	0.00000	0.00024	0.00391

注1：表中の網掛けは、実効雨量に大きな影響を与えない期間の目安

注2：例えば減少係数 0.004 のときの 24 時間雨量 200mm とすると
実効雨量に加算される値は $0.004 \times 200\text{mm} = 0.8\text{mm}$ となる。

③ 変曲点A、変曲点B

変曲点Aとは一連の降雨の積算雨量曲線において急に立ち上がる点をいい、通常最初に1時間雨量4mm以上の降雨が降り始めた点をいう。

また、変曲点Bとは一連の降雨の積算雨量曲線において急に伸びが少なくなる点をいい、時間雨量4mm以下の降雨が3時間以上継続し始めた時点を用いる(図 3.6)。

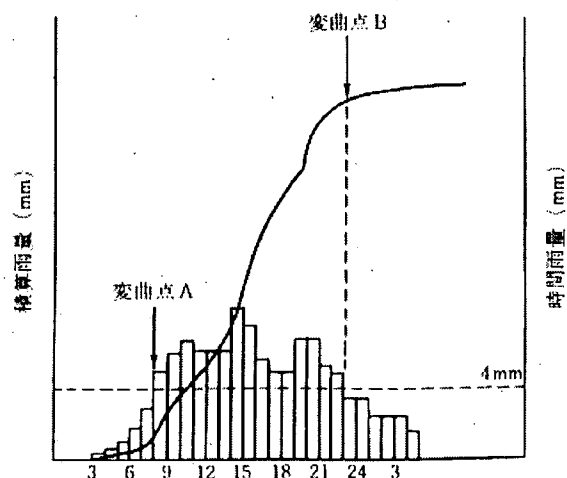


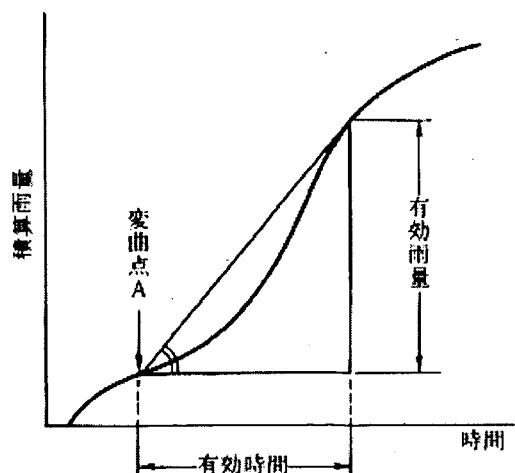
図 3.6 変曲点AとBの定義図

④ 初期雨量 (R_1)

初期雨量とは一連降雨の降り始めから変曲点Aまでの積算雨量をいう。

⑤ 有効雨量 (R_E)、有効時間、有効雨量強度 (I_E)

有効雨量とは、ある時点までの一連の降雨の積算雨量から変曲点Aまでの積算雨量を差し引いた雨量である。すなわち、変曲点A以降の積算雨量をいう。有効時間とは変曲点A以降の有効雨量までの降雨時間をいう。有効雨量を有効時間で除した値を有効雨量強度という (図 3.7)。



有効雨量，有効時間，有効雨量強度

図 3.7 有効雨量、有効時間、有効雨量強度

(3) 土石流発生時の降雨資料の収集整理

過去土石流が発生した時刻を文献や聞き込み調査等により調査し、近傍の雨量観測所の降雨を表 3.1 の項目で整理する。

発生時刻によって発生時までの降雨量が決まるので、精度の高い情報を得よう努めることが重要である。特に古い災害の場合、がけ崩れの発生か土石流の発生か判別し難く、また発生時刻も判然としない場合が多いので、広く行政機関等の災害資料を収集し調査する必要がある。なお、雨量観測所と土石流発生溪流との距離はできるだけ近いほうが望ましく、この条件にあわない場合は、今後資料を整備することを目標として雨量計の新設を計画することが望ましい。

(4) 土石流非発生時の降雨資料の収集整理

一連の降雨のうち、土石流が発生しなかった降雨について代表雨量観測所の降雨資料より整理し、土石流の発生する限界を判別する資料とするものである。

土石流の発生と関連性の少ない少量の一連の降雨を含めて取り扱うことは煩雑であるため、「連続雨量 80mm 以上または 1 時間雨量強度が 20mm 以上」の降雨量を有するものを対象とし、表 3.2 の様式で整理する。

(5) A案による基準雨量の設定

① 発生危険基準線の設定

様式-1 (表 3.1) の⑩⑪、様式-2 (表 3.2) の⑦と⑤をそれぞれ横軸、縦軸にとって XY グラフを作成する (図 3.8)。

XY グラフに図示する各降雨指標は表 3.4 のように定義されるものであり、横軸と縦軸の時刻を意図的に 1 時間ずらしていることに注意が必要である。これは後述する警戒基準雨量や避難基準雨量を単一の降雨指標で表現するための工夫であり、数学で用いられる通常の XY グラフとは本質的に異なるものである。

表 3.4 図示する降雨指標の定義

	X軸（横軸）	Y軸（縦軸）
発生降雨	⑩：土石流が発生する1時間前までの実効雨量	⑪：土石流が発生した時点の前1時間の雨量
非発生降雨	⑦：最大1時間雨量が発生する前までの実効雨量	⑤：一連の降雨中の最大1時間雨量

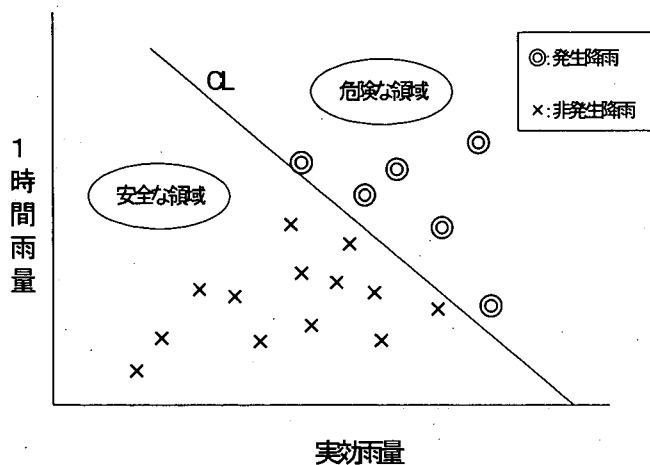


図 3.8 A案によるXYグラフ

図 3.8 において、発生降雨と非発生降雨との境界線を引くと、この直線の右上側は土石流の発生に関して危険な領域、左下側は一応安全な領域となる。なお、この境界線を土石流発生危険基準線（Critical Line；略してCL）という。

CL の設定に際しては、図 3.8 のように発生・非発生降雨が良く分離した分布を示すことは稀であり、実務上は後述する表 3.9 の設定パターンが参考となる。

なお、CL の傾きを「a」とするとき、傾き a は図 3.9 に示すように「-1」より緩やかなものとするべきであり、「 $-1 < a < 0$ 」の範囲内で定める。

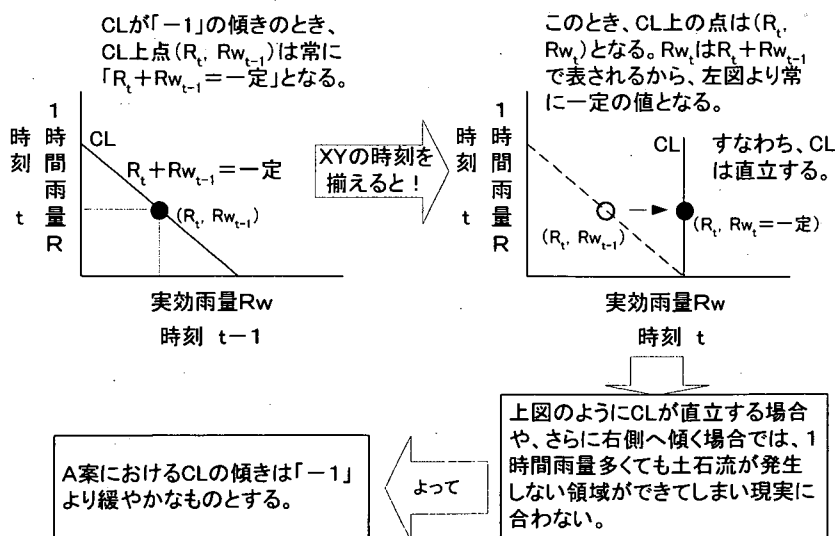


図 3.9 A案におけるCLの傾きの限度

② 警戒・避難基準線の設定

警報発令を行うための基準雨量（以下「警戒基準雨量」と呼ぶ）及び避難の指示を行うための基準雨量（以下「避難基準雨量」と呼ぶ）の設定方法について以下に示す。以下では、警戒基準雨量を示す基準線を警戒基準線（Warning Line；略してWL）、避難基準雨量を示す基準線を避難基準線（Evacuaton Line；略してEL）と称する。

警戒・避難基準線の設定には、まず警報の発令や避難の指示のタイミングを定める必要がある。すなわち、土石流の発生が予想される時点に対して警報の発令や避難の指示をどれぐらいの時間前に行うかについて設定する。さらに、それぞれの時間内に想定される降雨量とCLをもとに基準線を設定する。

指針案では、表 3.5 に示す条件による設定方法を例示しているが、発令・指示のタイミングについては地域の実状に応じて定めるべきものとしている。なお、想定雨量については空振の頻度等の状況に応じて確率雨量や短時間予測雨量の採用などを検討するとよい。

表 3.5 指針における警報の発令と避難の指示のタイミングと雨量の想定

分類	発令・指示のタイミング	左時間内の想定雨量
警報の発令	CL 到達 2 時間前	既往最大 2 時間雨量 (R_{H2M})
避難の指示	CL 到達 1 時間前	既往最大 1 時間雨量 (R_{H1M})

以下では、表 3.5 を前提とした場合の設定方法を例示する。

《EL の設定》

既往最大 1 時間雨量を R_{H1M} とする。

図 3.10 は、ある降雨の実効雨量が R_2 に達し、今後 1 時間の想定雨量が R_{H1M} 以上あれば、CL の右上側、すなわち危険な領域に入ると読図するものである。今後 1 時間の想定雨量 R_{H1M} を既往最大 1 時間雨量などとして R_2 を導けばそれが避難基準雨量となる。

実際の EL の設定方法は、今後 1 時間の想定雨量 R_{H1M} を縦軸にとり、その点を通り横軸に平行な直線を引く。次に、この直線と CL の交点から横軸に向かって垂線を下ろす。これを EL とする。

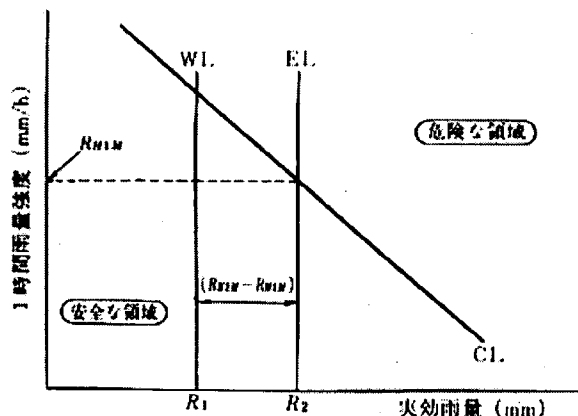


図 3.10 警戒・避難基準線の設定 (A 案)

《WL の設定》

既往最大 2 時間降雨を R_{H2M} とする。

EL に達する 1 時間前が WL とすれば、EL を $(R_{H2M} - R_{H1M})$ だけ左へ平行移動した直線が WL となる (図 3.10)。

③ 土石流発生基準線、警戒基準線、避難基準線の妥当性の検討

設定された CL (土石流発生危険基準線)、EL (警戒基準線)、WL (避難基準線) について、分離性、発令頻度、空振り頻度について妥当性を検討する。

《分離性の検討》

CL を境界として、右上側にすべての発生降雨、左下側にすべての非発生降雨が分布する場合、発生降雨と非発生降雨がよい分離性を示していると言える。しかし、実際には図 3.11 のように CL の右上側に非発生降雨が分布する場合があるので、CL の分離性を非発生降雨数によって検討する。

非発生降雨の総資料数を kn 個、非発生降雨のうち CL の左下側にある資料数を knc 個として、

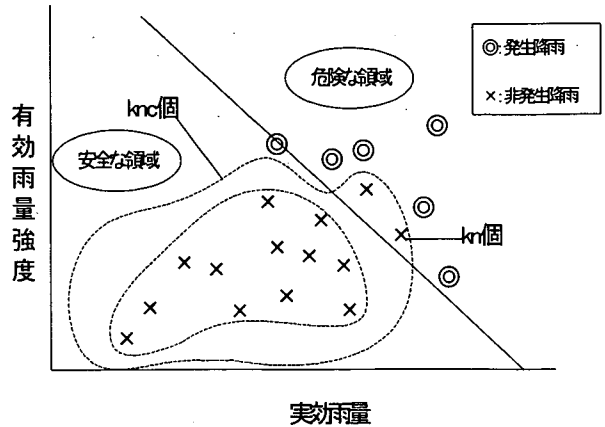


図 3.11 分離性の検討

$$Sc = \frac{knc}{kn}$$

を計算する。Sc の値が大きいほど分離性がよいと判断する。

《警報の発令及び避難の指示頻度の検討》

設定した WL、EL について、1 年あたりの警報の発令頻度と避難の指示頻度を検討する。発生降雨の総実効雨量 (様式-1、⑰) が図 3.10 に示す R_1 、 R_2 を超えるものの資料数をそれぞれ kyw 個、 kye 個とし、非発生降雨の総実効雨量が R_1 、 R_2 をこえるものの資料数をそれぞれ knw 個、 kne 個とする。このとき、警報の発令頻度及び避難の指示頻度は以下のように求められる。

$$\text{警報の発令頻度: } Fw = \frac{kyw + knw}{n} \text{ (回/年)}$$

$$\text{避難の指示頻度: } Fe = \frac{kye + kne}{n} \text{ (回/年)}$$

ただし、 n は資料収集年数

《警報の発令及び避難の指示空振り頻度の検討》

警報の発令、避難の指示が行われても、実際には土石流が発生しないことがある。そのような空振りの頻度は以下の式で求められる。ここでいう空振りは、CL の精度を意味するものではなく、EL・WL の設定に用いた想定雨量の妥当性を評価するものである。

$$\text{警報の発令空振り頻度: } Mw = \frac{knw}{n} \text{ (回/年)}$$

$$\text{避難の指示空振り頻度: } Mc = \frac{kne}{n} \text{ (回/年)}$$

④ 警戒・避難基準雨量の設定

複数案の検討ののち、CL（土石流発生危険基準線）、EL（警戒基準線）、WL（避難基準線）が妥当なものであると判断されたものについて、警戒基準雨量、避難基準雨量を次のように設定する。

警戒基準雨量： R_1 (mm)

避難基準雨量： R_2 (mm)

(6) B案による基準雨量の設定

① 発生危険基準線の設定

様式-1及び様式-2で整理した各発生降雨、非発生降雨について「有効雨量強度（縦軸）-実効雨量（横軸）」の関係を図示する。すなわち、様式-1（発生降雨整理表）では「⑫土石流が発生した時点までの実効雨量」と「⑬土石流が発生した時点までの有効雨量強度」を、様式-2（非発生降雨整理表）では「⑪変曲点Bまでの実効雨量」と「⑭変曲点Bまでの有効雨量強度」をプロットしてCLを設定する。

CLの設定パターンについては、A案と同様に表 3.9が参考となる。

なお、B案は先のA案と異なり、横軸と縦軸に時間の「ズレ」がないため、A案において述べたCLの傾きの制約（-1より大きい）は適用されない。

② 警戒・避難基準線の設定

発令・指示のタイミングや想定雨量の考え方はA案と共通であり、表 3.5を条件とした設定方法を以下に例示する。

《ELの設定》

図 3.12 において、CL 上の任意の点を $P(R_p, I_p)$ 、想定雨量を既往最大1時間雨量 R_{HIM} とする。点 P に達する前1時間の位置を $P'(R_{p'}, I_{p'})$ とすると、 $I_{p'}$ は以下のように示される。なお、式の誘導は参考資料を参照されたい。

$$I_{p'} = \frac{a(R_{p'})^2 + (b + aR_{HIM})R_{p'}}{(1-a)R_{p'} + (1-a)R_{HIM} - b}$$

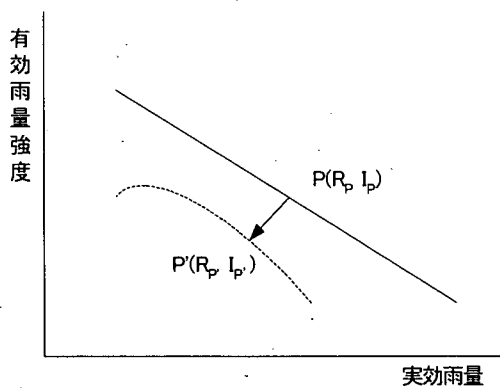


図 3.12 避難基準線の設定

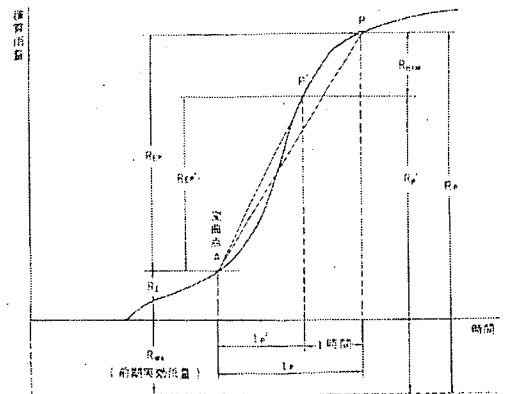


図 3.13 時間-積算雨量関係

また、避難基準線の一般式は、Y：有効降雨強度、X：実効雨量とすると、

$$Y = \frac{aX^2 + (b + aR_{H1M})X}{(1-a)X + (1-a)R_{H1M} - b}$$

と示される。

《WL の設定》

EL の設定と同様に、CL 上の任意の点を P (R_P, I_P)、想定雨量を既往最大 2 時間雨量 R_{H2M} とする。点 P に達する前 2 時間の位置を P'' (R_{P''}, I_{P''}) とすると、I_{P''} は以下のように表される。

$$I_{P''} = \frac{a(R_{P''})^2 + (b + aR_{H2M})R_{P''}}{(1-2a)R_{P''} + (1-2a)R_{H2M} - 2b}$$

また、警戒基準線の一般式は、

$$Y = \frac{aX^2 + (b + aR_{H2M})X}{(1-2a)X + (1-2a)R_{H2M} - 2b}$$

なる。

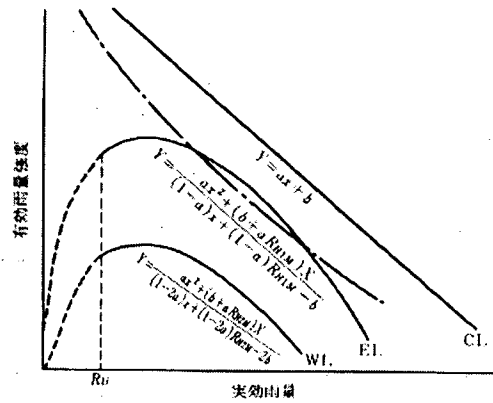


図 3.14 避難基準線・警戒基準線の一般式

《EL, WL の曲線形》

EL と WL は原点 (0, 0) を通り、上に凸の曲線である。R_U は、この値以下では土石流の発生に影響しないと考えられる実効雨量で、一般的には 40mm 程度とするが、収集した降雨資料によりその地域に適した値があれば、その値を採用する。

③ 土石流発生基準線、警戒基準線、避難基準線の妥当性の検討

検討方法の考え方は A 案に同じである。取り扱いの異なる点を中心に妥当性の検討方法を述べる。

《分離性の検討》

A 案と同様の手法を用いて CL の分離性を検討する。

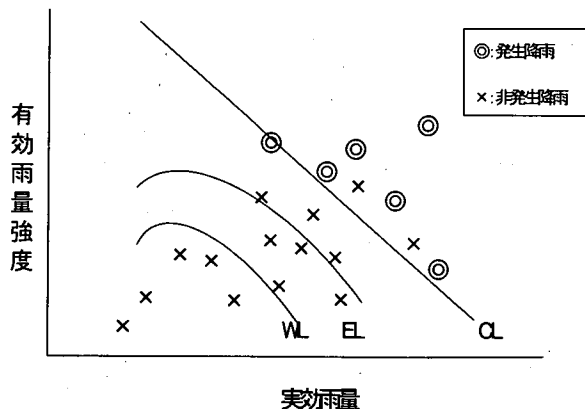


図 3.15 警報の発令及び避難の指示頻度の検討

《警報の発令及び避難の指示頻度の検討》

設定した WL、EL について、警報の発令頻度と避難の指示頻度を検討する。発生降雨の総実効雨量が図 3.15 に示す WL、EL を超えるものの資料数をそれぞれ k'_{yw} 個、 k'_{ye} 個とし、非発生降雨の総実効雨量が WL、EL をこえるものの資料数をそれぞれ k'_{nw} 個、 k'_{ne} 個とする。すると、警報の発令頻度及び避難の指示頻度は以下のように求められる。

$$\text{警報の発令頻度： } F'_{w} = \frac{k'_{yw} + k'_{nw}}{n} \quad (\text{回/年})$$

$$\text{避難の指示頻度： } F'_{e} = \frac{k'_{ye} + k'_{ne}}{n} \quad (\text{回/年})$$

ただし、 n は資料収集年数

《警報の発令及び避難の指示空振り頻度の検討》

警報の発令、避難の指示が行われても、実際には土石流が発生しないことがある。そのような空振りの頻度は以下の式で求められる。

$$\text{警報の発令空振り頻度： } M'_{w} = \frac{k'_{nw}}{n} \quad (\text{回/年})$$

$$\text{避難の指示空振り頻度： } M'_{e} = \frac{k'_{ne}}{n} \quad (\text{回/年})$$

④ 警戒・避難基準雨量の設定

複数案の検討ののち、CL、EL、WL が妥当なものであると判断されたものについて、警戒基準雨量と避難基準雨量を次のように設定する。

$$\text{警戒基準雨量： } Y = \frac{aX^2 + (b + aR_{HIM})X}{(1 - 2a)X + (1 - 2a)R_{HIM} - 2b} \quad (X \geq R_U)$$

$$\text{避難基準雨量： } Y = \frac{aX^2 + (b + aR_{HIM})X}{(1 - a)X + (1 - a)R_{HIM} - b} \quad (X \geq R_U)$$

ただし、 a 、 b は定数

3.2.3. 手法の特徴と利用にあたっての注意点

(1) スネークラインによる判定方法と留意点

スネークラインは、2つの降雨指標の変化について時刻を追って図 3.16 のように図示するものである。図中では 30 分間隔ごとにスネークラインを表示しているが、より短時間の間隔で表示すればよりの確な判定が可能となる。

なお、図 3.16 は指針からの抜粋であるが、この図にはいくつかの誤解を招きやすい点があるので、以下のことに十分留意する必要がある。

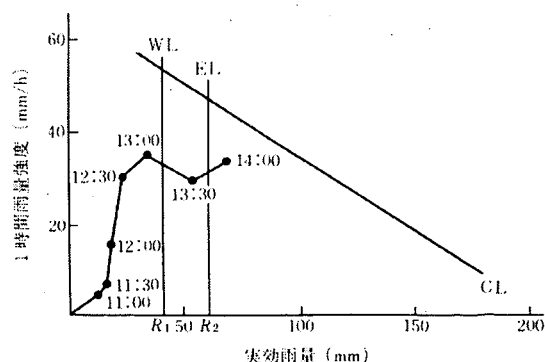


図 3.16 指針におけるスネークラインを用いた判定例

図 3.16 は、A案によって予め設定された EL、WL に対して、現在までの降雨指標の到達状況を視覚的に見ようとするものである。図中には CL も表示されており一見するとスネークラインの CL への到達状況も判定しているように見える。しかしながら、基準雨量の設定方法で述べたように、A案では横軸と縦軸に時刻の「ズレ」があり、現時点の実効雨量が横軸上の R1 あるいは R2 に到達したとき、想定雨量とした既往最大 2 時間雨量や既往最大 1 時間雨量等が今後生じれば CL に到達することを意味するものである。すなわち、本来は縦軸が今後の予測雨量を意味し、指針で例示されるように横軸と同時刻の 1 時間雨量をあてるべきでない。よって、指針で例示されたスネークラインと CL を単純に見比べると間違いを生じることがあるので注意を要する。

A案における EL、WL は横軸の実効雨量のみで定義される基準であるから、本来縦軸の指標の推移は必要としない。縦軸の指標の推移もあわせてみるならば、図 3.17 のような表現で要が足りるうえ、時間軸もわかりやすく誤解を生じる恐れが少ない。

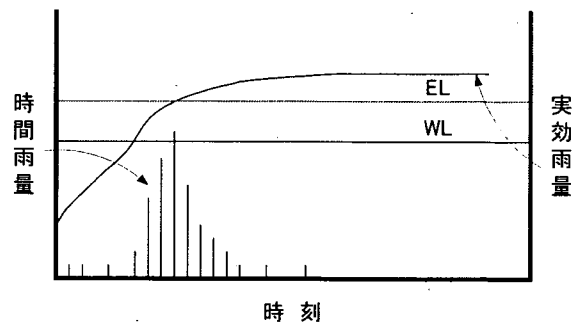


図 3.17 判定方法の改善

以上のことは、A案における場合の問題点であり、横軸と縦軸に時刻の「ズレ」のないB案には該当しない。

(2) スネークラインの推移特性

A案・B案におけるスネークラインは、実効雨量の演算が降り始めからの連続雨量に前期の実効雨量分を嵩上げするような方法となっているため、横軸に対しては一連の降雨期間中常に増加する。

そのため、少降雨が長期間にわたり継続するケースや断続的に降り続くケースでは容易に基準を超過したり、超過する期間が長引くことがある。特に基準を解除しようとする場合に問題となることが多い。

3.3. 矢野による手法

3.3.1. 適用

(1) 対象とする現象

矢野による手法（矢野案）は、前述の指針案によるA案の改良法を示したものであり、指針案と同じく「土石流」を対象として検討されている。

(2) 適用地域

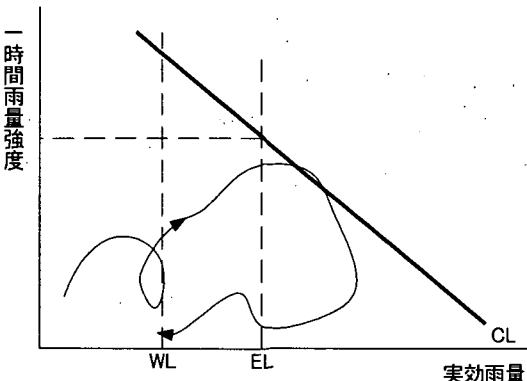
適用地域は、指針案と同じく土石流危険渓流であり、設定のための降雨データや土石流災害の発生実績が十分でない現状等を踏まえると、地形・地質・植生等が類似する近傍の土石流危険渓流では同一の基準雨量を採用するとよい。

(3) 降雨指標

矢野案は、A案における実効雨量の推移特性に関する問題点を改善したものであり、具体的には時間単位で減少係数を乗じて積算する方法を提案している。

これにより改善された事項を整理すると、表 3.6 のとおりである。

表 3.6 矢野案によるA案の改善事項

1	A案による実効雨量の演算方法は、一連の降雨期間内は単純な積算値として演算される。例えば、一連の降雨期間が4日と1日の降雨において、それぞれ降り終わり時点の実効雨量を計算しようとするとき、前者では降り終わりから4日以上前の降雨量に減少を評価し、後者では降り終わりから1日以上前に減少を評価するといった不平等な扱いとなる。そのため、一連の降雨を定義する必要のない実効雨量の演算方法を採用することで、この問題を解消している。
2	24 時間以上の無降雨が生じない限りは増加の一途である従来型の実効雨量に比べ、降雨量の減少に伴い実効雨量が減衰すること、同時に土中水分量の推移に調和的な特性をもつことによって、長雨等による発生・非発生降雨の分離性が良好となる。
3	スネークラインの演算は、降り始めや降り終わりの設定を必要とせず、常時連続的に演算でき、コンピュータを利用したシステムづくりが容易である。
4	スネークラインの推移が降雨の減少とともに原点方向へ移動するため、基準解除の指標として利用することも可能である（下図参照）。 

3.3.2. 設定方法

設定方法については、A案と異なる実効雨量の演算方法について述べる。その他の方法についてはA案を踏襲するため図 3.3 の流れに沿って検討する。

実効雨量の演算は、土石流発生1時間前までの降雨をすべて前期降雨として減少係数を乗じたうえで下式により積算する。

実効雨量の計算にあたっては、現時点よりどれぐらい前時刻まで遡って計算するかが問題となる。この計算期間は、A案・B案の実効雨量の計算方法で述べたように実効雨量への影響を考慮して減少係数 0.004 以上となる期間が目安となろう。

$$R_w = \sum \alpha_{li} \times R_{li}$$

R_w : 実効雨量

R_{li} : i 時間前の 1 時間雨量

α_{li} : i 時間前の減少係数

$\alpha_{li} = 0.5^{i/T}$ 、 T : 半減期 (時間)

なお、非発生降雨の場合はA案と同様に一連の降雨期間中の最大時間雨量時刻において実効雨量の演算を行うことになる。

3.3.3. 手法の特徴と利用にあたっての注意点

(1) 半減期の取り扱い

半減期は、地域の流出・貯留特性を表現する指標と考えられる。半減期の設定にあたっては、タンクモデル等の流出解析により別途検討したり、試行錯誤的に発生・非発生降雨を分離しやすい半減期を求めて経験的に得られた値とするなど、地域特性にあったものとする必要がある。

(2) 解除時期の判断

この手法によるスネークラインは、避難解除の判断に有効な情報ではあるが、実際の解除にあたっては、気象情報、今後の予測雨量、周辺における地表の変化、当該溪流の状況等を総合的に判断しなければならない。特に、避難指示・勧告の解除の場合は、降雨の状況のみならず、パトロール等によって周辺部の状況を十分確認の上、解除すべきである。

3.4. 総合土砂災害対策検討会による手法

3.4.1. 適用

(1) 対象とする現象

総合土砂災害対策検討会による手法（提言案）は、建設省（現国土交通省）が主催した「総合土砂災害対策検討会」の中で検討されたものであり、「集中的に発生するがけ崩れに対する警戒避難基準雨量の設定手法（案）」として提言されている。

「集中的に発生するがけ崩れ」とは、定性的に実効雨量が一定以上となった場合に、一連の降雨のピーク付近で面的に限られた範囲で発生する崩壊と定義されるものである。

このように提言案は「集中的に発生するがけ崩れ」に対して示されたものであるが、手法が導かれる背景となったタンクモデルが土石流の発生予測にも有効性を示すことから、土石流に対しても有効な手法と評価されている。

(2) 適用地域

急傾斜地崩壊危険箇所などがけ崩れの恐れがある箇所に適用される。設定のための降雨データやがけ崩れ災害の発生実績が十分でない現状等を踏まえると、地形・地質・植生等が類似する近傍箇所では同一の基準雨量を採用するとよい。

(3) 降雨指標

これまでの研究から、タンクモデルの貯留高の変動によりがけ崩れ発生タイミングを説明できることが知られており、地表水の変動を示すタンクモデル1段目の貯留高さの変動と半減期1.5時間の実効雨量の変動が、また、地下水の変動を示すタンクモデル2・3段目の貯留高の変動と半減期72時間の実効雨量の変動がよく合致することが確認されている。

そこで、がけ崩れの発生限界降雨を評価する指標は、取り扱いの比較的容易な実効雨量としてCLを設定しようとしたものである。

なお、この手法における実効雨量の演算方法は、土石流を対象とする矢野案と同じである。

3.4.2. 設定方法

(1) 設定手順

設定手順や具体的手法については、設定手法案の中で具体的に記されていない部分もあるが、A案・B案の手法に準じて整理すると、図3.18の手順が考えられる。

図3.18に示すように、まず降雨資料を収集するための雨量観測所を選定する。次に、がけ崩れ発生時の降雨（発生降雨と称す）資料とがけ崩れ非発生時の降雨（非発生降雨と称す）資料を収集整理する。がけ崩れの発生に遅れることの多い土石流についても有効な資料となるため、あわせて収集・整理する。

さらに、集中的に発生するがけ崩れとそれ以外の現象を分類整理し、発生降雨と非発生降雨について、横軸を半減期72時間の実効雨量、縦軸を半減期1.5時間の実効雨量としたXYグラフを作成し、同図上で各種基準線を設定する。

(2) 降雨指標の定義

本手法では、降雨指標として実効雨量のみを取り扱うので、実効雨量の定義について述べる。

実効雨量の演算方法は、前述の矢野案と同じであり、土砂災害発生1時間前までの降雨をすべて前期降雨として減少係数を乗じたうえで積算するものである。

具体的には、下式により土砂災害の発生時点や非発生時点の実効雨量を半減期 1.5 時間、72 時間とした 2 種類の指標を演算する。

実効雨量の計算にあたっては、現時点よりどれぐらい前時刻まで遡って計算するかが問題となる。この計算期間は、A 案・B 案の実効雨量の計算方法で述べたように実効雨量への影響を考慮して減少係数 0.004 以上となる期間が目安となろう。減少係数が 0.004 未満となるのは半減期 1.5 時間の場合で約 12 時間前、半減期 72 時間の場合で約 574 時間（約 24 日）前である。

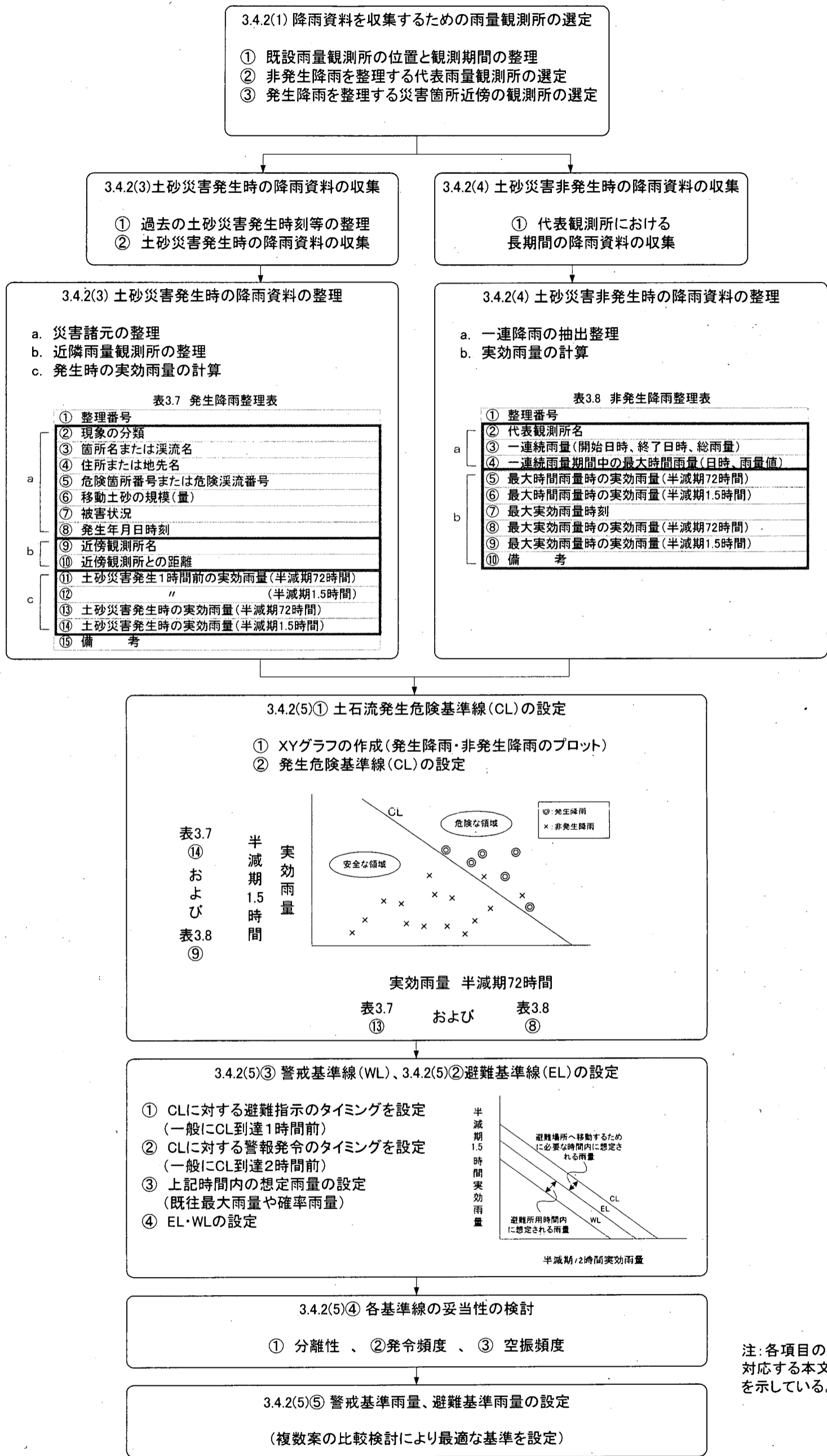
$$R_w = \sum \alpha_{li} \times R_{li}$$

R_w : 実効雨量

R_{li} : i 時間前の 1 時間雨量

α_{li} : i 時間前の減少係数

$\alpha_{li} = 0.5^{i/T}$ 、 T : 半減期 (時間)



注:各項目の見出し番号は対応する本文の見出し番号を示している。

図 3.18 提言案の基準雨量設定手順

(3) 土砂災害発生時の降雨資料の収集整理

過去土砂災害が発生した時刻を文献や聞き込み調査等により調査し、近傍の雨量観測所の降雨資料をもとに表 3.7 に整理する。

発生時刻によって、発生までの降雨量が決まるので、精度の高い情報を得るよう努めることが重要である。特に古い災害の場合、がけ崩れの発生か土石流の発生か判別し難く、また発生時刻も判然としない場合が多いので、広く行政機関等の災害資料を収集し調査する必要がある。なお、雨量観測所と土石流発生溪流との距離はできるだけ近いほうが望ましく、この条件にあわない場合は、今後資料を整備することを目標として雨量計の新設を計画することが望ましい。

表 3.7 発生降雨整理表

整理項目	適用
① 整理番号	
② 現象の分類	がけ崩れ(集中発生)、がけ崩れ(単発)、土石流等
③ 箇所名または溪流名	
④ 住所または地先名	
⑤ 危険箇所番号または危険溪流番号	
⑥ 移動土砂の規模(量)	
⑦ 被害状況	
⑧ 発生年月日時刻	
⑨ 近傍観測所名	
⑩ 近傍観測所との距離	
⑪ 土砂災害発生1時間前の実効雨量(半減期72時間)	XYグラフに図示
⑫ " (半減期1.5時間)	"
⑬ 土砂災害発生時の実効雨量(半減期72時間)	"
⑭ " (半減期1.5時間)	"
⑮ 備考	

(4) 土砂災害非発生時の降雨資料の収集整理

提言案の中では、非発生時の降雨資料の取り扱いが記されていないが、基準雨量の設定において有効な資料となるため、A案・B案に準じた方法を示す。

前後に24時間の無降雨期間を有する一連の降雨のうち、土砂災害が発生しなかった降雨について資料を整理する。

降雨量の少ない一連の降雨の全てを取り扱うことは煩雑であるため、「連続雨量40mm以上または1時間雨量強度が10mm以上」の降雨量を有するものを対象とし、表3.8の様式で整理する。なお、A案・B案では、「連続雨量80mm以上または1時間雨量強度が20mm以上」を基準としているが、土石流より少降雨で発生することの多いがけ崩れを取り扱うために基準を半分の値に引き下げた方法を示したが、発生降雨量や作業性などの状況に応じて適宜変更するとよい。

表 3.8 非発生降雨整理表

整理項目	適用
① 整理番号	
② 代表観測所名	
③ 一連続雨量（開始日時、終了日時、総雨量）	A案・B案に同じ
④ 一連続雨量期間中の最大時間雨量（日時、雨量値）	
⑤ 最大時間雨量時の実効雨量（半減期 72 時間）	
⑥ " (半減期 1.5 時間)	
⑦ 最大実効雨量時刻	一連続降雨期間中における $\sqrt{x^2 + y^2}$ の最大時刻（原点 より最も離れる時刻）
⑧ 最大実効雨量時の実効雨量（半減期 72 時間）	XYグラフに図示
⑨ " (半減期 1.5 時間)	"
⑩ 備考	

(5) 基準雨量の設定

① 発生危険基準線の設定

対象とする地域において集中的に発生したがけ崩れのデータを基に、がけ崩れ発生時刻までの降雨量および非発生時刻までの降雨量を実効雨量（時間半減期 72 時間、時間半減期 1.5 時間）で評価し、その境界線として発生危険基準線 (CL) を設定する。CL の設定パターンは表 3.9 が参考となる。

なお、降雨データが、時間雨量しか入手できない場合には、がけ崩れ発生 1 時間前の実効雨量と、がけ崩れ発生時刻の実効雨量との中間で CL を設定する方法もある (図 3.19)。

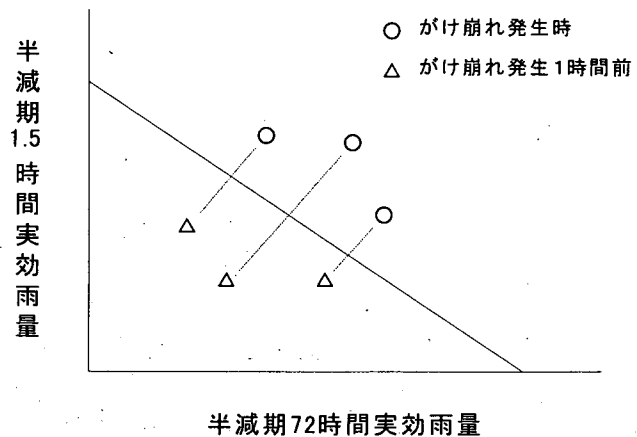


図 3.19 発生危険基準線 (CL) の設定

② 避難基準線の設定

今後の降雨状況に配慮して、避難場所へ移動するために必要な時間後に、実効雨量によるスネークラインが CL へ到達することが予想される場合、避難行動を開始するものとし、この境界線を避難基準線 (EL) とする (図 3.20(a))。

今後の降雨状況については、レーダ雨量計等を利用した短期降雨予測値により把握するものとするが当該地域における精度の確認ののち利用を判断する。短期降雨予測値が利用できないと判断される場合は、その地域における降雨実績等を参考に避難に要する時間内の想定雨量を定めて EL を設定する。

避難に要する時間は地域の実態に応じて定めることが望ましく、以下では避難に要する時間を1時間とした場合の設定方法について例示する。

- 1) A案・B案と同様、その地域における既往最大時間雨量を利用する（図 3.20(b)）。
- 2) 1)として設定した場合、発令頻度、空振り頻度が多くなった際には、土石流警戒・避難基準雨量で適用されることの多い10年超過確率時間雨量を利用する（図 3.20(c)）。
- 3) 2)として設定した場合、やはり発令頻度、空振り頻度が多くなった場合2年超過確率時間雨量を下限として設定する（図 3.20(d)）。

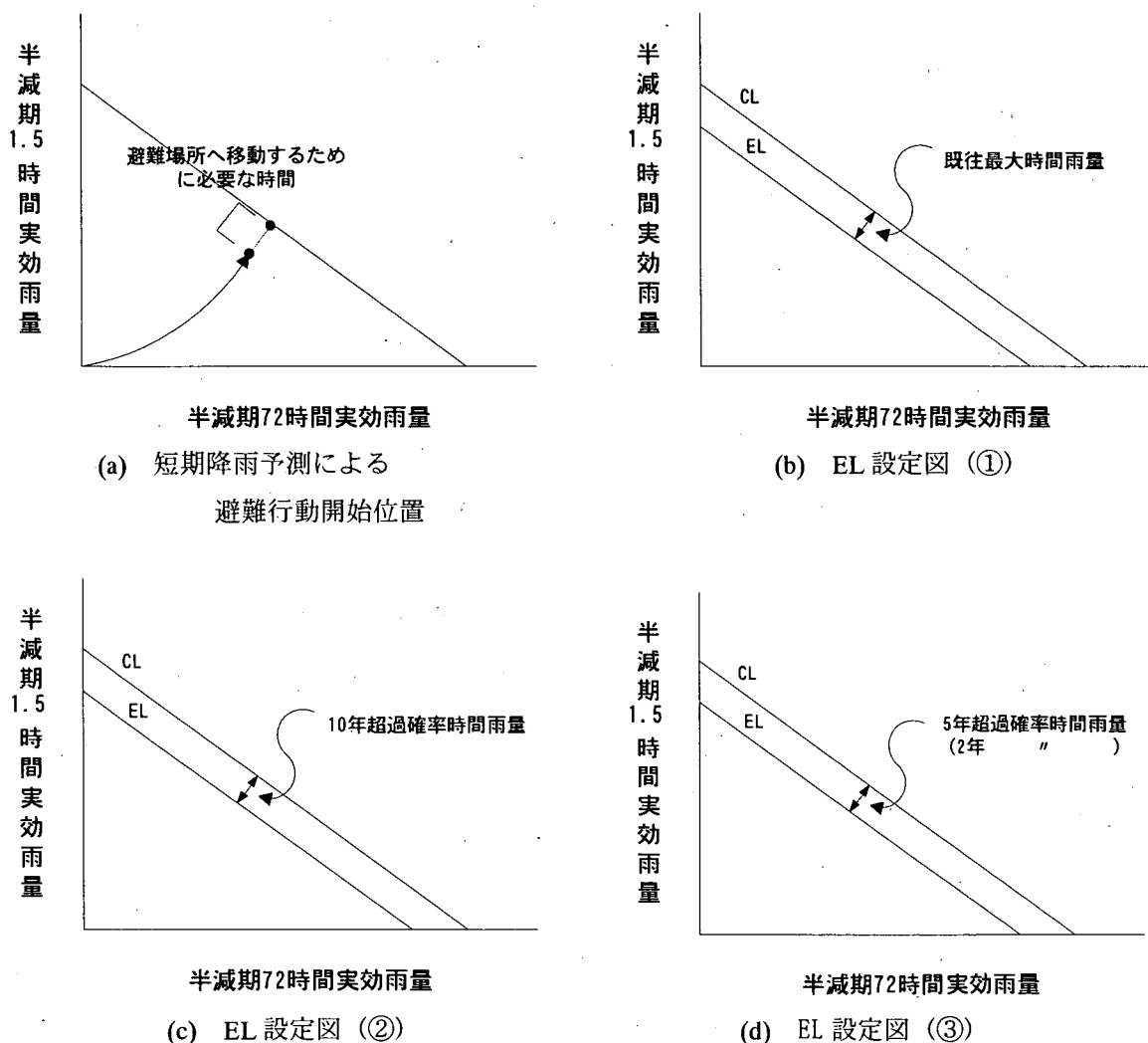


図 3.20 避難基準線の設定

③ 警戒基準線の設定

ELの設定と同様に、今後の降雨状況に配慮して、実効雨量によるスネークラインが次の条件を満たす場合、警戒体制を実施するものとし、この境界線をWLとする。

- 避難所要時間後には、実効雨量によるスネークラインが、CLに到達すると予想される場合。避難所要時間とは、避難準備時間と避難場所へ移動するために必要な時間の合計とする。
- 避難準備時間後には、実効雨量によるスネークラインが、ELに到達すると予想される場合。

今後の降雨状況については、レーダ雨量計等を利用した短期降雨予測値により把握するものとするが当該地域における精度の確認ののち利用を判断する。短期降雨予測値が利用できないと判断される場合は、その地域における降雨実績等を参考に避難所用時間内の想定雨量を定めてWLを設定する。

避難所用時間は地域の実態に応じて定めることが望ましく、以下では避難準備時間を1時間、避難場所へ移動するために必要な時間を1時間の合計2時間を避難所用時間としたWLの設定方法について例示する。

- 1) A案・B案と同様、その地域における既往最大時間雨量を利用する。または、既往最大2時間雨量を利用する(図3.21(b))。
- 2) 1)として設定した場合、発令頻度、空振り頻度が多くなった際には、10年超過確率時間雨量を利用する。または、10年超過確率2時間雨量を利用する(図3.21(c))。
- 3) 2)として設定した場合、やはり発令頻度、空振り頻度が多くなった場合、2年超過確率時間雨量を下限として設定するものとする。または、2年超過確率2時間雨量を利用する(図3.21(d))。

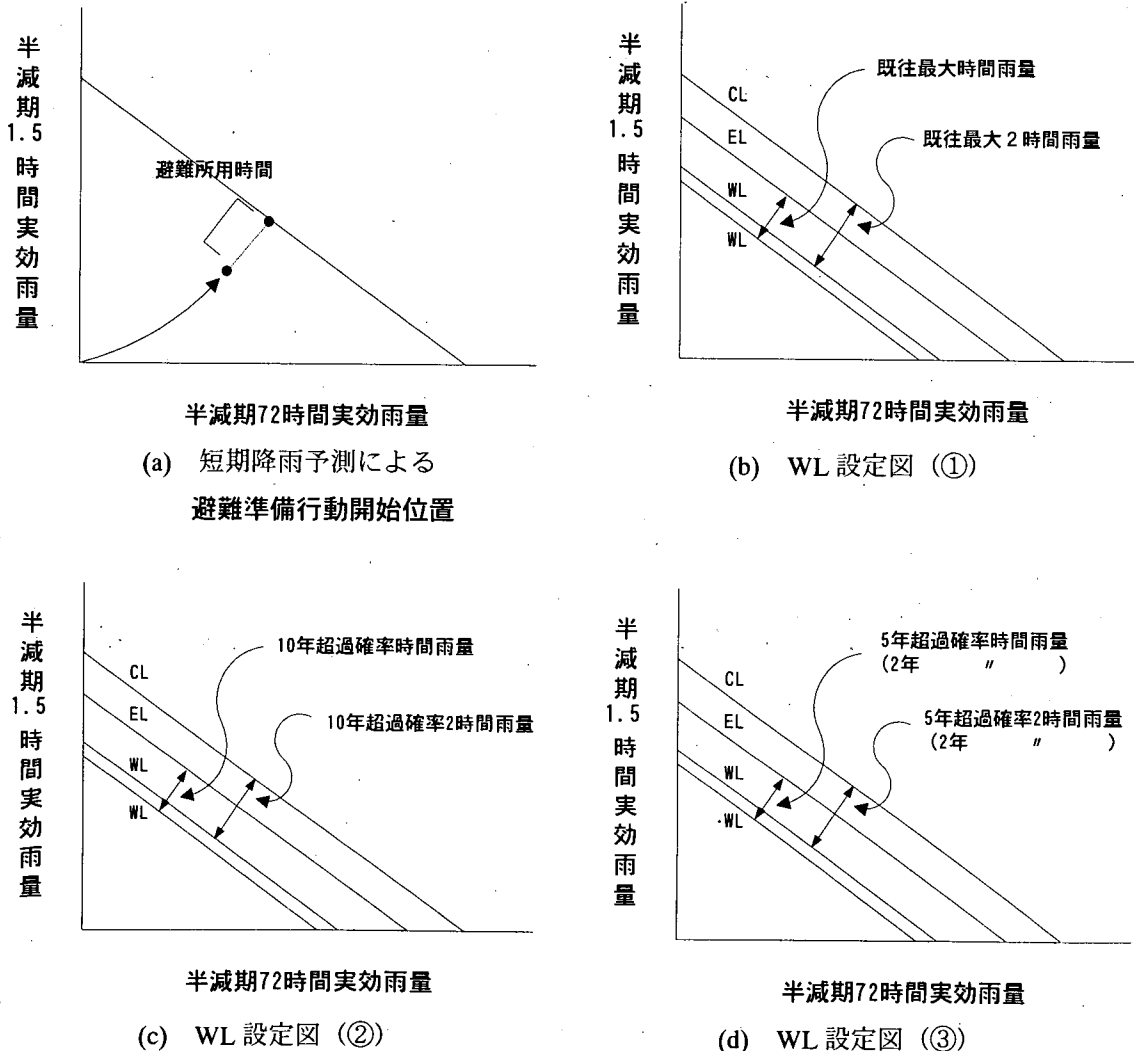


図 3.21 警戒基準線の設定

④ 土石流発生基準線、警戒基準線、避難基準線の妥当性の検討

各基準線の妥当性の評価方法は、設定手法案の中では述べられていないが、A案・B案の方法と同様に行うことが考えられる。

なお、非発生降雨が各基準を超過する頻度を求めるとき、基準線の傾きにもよるが表 3.8 ⑦、⑧の最大実効雨量時点で評価するとよい。

⑤ 警戒・避難基準雨量の設定

複数案の検討ののち、CL、EL、WL が妥当なものであると判断されたものについて、警戒基準雨量と避難基準雨量を設定する。

3.4.3. 手法の特徴と利用にあたっての注意点

(1) 半減期の取り扱い

半減期は、地域の流出・貯留特性を表現する指標と考えられる。地表の特性を表す半減期 1.5 時間については、著しい地域差は考えにくい、地中の特性を表す半減期 72 時間については地域差に応じた調整を行うことも試みたい。調整にあたっては、タンクモデル等の流出解析により別途検討したり、試行錯誤的に発生・非発生降雨を分離しやすい半減期を経験的に得られた値とするなどの方法が考えられる。

(2) スネークラインの推移特性

この手法によるスネークラインは、矢野案とほぼ同じ特性を示す。同時に矢野案によるA案の改善点も本手法においても評価できる。すなわち、長雨や断続的な降雨への対応や避難解除の判断材料として有効性を示す。

3.5. 基準雨量設定にあたっての留意事項

3.5.1. 基準雨量設定のための地域区分

基準雨量の設定は、対象箇所の特性を反映させるために、溪流・斜面ごとに設定することが望ましい。

しかしながら、設定のための降雨データや災害発生事例が十分に無い現状等もあり、地形・地質・植生など基準値を左右する条件が類似する地域を区分して、地域区分ごとに基準雨量を設定する方法が実用的である。

地域区分に用いる条件は、降雨データや災害発生事例の収集状況に応じて、土石流やがけ崩れなど対象現象の特性を踏まえ、発生に関わり深い素因条件のうち地域区分や基準雨量の設定が可能となる条件を選定する。また、避難の指示・勧告が市町村長の責務として市町村ごとに運用されることや、土砂災害危険箇所の管轄、気象予警報などの関連基準の地域区分など、運用面を考慮することも必要であろう。

3.5.2. 災害発生降雨の収集と選別

土砂災害の発生実績に関する資料は、都道府県砂防部局や道路部局における災害報告や新聞、聞き込み調査等によって広く収集することが望まれる。

これらの災害資料は、内容や正確さなどが異なる様々な情報が入り乱れることが多いため、基準雨量の設定にあたっては、設定しようとする基準のレベルを定めた上で、信頼性によって選別した発生降雨を用いることが重要である。

(1) 基準のレベル

「基準のレベルを定める」とは、小規模なものから大規模なものまで発生する土砂移動現象について、災害をもたらす土砂移動の規模あるいは設定する基準雨量で対処する土砂移動の規模を定めることである。

実際には、土砂移動の発生場と人家等との位置関係や土砂量の多少等によって災害となったり、逆にならなかつたりもするので、土砂移動現象の規模を予め設定することは困難な場合が多い。しかしながら、無条件に収集された全ての災害発生降雨を取り扱えば、偶然性の強い小規模な土砂移動現象等も含めて取り扱うことになり、結果的に低めの基準となって空振りが多くなるなどの問題が容易に予想される。

そのため、提言案のように降雨のピーク付近で位置的にもある限られた範囲に集中的に発生する複数の土砂移動現象を限定的に対象とすることで、偶然性の強い小規模なものや、降雨以外の要因に強く起因した可能性のある特異な崩壊などを除外した上で、限定された土砂移動現象の発生降雨をもとに基準雨量を設定することが実際的である。

(2) 発生降雨の信頼性

発生降雨の信頼性は、発生時刻の正確さや発生時雨量を評価する雨量データの質（10分間雨量、1時間雨量等）、雨量データの空間的な代表性などによって評価する。

① 発生時刻の正確さ

発生時刻の正確さは、目撃証言によるものであるか、また、複数の証言によって裏付けられたものであるか、発生後に発見された時刻と取り違えられていないか、降雨の激しかった

時刻に応じて安易に推定されたものでないかなどのチェックポイントがあげられる。

② 発生時雨量を評価する雨量データの質

発生時雨量を評価する雨量データの質は、例えば、発生時刻が7:40と判明しており、1時間雨量データを用いて発生時の時間雨量を求めようとするとき、6:00～7:00の時間雨量を当てるか、それとも7:00～8:00の時間雨量を当てるかによって発生雨量を左右するということがある。1時間あたりの雨量が大きい場合ほどこの問題が深刻となるので、できるだけ10分間雨量など短い単位時間の雨量データを利用すべきである。10分間雨量などの入手が困難な場合には、7:00～8:00の時間雨量が60mmのとき、7:00から発生時刻(7:40)までの雨量を比例配分によって $(60\text{mm}/60\text{分}) \times 40\text{分} = 40\text{mm}$ と取り扱うなど状況に応じた工夫が必要である。

③ 雨量データの空間的な代表性

災害発生箇所と雨量観測所は離れていることが多い。その隔たりが大きいほど、地形的障害や雨域の移動・発達・収束等の様々な影響が増し、災害発生箇所の雨量を正確に把握することが困難となる。そのため、災害発生箇所と雨量観測所の距離を指標に信頼性を評価することが有効である。

情報基盤緊急整備事業などによって雨量観測網の充実が図られている現在では、このような問題が改善されつつあるが、過去の土砂災害について発生箇所の雨量を知ろうとする場合にはどうしても付きまとう問題である。

土砂災害の発生実績が少ない地域では、代表性の問題を考慮してデータを選別すると、基準雨量の設定に利用できる発生降雨がほとんど無くなってしまうこともある。このため、少ない発生実績を活用するために時刻ごとの等雨量線により災害発生地点の雨量時系列を推定するなどの試みもある³⁸⁾。

3.5.3. 災害非発生降雨の収集と選別

非発生降雨は、地域区分ごとに代表する1観測所の雨量データを用いて整理されることが多い。しかしながら、地域区分が大きく一つの雨量観測所では代表し得ない場合や、過去に発生降雨が無いあるいは少ない場合、非発生降雨の信頼性が重要となる。このようなケースでは、地域区分内の複数の観測雨量データを用いて多くの非発生降雨を抽出したり、画一的に最大時間雨量時をもって非発生時刻とするのではなく、非発生期間のスネークラインによって全容を視覚的に把握できるようにするなど、非発生領域をより明確に把握する工夫が望まれる。

3.5.4. CL設定の客観性の向上

CLの設定は、XYグラフ上の発生・非発生降雨の分布状況に応じて設定するが、その分布状況によっては客観性を欠くものとなりがちである。

そのため、CLの設定パターンとして原則的な考え方を表3.9にとりまとめたので参考とされたい。

特に、発生降雨がなく、非発生降雨のみでCLを設定せざるを得ないケースでは、「3.5.3.

「災害非発生降雨の収集と選別」で述べた方法を参考に非発生領域をより明確に把握する工夫をした上で、表 3.9 および図 3.22 を参考として設定されたい。

- ① 地域区分内で長期間の降雨資料がある観測所を複数選定する。
- ② 歴代の最大雨量を更新するような降雨で土砂災害が多いことを考慮して、前後に 24 時間の無降雨期間を有する一連の降雨のうち、長期的な降雨指標（下図では実効雨量半減期 72 時間）が最大となる降雨と、短期的な降雨指標（下図では実効雨量半減期 1.5 時間）が最大となる降雨を除き、残る全ての降雨についてスネークライン（非発生スネークライン）を描く。
- ③ 非発生スネークラインの X Y 値が最大となる点を基点に補助線を設け、それを平行移動することにより非発生スネークラインの上限に CL を設定する。これにより、X Y 両軸に対する重み付け（傾き）を降雨実績に応じたものとする。

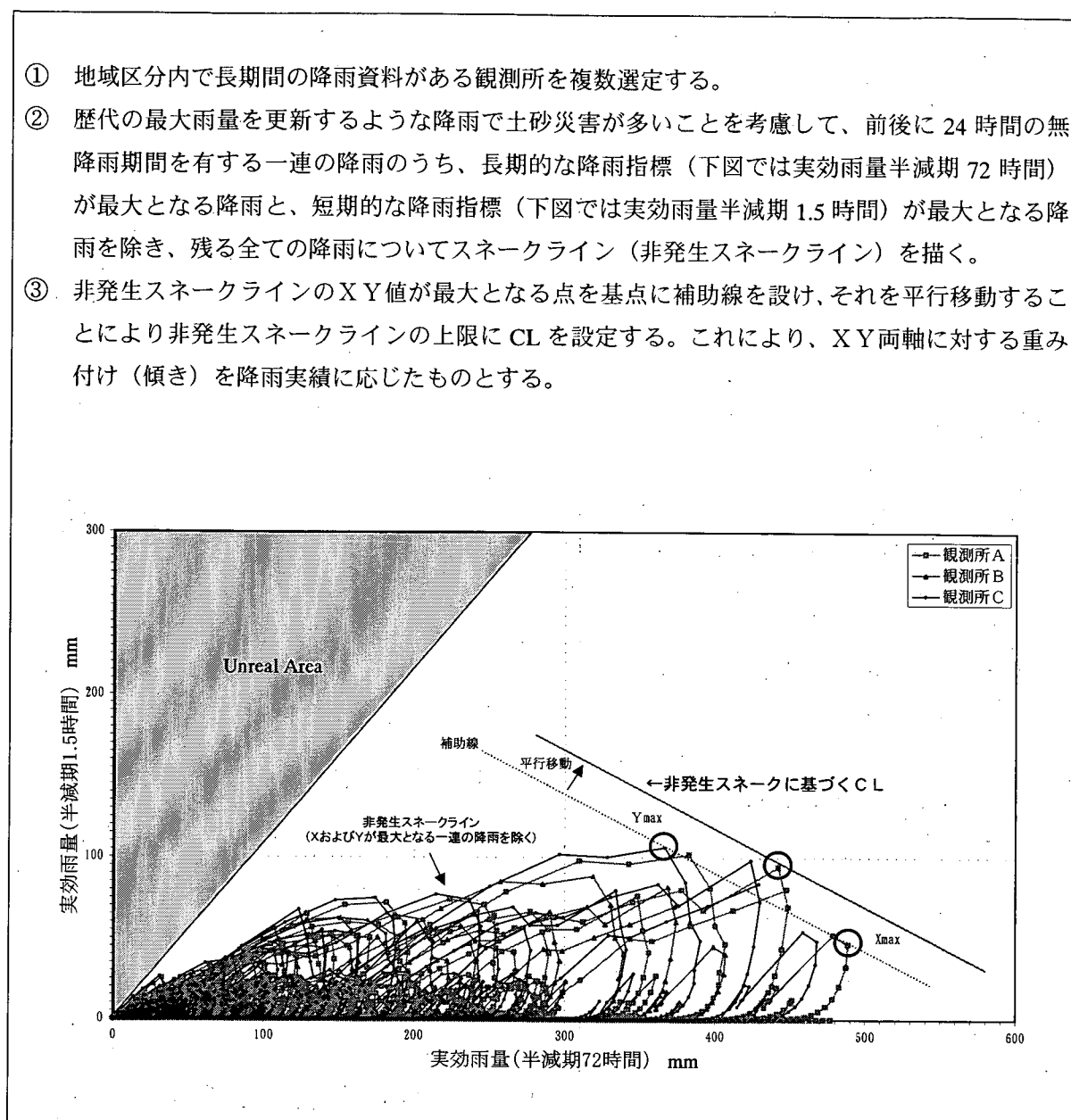


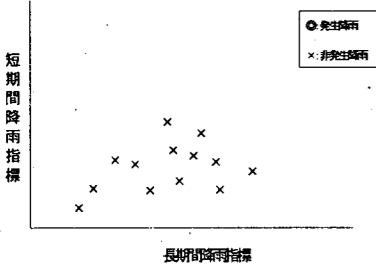
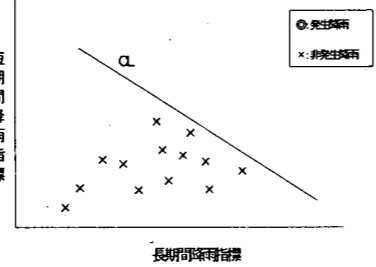
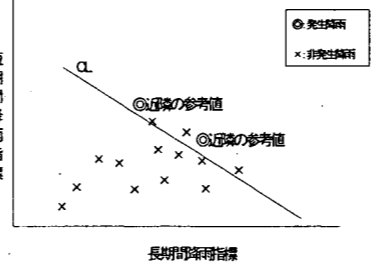
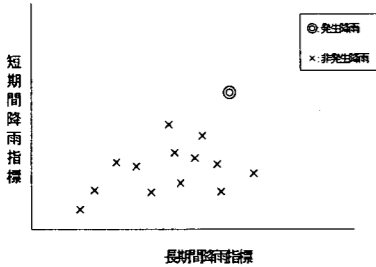
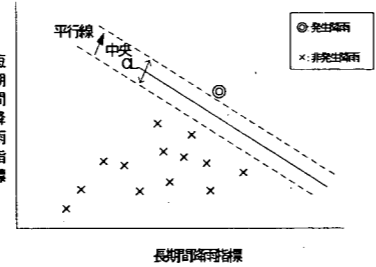
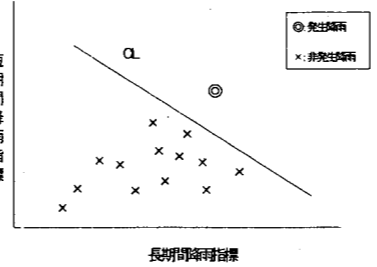
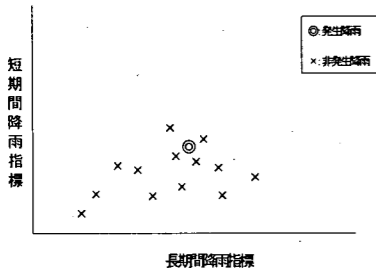
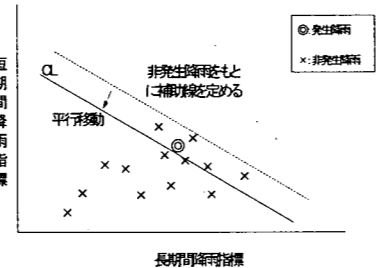
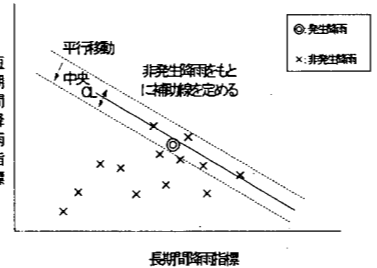
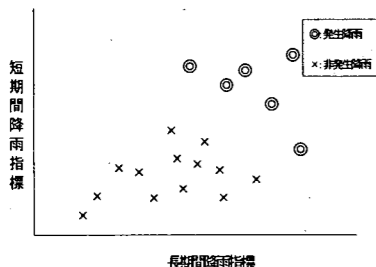
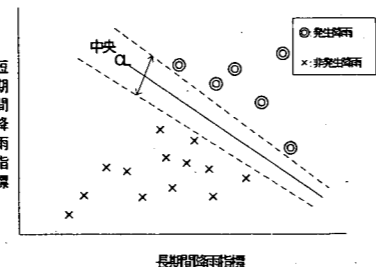
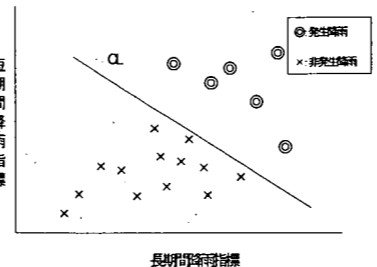
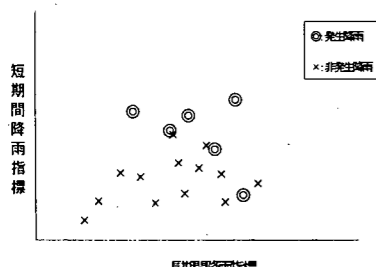
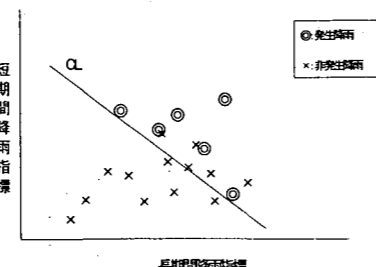
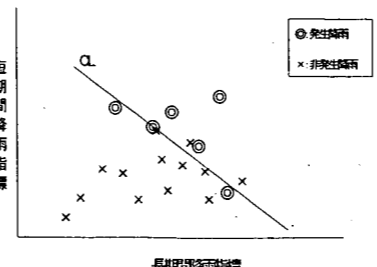
図 3.22 非発生降雨のみでの CL 設定の概念

なお、CL の客観性の向上を図る方法には、スネークラインを利用した他の方法²⁷⁾や重判別分析³²⁾³⁴⁾による方法、ニューラルネットワークモデル³⁹⁾を利用した方法などがある。

3.5.5. 特殊な地域での適用（火山等）

いずれの手法も縦軸は、1 時間程度の雨量強度を示す指標となっているが、活火山等の地域（鹿児島桜島等）等で土砂が移動しやすい状態にあるときは、10 分間あるいは 20 分間程度の雨量が適当である場合もある。

表 3.9 発生危険基準線 (CL) の設定パターン

発生・非発生降雨の分布パターン	CL の設定パターン		
	発生・非発生降雨の信頼性：高い	発生・非発生降雨の信頼性：低い あるいは 不明	適用
<p>発生降雨がない場合</p> 	<p>非発生降雨の上限に設定</p> 		<p>信頼性が高いプロットの場合は、図 3.22 の適用も視野に入れ、非発生降雨の上限を基本として CL を設定する。</p> <p>信頼性が低いあるいは不明なプロットの場合には、中でも信頼性の高いプロットのみに着目した設定を試みる。困難な場合は、比較的素因の類似する近隣の発生降雨を参考とする。</p>
<p>発生降雨が 1 つで非発生降雨と離れる場合</p> 	<p>発生と非発生の中央に設定</p> 	<p>非発生の上限に設定</p> 	<p>発生プロットが 1 つで CL の傾きを得難いため、非発生降雨の上限線を補助線として CL の傾きを定める。</p> <p>信頼性が高いプロットの場合は、発生・非発生分布の中央を基本として補助線を平行移動した CL を設定する。</p> <p>信頼性が低いあるいは不明なプロットの場合には、中でも信頼性の高いプロットのみに着目した設定を試みる。困難な場合は、図 3.22 の適用も視野に入れ、非発生の上限を基本として CL を設定する。</p>
<p>発生降雨が 1 つで非発生降雨と混在する場合</p> 	<p>発生の下限に設定</p> 	<p>混在領域に設定</p> 	<p>発生プロットが 1 つで CL の傾きを得難いため、非発生降雨の上限線を補助線として CL の傾きを定める。</p> <p>信頼性が高いプロットの場合は、発生の下限を基本として補助線を平行移動した CL を設定する。</p> <p>信頼性が低いあるいは不明なプロットの場合には、中でも信頼性の高いプロットのみに着目した設定を試みる。困難な場合は、図 3.22 の適用も視野に入れ、発生・非発生混在域の中央を基本として補助線を平行移動した CL を設定する。</p>
<p>発生降雨と非発生降雨が離れる場合</p> 	<p>発生と非発生の中央に設定</p> 	<p>非発生の上限に設定</p> 	<p>信頼性が高いプロットの場合は、発生・非発生分布の中央を基本として CL を設定する。</p> <p>信頼性が低いあるいは不明なプロットの場合には、中でも信頼性の高いプロットのみに着目した設定を試みる。困難な場合は、図 3.22 の適用も視野に入れ、非発生の上限を基本として CL を設定する。</p>
<p>発生降雨と非発生降雨が混在する場合</p> 	<p>発生の下限に設定</p> 	<p>混在領域に設定</p> 	<p>信頼性が高いプロットの場合は、発生降雨の下限を基本として CL を設定する。</p> <p>信頼性が低いあるいは不明なプロットの場合には、中でも信頼性の高いプロットのみに着目した設定を試みる。困難な場合は、図 3.22 の適用も視野に入れ、発生降雨と非発生降雨の混在する領域に CL を設定する。</p>

