

H25. 10. 17

富山県立大学 企業経営概論

H25 年度 企業経営概論（環境）

「企業経営にももちろん使える AHP による意思決定のススメ」

株式会社アドバンテクノロジー

濱 崎 英 作

目 次

1. はじめに.....	- 2 -
2. AHP (階層型分析法) の基本.....	- 3 -
2.1 AHP 法 (階層型分析法) とは.....	- 3 -
2.2 AHP 法のもっとも簡単な事例.....	- 4 -
2.3 もっともよく使われる AHP 法—相対比較法—の手順.....	- 5 -
3. AHP 絶対評価法の考え方.....	- 7 -
3.1 通常の AHP 相対比較法の問題点.....	- 7 -
3.2 AHP 絶対評価法.....	- 7 -
3.3 空中写真を用いた地すべり危険度評価法に AHP 絶対評価法を用いた理由.....	- 8 -
3.4 「暗黙知」を「形式知」に変えるとは.....	- 9 -
4. 地すべり地形及び発生危険評価.....	- 11 -
4.1 地すべり地形及び発生危険度の定義と判読範囲・視点.....	- 11 -
4.2 地すべり地形危険度判定のための評価基準の作成.....	- 16 -
5. 検証.....	- 25 -
5.1 2004 年中越地震.....	- 25 -
5.2 2007 年大雨災害.....	- 25 -
5.3 2008 年岩手宮城内陸地震.....	- 25 -
5.4 2008 年岩手宮城内陸地震の追加判読検証.....	- 26 -
5.5 先端勾配比.....	- 27 -
5.6 まとめと考察.....	- 28 -
6. これからの課題と提言.....	- 29 -
6.1 カルテ判読技術の問題.....	- 29 -
6.2 異なる撮影年次の空中写真をカルテ評価に使用する.....	- 29 -
6.3 地すべり内部地下構造の把握.....	- 29 -
6.4 地すべり地形判読技術者にもとめられるもの.....	- 29 -

1. はじめに

経済にあつてはリーマンショック、危機的重大事故にあつては福島原発事故、政治においては竹島、尖閣諸島領有地問題など混迷を深める現代社会にあつてまさしく一寸先は「闇」といっても過言ではない。ちょっとしたリーダーの舵取りの失敗が取り返しのつかない事態を引き起こしかねないのである。このような社会にあつて、「意思決定」というキーワードはますますその重要性を増している。すなわち、何が最重要課題なのか戦略的目標をたて、その目標達成のために最適な選択を効率よく行うことが重要になってくる。このような「意思決定法」のツールとして登場したのが AHP 法である。

AHP 法は 1971 年に“Thomas L. Saaty”によって提唱されたもので、統計値もさることながら経験値や勘など基に一对比較を行い意思決定する手法である。AHP 法は、その提唱以降いままですべて評価基準の「定量化」がきわめて容易な手法としてさまざまなケースで適用され、またその手法自体もその他の理論（たとえばファジイ理論）などを取り入れたりすることで発達してきた。

実は、AHP 法の有名な適用事例は多い。たとえば、1996～1997 年のペルー日本大使公邸人質事件では、Saaty 教授がペルー当局からの依頼で政府の取るべき行動を AHP 法を使って検討したと云われている。また、日本では 1996 年、国会等移転審議会などで 10 候補地の中から「栃木・福島地域」、「岐阜・愛知地域」を選定し答申したときにも使われている。

今回、“企業経営概論で話す“という課題を与えられたため「企業経営にももちろん使える AHP による意思決定のススメ」のようにハウツー本のようなタイトルにしたが、著者は企業経営そのものでは門外漢である。しかしこれまで AHP 法を「空中写真をもとにした地すべり地形の危険度評価法の開発」や「地震地すべりの評価手法」などで使ってきた経験から、AHP 法がこれまでの統計手法とは異なる融通性を持ちながら合理的に説明可能な非常に優れた手法であることがわかってきた。したがって、おそらく企業経営のような場面でももちろん使えると信じている。

受講生諸氏には、そのようなことを踏まえそれぞれの立場で何に使えるかを想定しながらお聞きいただき、何がしのヒントを得ることができれば幸いである。

2. AHP (階層型分析法) の基本

2.1 AHP 法 (階層型分析法) とは

我々は、車や家など高額なものを買うとき、慎重になっていろいろ悩みが深くなったりするものである。そのとき、いくつかの決定に至る判断基準（たとえば、家を買うときなら「価格」「駅までの距離」「広さ」「自然」「生活利便性」・・・）が複数あるなかで自分なりの基準軸が単純明確だと決定に至るのも容易である。しかし、あいまいなままだと悩みが深くなり、後々後悔することもしばしばである。これが個人でなく、企業や集団の重要事項（たとえば社屋をどこにするか等）を決定・決断する必要があるとき、「意思決定」に至るまでの客観的・合理的な判断のプロセス（判断根拠）が強く求められる。

このような問題の解決に対して、米国ピッツバーグ大学の T.L. Saaty^[3] は AHP 法 (Analytic Hierarchy Process 階層化意思決定法・階層分析法) を提唱した。その手法の最大の特徴は「判断基準となる項目間の相対的な影響力の強さを測定する手法」で、最大の利点は「曖昧な判断基準を明確に定量化してみせる」ことである。

具体的には、課題をレベル 1「最終目的」ーレベル 2「評価基準」ーレベル 3「代替案」の視点で分解し、各要素を階層化して把握し、同レベルにある要素の一対比較により各要素のウェイトを決定して、それらに基づく総合点数によって意志決定などを支援するシステムである（図 2.1）。判りやすく言えば、”いくつかの候補の中から最良のものを選ばなければいけないとき、いくつかの項目で一対比較し勘や直感などを取り入れつつ合理的な決定を促す方法”である。

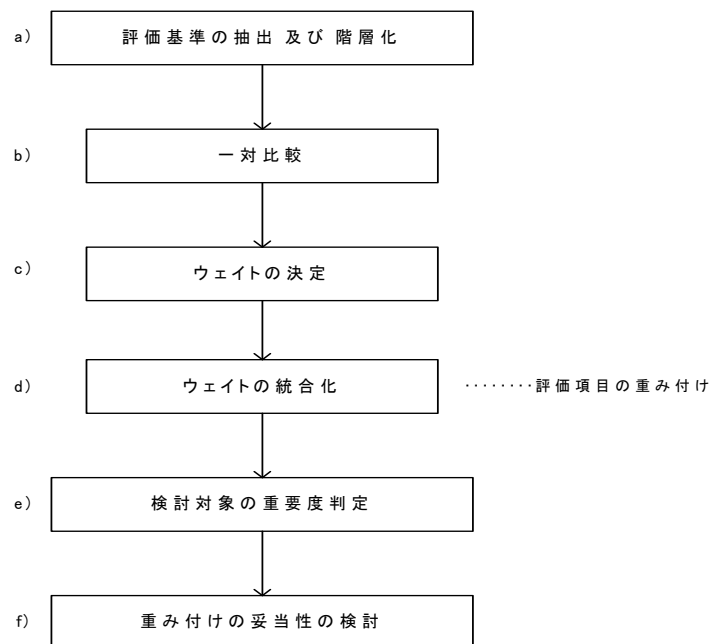


図 2.1 AHPの手順

この手法の特徴は、①各要素の評価が主観的な評価基準によるため、対立する概念や尺度の違う要素も比較できる、②一対比較を用いるため評価が簡単であり、全体を通しての重要度は「結果的に」得られる、③数量的な手法であるため他の案と定量的に比較できる、④ある要素の全体に及ぼす影響力や、判断の整合性が確認できる、等である。

方法は至極簡単で、キーワードは「一対比較」と その「重み付け（多くは幾何平均で計算）」※¹ だけである。エクセルなどを使うと、慣れればものの1時間もすれば最良の決定案（AHP では” 代替案” と呼ぶ）を選定することができる。

2.2 AHP 法のもっとも簡単な事例

冒頭に示した、「車を買換えるとき」を例題にしてみよう。これは階層図でみると目的となる（図 2.2 参照）。

ここで、評価基準は 「乗り心地」 「お値段」 「スタイル」 にしてみる。

対称車種は 車-A、 車-B、 車-C、 車-D の4車種である。

このとき、比較する「案」を「代替案」と一般に呼んでいるが、「比較案」と読み替えることも可能である。

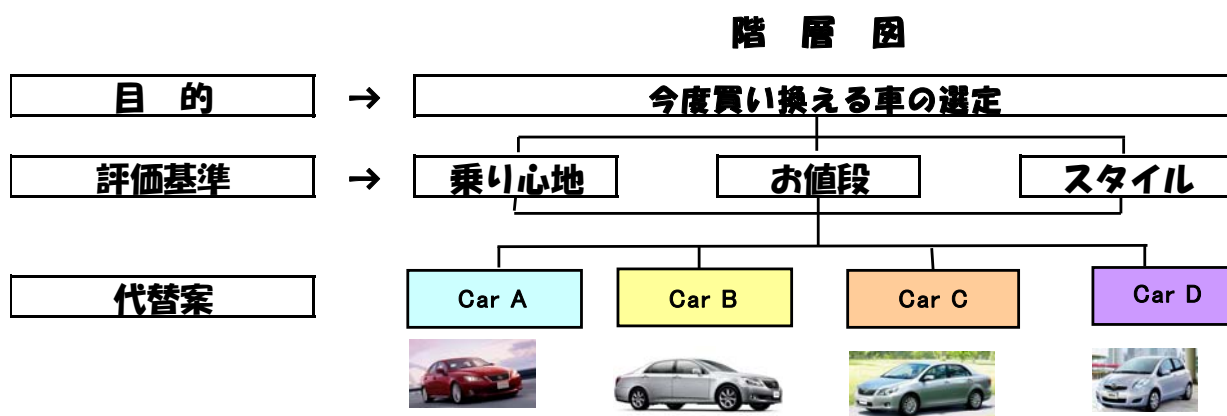


図 2.2 車買い換えのための AHP 階層図

2.3 もっともよく使われる AHP 法—相対比較法—の手順

ここで車の買い換えが必要な某氏は「乗り心地重視でスタイルにはあまり興味がない 60 才～65 才の男性」ということにする。

- 1) まず評価基準 「乗り心地」 「お値段」 「スタイル」 について一対比較を行う。
一対比較は表 2.1 に示すようなマトリックスに置き換える。同じ項目どうしは「同じ＝1」である。
 - ① まず、横に見て行くと「乗り心地」が「お値段」に比べて3倍重要と考えたら「3」となる。
 - ② そのとき対角線項目は「お値段」を「乗り心地」と比較するとき①の逆数で1/3となる。
 - ③ このときの比較度合いに応じて表 2.2 に示すように3、5、7（逆は1/3、1/5、1/7）とする。
なお、時として、2、4、6の偶数もあるが一般には奇数を用いている。
 - ④ 3×3のすべての比較が終わったら、それぞれの項目で幾何平均^{*1}を行う。
ex) 「乗り心地」＝ $(1 \times 3 \times 5)^{1/3} = 2.466$
 - ⑤ それぞれの幾何平均値がもとまったら、全体の和が100となるように再計算する。
これが、評価基準のウェイトになる。ここではこれをウェイトaとする。

表 2.1 AHP 法の一対比較表

	乗り心地	お値段	スタイル	幾何平均	ウェイトa
乗り心地	1	3	5	2.466	64
お値段	1/3	1	3	1.000	26
スタイル	1/5	1/3	1	0.405	10
				3.872	100

幾何平均

$$Gm = \left(\prod_{i=1}^n X_i \right)^{1/n}$$

表 2.2 一対比較のための比較値

- 1: 両方の項目が同じくらい重要（逆も1）**
3: 行の項目の方が列の方より少し重要（逆は1/3）
5: 行の項目の方が列の方より重要（逆は1/5）
7: 行の項目の方が列の方よりかなり重要（逆は1/7）

- 2) 次に「乗り心地」 「お値段」 「スタイル」それぞれの評価項目に対して、検討車種（代替案）毎の一対比較を行う。考え方と評価項目における代替案毎のウェイトbの出し方は1) ①～⑤と同じである（表 2.3 参照）。

ただし、全体評価のなかではウェイトa×ウェイトbが真のウェイト（表 2.3 のa*b）」となる。

3) 全てのウェイトが求まったら、それぞれの検討車種（代替案）毎の評価基準ウェイトを全て合計する。

結果的に、これが代替案毎の評価点（AHP 点）である。すなわち、下記から A 車案がもっとも高い評価の 35.6 点を得ることから「A 車」が決定案となる。なお、ここではこのとき評価点の合計は 100 点となるようにウェイト調整されている。

A 車： 乗り心地 (28.0)+お値段 (3.2)+スタイル (4.4) = 35.6
 B 車： 乗り心地 (19.8)+お値段 (3.6)+スタイル (4.0) = 27.4
 C 車： 乗り心地 (9.3)+お値段 (7.4)+スタイル (1.2) = 17.9 (18.0)
 D 車： 乗り心地 (6.6)+お値段 (11.6)+スタイル (0.8) = 19.0

表 2.3 代替案の対比較とウェイト評価

乗り心地	Car A	Car B	Car C	Car D	幾何平均	ウェイト b	a * b
Car A	1	2	3	3	2.060	0.44	28.0
Car B	1/2	1	3	3	1.456	0.31	19.8
Car C	1/3	1/3	1	2	0.687	0.15	9.3
Car D	1/3	1/3	1/2	1	0.485	0.10	6.6
					4.688	sum=	63.7

お値段	Car A	Car B	Car C	Car D	幾何平均	ウェイト b	a * b
Car A	1	1	1/3	1/3	0.577	0.13	3.2
Car B	1	1	1/2	1/3	0.639	0.14	3.6
Car C	3	2	1	1/2	1.316	0.29	7.4
Car D	3	3	2	1	2.060	0.45	11.6
					4.592	sum=	25.8

スタイル	Car A	Car B	Car C	Car D	幾何平均	ウェイト b	a * b
Car A	1	1	3	7	2.141	0.42	4.4
Car B	1	1	3	5	1.968	0.39	4.0
Car C	1/3	1/3	1	1	0.577	0.11	1.2
Car D	1/7	1/5	1	1	0.411	0.08	0.8
					5.097	sum=	10.5

sum (all) = 100.0

*1) AHP 法の対比較重み（ウェイト）付け

ここでは重み計算で①幾何平均による手法を使ったが、Saaty がもともと提唱した AHP 法の対比較行列では②固有ベクトル法が基本となっている。そのほか③対数最小二乗法、④算術平均による方法などがある。②の固有ベクトル法は、対比較行列 A の最大固有値（主固有値）をもとめることに他ならない。しかし、②固有ベクトル法、③対数最小二乗法ではプログラム演算（パソコン）が必要であるが①幾何平均、④算術平均は電卓でも可能である。また①幾何平均法はマトリクスが大きくないとき②とほとんど同じ結果が得られることも知られている。

*2) 判断の整合性評価

ウェイト計算が成り立つのは、一連のウェイト計算が首尾一貫しているときに限られる。この首尾一貫性をはかる尺度として整合度（Consistency Index=CI）があり、これで対項目の整合性をチェックすることが重要である。CI は完全に整合しているとき 0、まったく整合しないとき 1 となるように設定され、通常は 0.1 以内が好ましいとされている。計算式は次の通り

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

ここ $\lambda_{\max}$ はゼロでない唯一の固有値

n は対比較項目数

3. AHP 絶対評価法の考え方

3.1 通常の AHP 相対比較法の問題点

よく使われる AHP の相対比較法は、次の 3 ステップからなっている。

ステップ 1： 評価軸となっている項目毎に一对比較し、評価軸のウェイトを決定する。

ステップ 2： 最終的に選択すべきいくつかの「代替案」で 1 対比較用マトリクスを作り
評価項目毎にウェイトを決定する。

ステップ 3： 各代替案ごとの評価軸で得たウェイトを積算し、各代替案のウェイト（評価点）とし最良案を導く。

この相対比較法については、次の 2 つの欠点がある。

①比較すべき代替案の数が少ないときは問題ないが、比較すべき案が多いときは煩雑となる。

②一旦、決まった後に代替案の項目が増加したりすると最初から全ての一对比較をやり直す
必要があり、当初に作られた代替案ウェイトの順位がまれに逆転するような場面が生じたりする。

具体的事例で言えば、何百とあるアパートの最適候補地を探るようなシステムを構築しようとするとき、あまたあるアパートのそれぞれで一对比較を行うことは最良のシステムとは言えないであろう。ただし、一对比較の検討する検討条件が増加したり減ったりしても判断がぶれないシステムが出来れば、もっとも使い勝手の良い仕組みといえる。

Saaty は、このような欠点を克服するため、「絶対評価法」の AHP を提案した。これは、判定すべきたくさん事象の診断システムを構築するようなとき威力を発揮するモデルである。

3.2 AHP 絶対評価法

AHP 絶対評価法は、評価基準の一对比較で求めたウェイトを共通の尺度値として実施する方法である。

基本は、評価軸の一对比較によるウェイトの計算ステップ 1 は相対比較法と同様に行うが、ステップ 2-3 の代替案については一对比較は行わず、各項目の評価軸において、それがどの程度の重要度の位置にあるか判断する尺度を構築することで代用する。

2.1 節の、車の買い換え問題を考えてみる。評価軸の一对比較によるウェイトは同じである。すなわち、「乗り心地は最大 64 点」「お値段は最大 26 点」「スタイルは最大 10 点」の評価点を基本軸としてもっている。もし「乗り心地」「お値段」「スタイル」すべてが満点なら合計は 100 点で、すべてが 0 点なら合計は 0 点である。さて、「乗り心地」や「スタイル」のような定性的なものについて絶対評価を与えるためには、その評価軸のインデックスとなる最高 (1)、最低 (0)、中間 (0.5) などを具体的にイメージできるものを準備することが必

要となる。

つまり、A 車案の評価をするにあたり、この評価軸のインデックス値と見比べながらウェイトを考えることが必要となる。たとえば最高点なら「ベ○ツ」で、最低点なら「ア○ト」、中間 (0.5) なら「ブルー▲ード」というふうに具体的イメージを持って「A 車案」を比べ評価する。さて「乗り心地」で A 車が「ブルー▲ード」より上で「ベ○ツ」より低く、ほぼその中間値であれば 0.75 というイメージを持つことが可能である。結果として、「ウェイト a」 $\times 0.75 = 48$ が A 車の「乗り心地」のウェイトとなる。

次の「価格」は定量的に示されそうである。たとえば 100 万円以下なら 1.0、300 万円を 0.5、1000 万円以上を限りなく 0 に近いと設定するとすれば、対数を使ったようなウェイトを与えることが可能となる。

さて、某氏の車買い替え問題を絶対評価法の方法に基づき行ってみると、表 3.1 のようになった。

尺度に対して「良い」、「安い」などの好材料に対し 1.0、悪い、高いの悪材料に対し 0.0 とし、それぞれの評価でとるべき位置を基準尺度と比較しながら 1.0—0.0 までの数値を与えた。結果、もとの相対比較法での順位は変わらず、最適案も A 車ということで一致している。すなわち、絶対評価法の評価尺度（スタンダード）を明確にすることができれば相対比較法と同様なウェイトと評点を与えることが可能といえる。

表 3.1 絶対評価法と相対比較法のウェイトの違い

評価基準	ウェイト ^a	1	0.5	0	Car A		Car B		Car C		Car D	
乗り心地	64	良い	普通	悪い	0.7	44.8	0.5	32.0	0.3	19.2	0.2	12.8
お値段	26	安い	普通	高い	0.1	2.6	0.2	5.2	0.5	13.0	1.0	26.0
スタイル	10	良い	普通	悪い	1.0	10.0	0.8	8.0	0.5	5.0	0.3	3.0
絶対評価法					1	57.4	2	45.2	4	37.2	3	41.8
相対比較法					1	35.6	2	27.4	4	17.9	3	19.0

3.3 空中写真を用いた地すべり危険度評価法に AHP 絶対評価法を用いた理由

空中写真を用いた危険度評価システム構築に AHP 法を使う最大の目的は、地すべり技術者のもつ「暗黙知」を「形式知」に変える、ということである。すなわち、経験と勘にたよった「危ない」「大丈夫」を危険度**点などのように表わすことができれば共通の評価軸が出来るため客観的となり多くの人に受け入れられやすくなる。また、これらによって「形式知」となった教科書を使えば、現場毎にどのポイントが危険で、どの位の危険度ウェイトがあるかということが合理的に整理できる。すなわち、地すべり技術をこれから学ぶ若い技術者にとって、先人の知恵を容易に借りて技術土台を構築できるというメリットがある。

では、AHP 法以外の手法でこのようなことはできないのか？ということであるが、以下 3 つの判断よりやはり AHP 法が最適と判断される。

- 1) 地すべり危険度手法を構築するに耐えうる質量ともにそろった分析用データは集めにくい。すなわち実際地すべり発生した現場の数量と地形、地質の判断要素などは全ての項目でそろふことなど極めて少ない。
- 2) 経験豊かな地すべり技術者を集めることが出来ても個人個人の経験値はバラバラで通常の統計手法（例えばアンケート方式など）になじまない。すなわち、地すべりの得意な分野や得意なエリアが微妙に異なったりして、普通的手法では評価軸を決めがたい。
- 3) 評価項目や評価軸決定には、経験者どうしのブレインストーミングが欠かせないが、これは「通常の統計解析」よりは「品質管理手法」に通ずるもので、「AHP法」ではもっとも得意とするところである。

3.4 「暗黙知」を「形式知」に変えるとは

「暗黙知」を「形式知」に変えるという原理について考察する。ここで「人の顔と年齢」について考えてみよう。

さて日本人なら日本人どうしで、西洋人なら西洋人どうしであれば「あの人はおよそ」30歳～40歳「くらいだ」「この人は」20歳前後」など、感覚的に判断できるであろう。

また、図3.1に示すように、複数の人間の歳の順位を考えると、その前後の人の顔を見比べながら入れ替えると大きくは間違わない。特に微妙な違いしかないときであればあるほど前後を一对比較しながら慎重に考える。

これこそが、AHPの肝心なところであるが、このとき何に着目して判断しているかを分析することがAHP手法の重要ポイントである。すなわち、もしこの「歳を決める」判断基準を明らかにし、それを階層化してウェイト評価できれば、それはまさに「形式知」に通じる評価法となる。

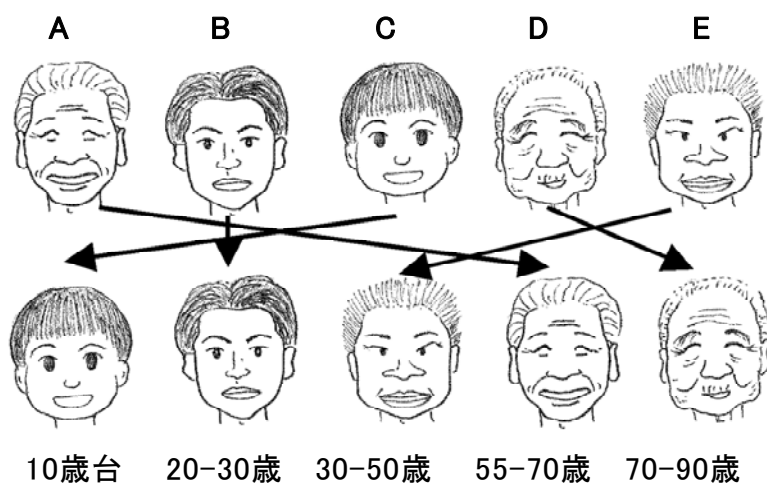


図3.1 人の顔から歳を類推する

さて、表 3.2 のように「しわの数」「たるみ具合」「髪の毛の量」「肌のきめ・ツヤ」の 4 項目を評価軸と考え、これを AHP で一対比較したとしよう．すなわち一対比較表から計算されたウェイトは表の右となる．また、絶対評価手法に基づき評価軸となるインデックスをそれぞれに用意しておく．またこの AHP 評点は 0 才から 100 才までの年齢とほぼ同じとなるようにウェイトを考えて行うこととする．

表 3.2 顔の歳を判断する評価基準の AHP

外見上の歳	しわの数	たるみ具合	髪の毛の量	肌のきめ・ツヤ	幾何平均	ウェイト
しわの数	1	2	3	7	2.546	49
たるみ具合	1/2	1	2	5	1.495	29
髪の毛の量	1/3	1/2	1	2	0.760	15
肌のきめ・ツヤ	1/7	1/5	1/2	1	0.346	7
					5.147	100

さて、この基準を元に図 3.1 の 5 人について評価してみる．結果は表 3.3 に示すとおりである．概ね妥当な歳を表しているようである．すなわちこれが AHP 法の極意である．

表 3.3 A—D 5 人における絶対比較表による AHP 評価

	W:ウェイト	評価軸			A		B		C		D		E	
		1	0.5	0	a	a・w	b	b・w	c	c・w	d	d・w	e	e・w
しわの数	49	多い	普通	ない	0.8	39.6	0.3	14.8	0.1	4.9	1.0	49.5	0.5	24.7
たるみ具合	29	たるんでる	普通	ない	0.7	20.3	0.4	11.6	0.1	2.9	1.0	29.1	0.6	17.4
髪の毛の量	15	ない	普通	多い	0.5	7.4	0.3	4.4	0.1	1.5	0.7	10.3	0.3	4.4
肌のきめ・ツヤ	7	粗い	普通	細かい	0.2	1.3	0.6	4.0	0.2	1.3	0.3	2.0	0.5	3.4
絶対評価					sum=	67	sum=	31	sum=	11	sum=	89	sum=	47

4. 地すべり地形及び発生危険評価

4.1 地すべり地形及び発生危険度の定義と判読範囲・視点

1) 「地すべり地形」の定義

地すべり特有の移動現象の過程では、その移動体が消滅するまで様々な形で特徴的な地形・微地形を形成し、地すべり発生領域では周辺の地形と異なる特有の「地すべり地形」を形成する（図 4.4）。

このような地形形成の成り立ちを踏まえ「地すべり地形」とは、「過去に地すべり滑動が発生した結果、周辺斜面から地形的に区分される範囲の内、最も外側のもの（滑動の結果形成された微地形を全て包含する範囲）」と定義する。

2) 「地すべり発生危険度」の定義

地震を除けば、日本国内で発生する地すべりの大半が過去の地すべりの再滑動である。このことを踏まえれば、まず実施すべき最初は、地すべり地形を抽出することである。したがって、地すべり地形を認知できない初性的な地すべりは除外することになる（ただし抽出技術についてはここでは述べてない）。

ここで「地すべり発生危険度」を、1)で定義した「地すべり地形」の中のどこかで、次の（再滑動を含む）地すべり現象が発生する可能性をいい、危険度評価の単位は現象の発生位置に関わらず「地すべり地形」全体とする、と限定つきで定義する。

（但し、不安定な部分が領域として小さく、かつ全体の地すべり破壊系列からはずれる局所的現象の場合は、この限りではない。）

また、以下の事項を付け加える。

- ・ 人工改変等の人為的影響による地すべりの発生などは、地質の要因が大きく、評価の対象外とする。
- ・ ここでいう「発生危険度」はあくまでも「発生しやすさ」であって「発生規模」や「移動時の周辺への影響」の評価ではない。
- ・ 統一された危険度の基準を考えるにあたり、ほぼ同様の地質（物質構成）で似たような営力形成時期の場にあることを前提とする。したがって、あくまで地形形態のみで判断される危険度基準である。

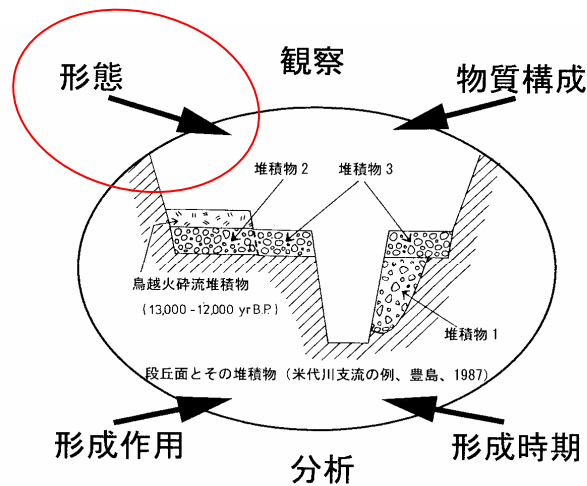


図 4.1 河岸段丘地形を例とした地形を構成する 4 要素の関係
(ここでは、形態をみる)

3) 判読の範囲と各判読アイテムの地すべり地形内での位置

以上のことから、判読の範囲も基本的に、上記の 1) で定義された「地すべり地形」であり、その内部微地形と周辺環境である。この時、地形で明瞭な岩盤クリープ等も考慮するが、基本的に参考程度とする。すなわち、初生の岩盤クリープ等では地すべり危険度の判定は困難である事を認識すべきと考える。

なお、判読ポイントが 1 つだけであるのはまれでありむしろ複数存在することが多々である。しかしながら、すべての項目が揃うこともまれであることも認識しておくことが重要である。

また、安全側に判断する立場からは、仮に複数あるとき判読アイテム中でより不安定側アイテムに注目すべきである。図 4.2 に判読対象となった地すべり微地形の位置の定義をした。すなわち、地すべりの長さ・幅について 1/3 ずつを区切って右、中央、左、上部、中部、下部とした。記載の位置は、これに従うこととする。

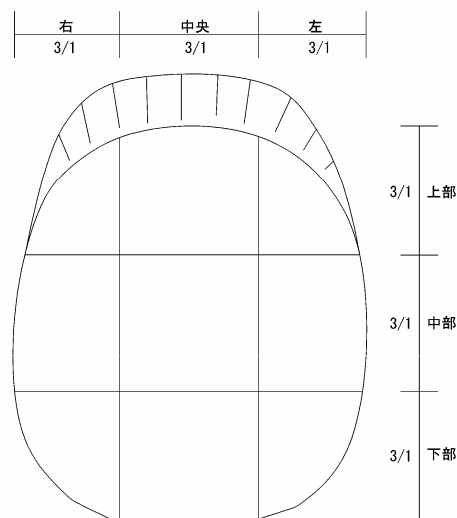


図 4.2 地すべり内部の位置の定義

4) 判読の視点

図 4.3 に地形発達史のなかで地すべり発生を理解する為の図を示した。それは、造構運動（隆起や沈降）や汎世界的規模での第四紀海水準変動における浸食基準面の変化と、非常に小さいタイムスケールの中での風化・浸食・堆積プロセス、及び突発的地震や集中豪雨時などによる地すべり変動を概念的に示したものである。

また、図 4.4 に地すべり地形の変化プロセスとその指標となる微地形を示した。図のように地すべりの多くがその発生から終期までの間で、再滑動・活発期を経て、活動停止、解体などの過程をたどっているといえる（I、I-4）。もちろん、その中にはそのまま再滑動もなく浸食にさらされ、移動体自体が消滅して行くこともある（IV）。

活発なものは絶えず、亀裂や圧縮などに伴う微地形が至る所で形成されたり、末端が細かくなって小さな地すべりに分化したりして、あたかも流動しているかのような微地形形状を示すことがある。このような「活発な地すべり」は当然のことながら「危険度」が高い。逆にガリーや浸食谷などが入り込んで自然に浸食解体されていくような地すべりでは、崖錐や沖積堆が出来たりシャープだった微地形がだんだん丸みをおびたりして、長期間地すべり再動がない状態が続く。その場合は不活性な地すべりと判断され、「危険度」が小さい地すべりといえる。

このように微地形を突き詰めていくと、いくつかの着目すべきアイテムが判明していく。それは先ほどあげた微地形であったり、地すべり形成場の環境（たとえば、図 4.6 の河川の攻撃斜面）であったりする訳である。これらを抽出しカテゴリーなどに分類整理して前述の AHP 法を用い地すべり技術者同士のブレインストーミングを通して危険度手法に関する合意形成プロセスを経て、実用的な危険度判定用のカルテを作ることが重要である。

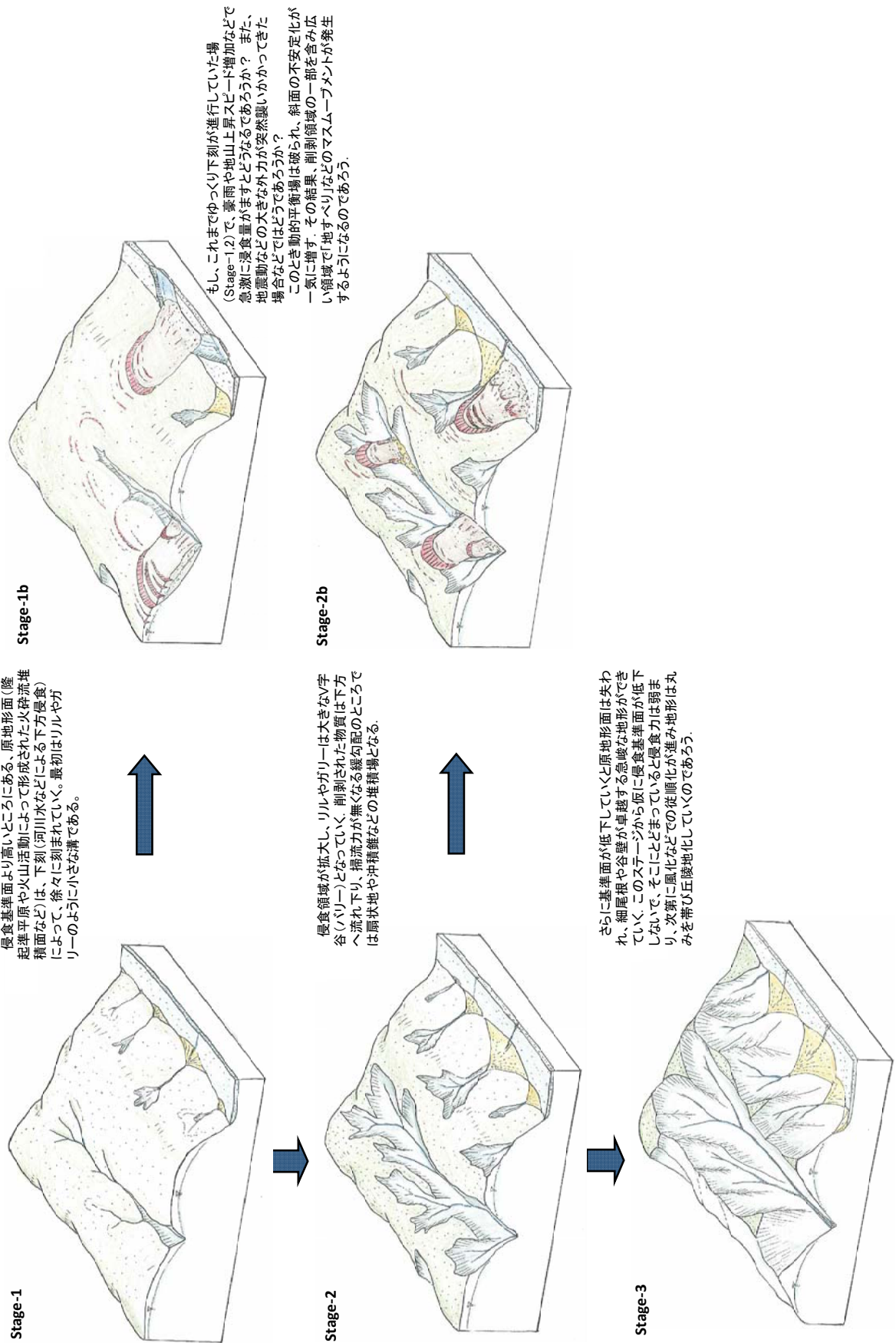


図 4.3 地形発達と地すべり

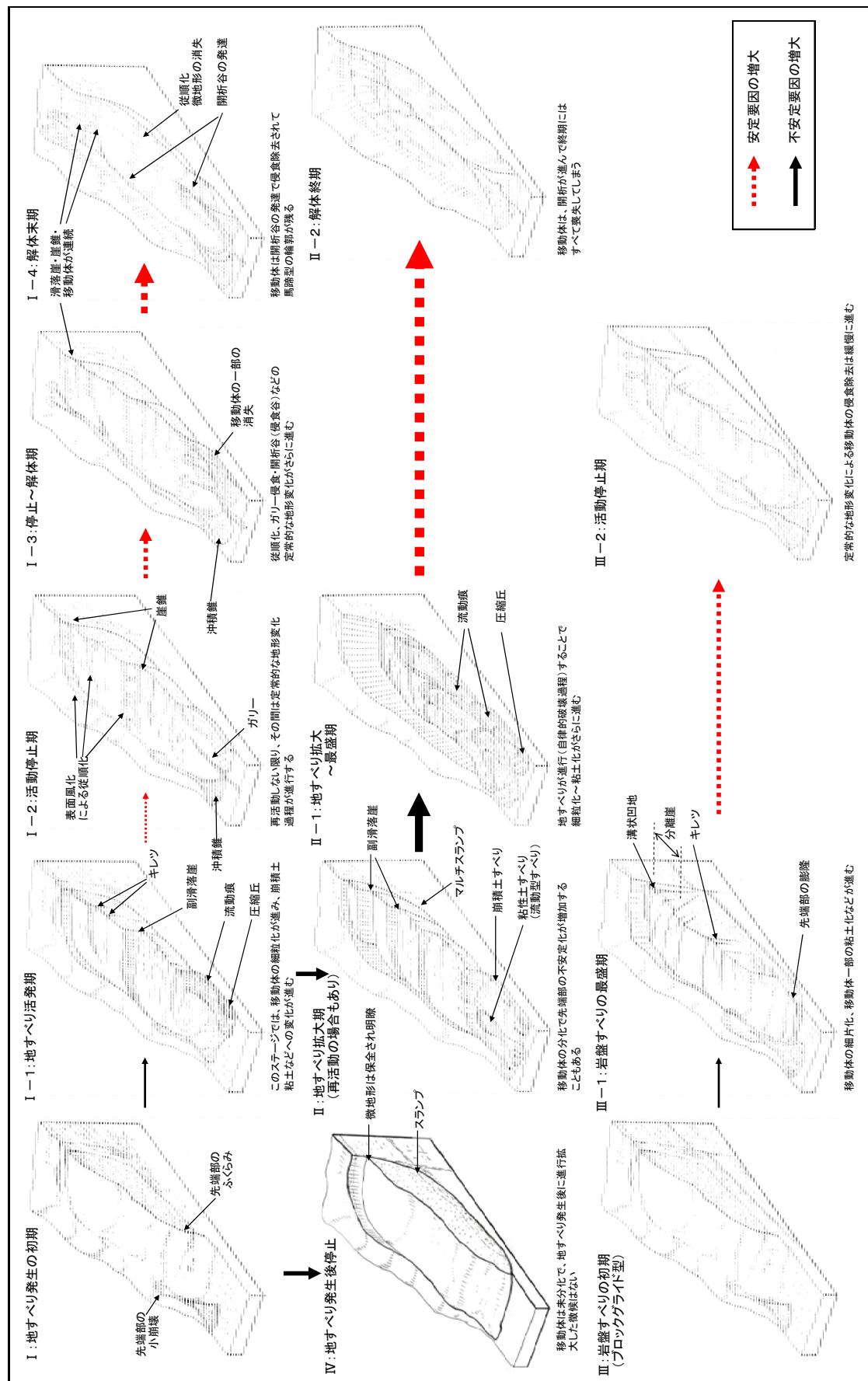


図 4.4 地すべりの発生から消滅までの地形変遷と指標となる微地形

4.2 地すべり地形危険度判定のための評価基準の作成

1) 大分類

地すべり学会東北支部では、H13年～H17年の計5ヵ年をかけ、日本（東北地方）の地すべり経験者がこれまでに経験した東北地方の地すべりを収集し、またそこでの経験値をもとに判読の評価基準を作り階層化した。技術者のブレインストーミングの結果、図4.5、4.6に示すように「 α . 移動体の微地形」「 β . 移動体境界部」「 γ . 地すべり地形と周辺環境」の大きく三つに分類することが重要であると判断された。

尚、ここでは上記を基にクロアチア、ベトナムのプロジェクトで改良中のAHPの判断基準を紹介する。

α . 移動体の微地形（運動特性に関する指標）

主として移動体範囲内に分布する、地すべりの運動特性を示唆する様々な微地形とその空間配置で示される。典型的な話として、粘性土すべり～風化岩すべり～岩すべりなど運動様式を特徴づける移動体地形と移動体にある微地形の鮮明度にある。

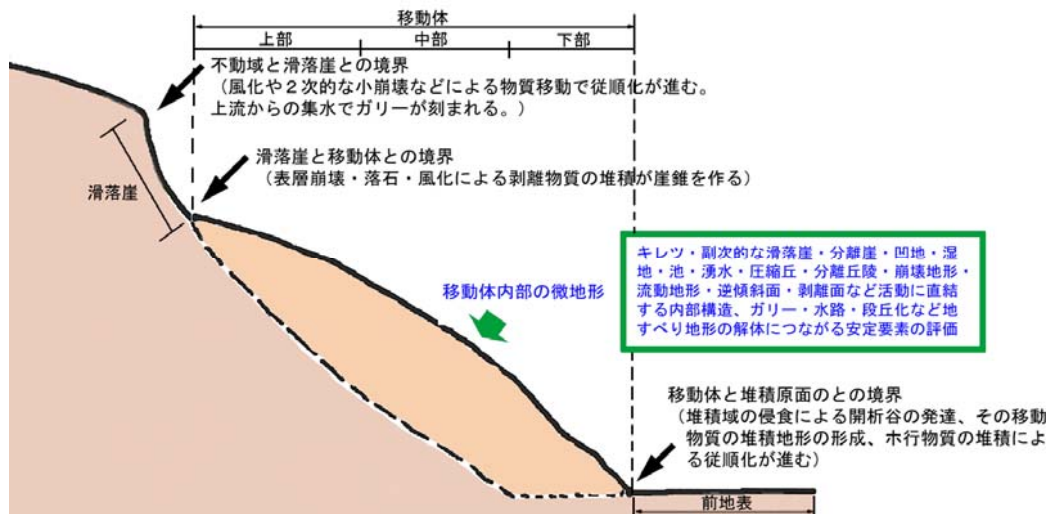
β . 地すべり地形の境界部（時間経過に関する指標）

移動体外周に残された滑動の痕跡の、その後の非地すべり性営力、つまり定常的地形変化による開析度合いである。すなわち、移動体外周部は地すべり発生からの時間経過に起因した風化や侵食による地形変化を読みとることが可能である。特に頭部境界、末端境界では崖錐やガリーなどわかりやすい地形を残す。

γ . 地すべり地形と周辺環境（地形場に関する指標）

滑動の移動体の安定度に影響を与える要因。

ここで地形場とは、地すべりが発生している地形的位置を言う。経験的に地すべりが河川の攻撃斜面にあるところでは、地すべり再動している事例が多い。このように周辺の環境の違いで地すべり安定度が異なることを指標化した。



地すべり地形の危険度評価に関する視点と地形指標

図 4.5 判読アイテムの模式図 (宮城原図)

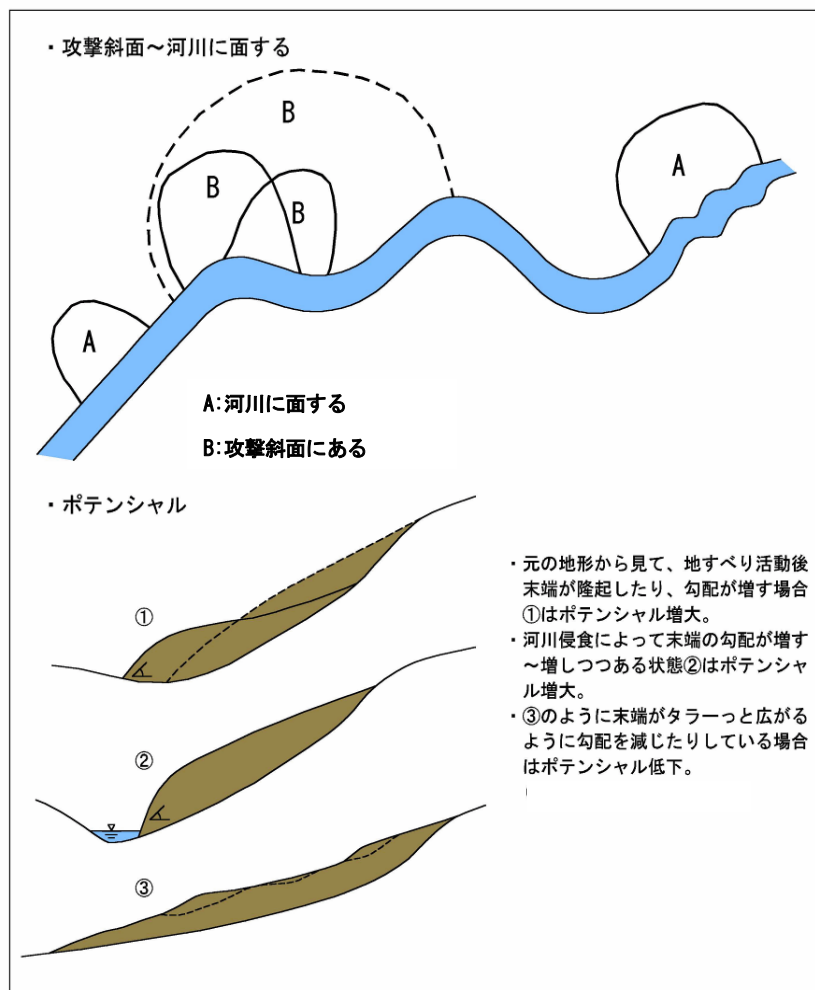


図 4.6 γ. 地すべりの地形と周辺環境 (堤原図)

2) AHP 評価基準の抽出 及び 階層化

作業部会のブレインストーミングを通して地すべりの危険度に関わる評価基準を抽出し、図 4.7 に示すように階層化した。

大分類としての (α) 運動特性に関する指標として【移動体微地形】には、a) 運動様式、b) 移動体微地形、 (β) 時間経過に関する指標として【移動体境界部】には c) 頭部境界、d) 末端境界、 (γ) 地形場に関する指標として【移動体周辺地形】には e) 移動体先端部、f) ポテンシャル の中分類が抽出された。

中分類アイテムには実際にカルテのチェック指標となるカテゴリー(小分類)を作成し、大分類、中分類、小分類ごとに AHP 手法を用いて一対比較を実施した。なお、実用上の工夫として図 4.7 に示すカテゴリーは、中分類アイテムごとに下から上へ危険度が高くなるようにカテゴリーを配置したものである。

これらのアイテムは、カルテ作成時に左から右へ並べて配置してあり、地形形成のメカニズムなどを理解しやすいようにした。ちなみに、カテゴリーのチェック位置についてはカテゴリーの中間も許す構造になっている。すなわち、図 4.7 のアイテム「c」において「崖錐あり」「大規模な崖錐」の中間と判断した場合、その間にチェックできるようになっている。

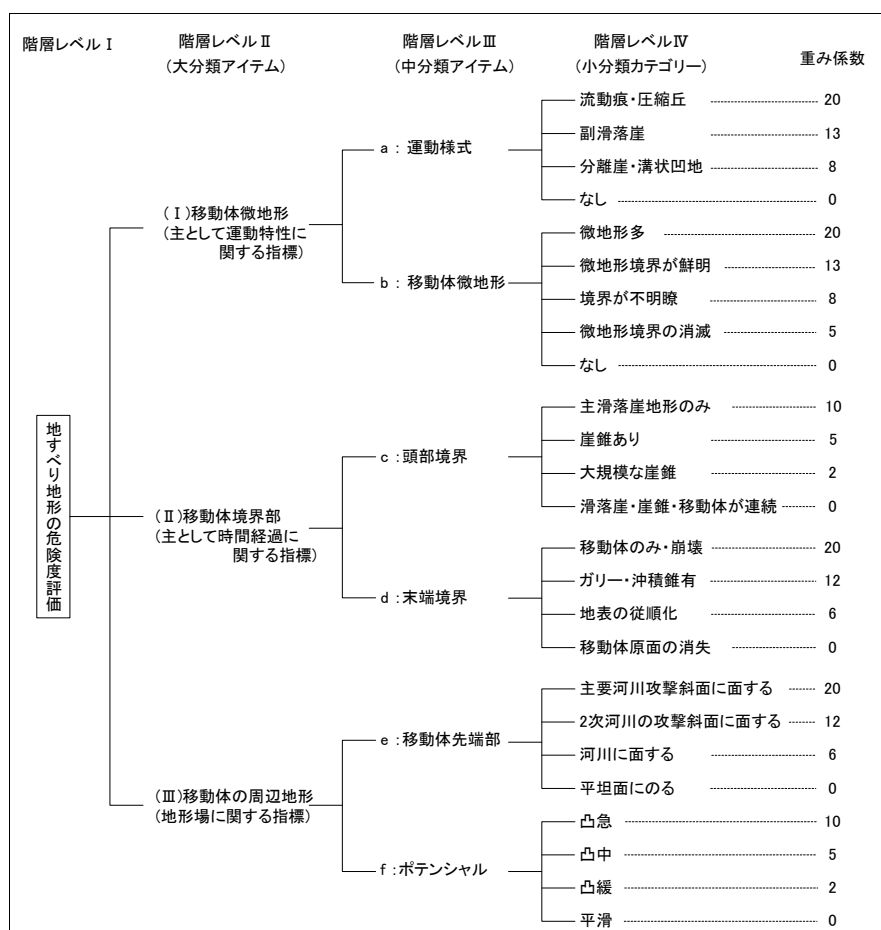


図 4.7 地すべり地形の危険度評価基準

ただし、明確に複数のカテゴリーがあるとき点数に寄与するのは重みの大きい方が優先されることとした。

3) 一対比較、ウェイトの決定・統合化

作業部会においては、まず各人で AHP 評価を実施し、さらにそれをたたき台として作業部会の AHP ウェイト案を作成した。

なお、AHP の一対比較値は、前章表 2.2 に従う。

- 1: 両方の項目が同じくらい重要
- 3: 前の項目の方が後の方より若干重要
- 5: 前の項目の方が後の方より重要
- 7: 前の項目の方が後の方よりかなり重要
- (他 2、4、6、8 を補間的に用いた)

AHP の一対比較手順と各アイテム毎のウェイトの算定方法は多くの文献に譲るが、各カテゴリーの最終ウェイトの算出に際しては、

小分類カテゴリーの最終ウェイト =

大分類 AHP ウェイト × 中分類 AHP ウェイト × 小分類 AHP ウェイト

とした。ウェイト統合化の結果、重み係数においては、a～f までの中分類アイテム中で最も高いカテゴリーがチェックされたとき、合計 100 点となるように補正係数を乗じ正規化している。なお、カルテにおいてはこれらのチェック点数の合計を AHP 点数（モデル重み係数の合計）と称した。すなわち、

$$\text{AHP 点数} = \alpha \cdot \sum X(A \sim I)$$

ここに、 α : 補正係数

4) 一対比較の手法とウェイトの決定方法

ウェイト決定の具体的な手順は以下の通りである。

- ① 危険度予測に関わる「大分類」を一対比較する。

現段階では「Ⅰ:移動体微地形」「Ⅱ:移動体境界部」「Ⅲ:移動体と周辺環境」とすると 3×3 の一対比較となる。

一対比較では例えば「移動体微地形が移動体境界に比べて 3 倍危険度評価で重要である」をマトリックスで表示すると下記のようなになる。

AHP 法では、一対比較を項目のすべてで同様に行い、マトリックスの横方向を幾何平均してその比率でウェイト化する手法といえる。

- ② 次に階層レベルⅢについて a×b、c×d、e×f の一対比較を行う。

- ③ 更に階層レベルⅣに示されるそれぞれの小分類カテゴリーを用いて一対比較する。

以上について、実施し表 4.7 のウェイトが決定された。これに基づきカルテ（表 4.1）を作成し地すべり地形 AHP 危険度判定の具体的手順を示した。

5) 判読カルテと判読・AHP 危険度判定の流れ

作業の流れは図 4.8 のフローに示すように、全体像のイメージから最初に直感点を付けて、その後に AHP のチェックを行うようになっている。表 4.1 にカルテフォームを示す。カルテフォームは基本的に a-f までの各アイテムに対し判読者がチェックを入れて AHP 点を出す。このカルテフォームの特徴としてより危険性の高い要因を左側に、より低い要因を右側へ配置することで全体の評価構成をわかりやすくしている。配点の重みから移動体表面の亀裂の新鮮さや先端地形の勾配とその発生場の条件（攻撃斜面か否か）が重要指標となっているのがわかる。直感の為の判断の目安を助けるために図 4.4 で示したような地すべり地形の変化過程を作って判定の補助としている。

尚、粗判読についてのインデックスステレオペア写真を図 4.9 に示す。

岩手県・宮城県の危険度判定では、判読者は 1 カルテに対し 3 人以上で見ることになっていた。このとき AHP 点で乖離が大きく、合意度(C)が小さいカルテについては再協議して合意度を高める工夫をしている。なお、宮城全県での危険度判定は、あらかじめ地すべり領域を設定して行った。地すべり領域は、例外的に大規模なものを除き、1/2.5 万地形図に示された 3.0m 以上の道路から GIS 上で 1km のバッファを発生させ、それに掛かるような地すべり地形のみを抽出対象とした。また地すべり一個ずつを対象とするのではなく、集水域界・尾根線・谷線などの境界からある程度のまとまりを持った領域としてくくり抽出した。

表 4.1 判読カルテ表

Stereo pair and micro landform feature of landslide		Check list for risk evaluation of landslide				AHP score
		Level II	Level III	Indicative signs of instability		
				High	Low	
1) カルテチェック項目は左側傾度の高いアイテム、右側ほど低いアイテムが並ぶように配置している。判読者はこの項目と類似するところにチェックして点数を付ける。 2) このスペースにはステレオペア写真を付け、またステレオペアと同じ領域の平面図をつけて、右のチェック項目に従い、どこをどのように見たかを記載する。 ステレオペア写真 ステレオペア写真と同じ領域の地形図	a	Micro topographic features on a surface of a landslide mass	a	Grade of fracturing of landslide mass	20 Debris flow 13 Secondary scarps 8 Head part depression Minor scarps 0	no sign
	b		b	Clearness of surface ruptures	20 Mudflow, earth flow 13 almost clear and fresh 8 Block grille crack, pressure ridge 5...0	
	c	Deformation of marginal zone	c	Grade of degradation of main scarp	10 Clear and fresh 13 a series of scarps & linear depression 5 rounded scarps & buried depressions 2	hilly or bumpy, incision of slide mass
			d	Condition of toe part	20 collapse Second day slide 12 Partial collapse, Secondary slide 6 small debris' fan on foot 0	rounded crown, gully erosion & talus deposition
	e	Locality of landslide	e	Erodibility of part of landslide mass	20 collapse Second day slide 12 Partial collapse, Secondary slide 6 small debris' fan on foot 0	colluvial fan formation on foot
			f	Potentiality of part of landslide mass	20 undercut slope for mainstream or artificial excavation work 12 undercut slope for tributary position to river 6 slipoff slope, orthogonal position to river 2 higher position of slip surface from river floor, or on terrace 0	
Landslide risk based on experts Remarks				High 直感的にどれくらい危険度があるかをチェックする Moderate Low		
						Reference

まず粗判読を行い、粗判読用インデックスとの見比べから直感による点数を付ける。
次に、各アイテムの評価マニュアルを見比べつつカルテによって点数化する。
それぞれにあまり乖離が無いときは終了するが、乖離があるときはもう一度カルテ評価に
戻り再検討する。

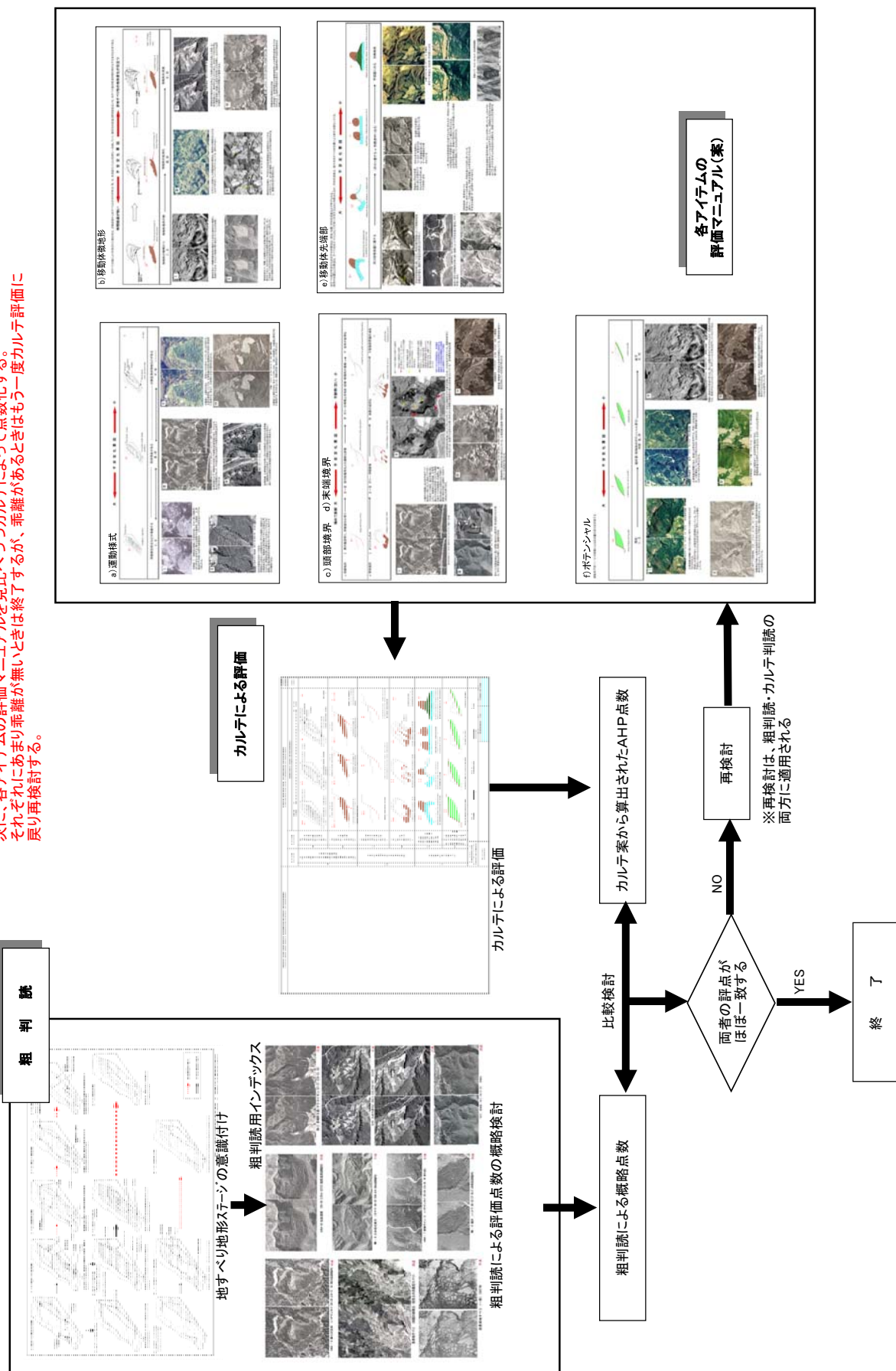


図 4.8 地すべり地形 AHP 危険度評価の具体的手法

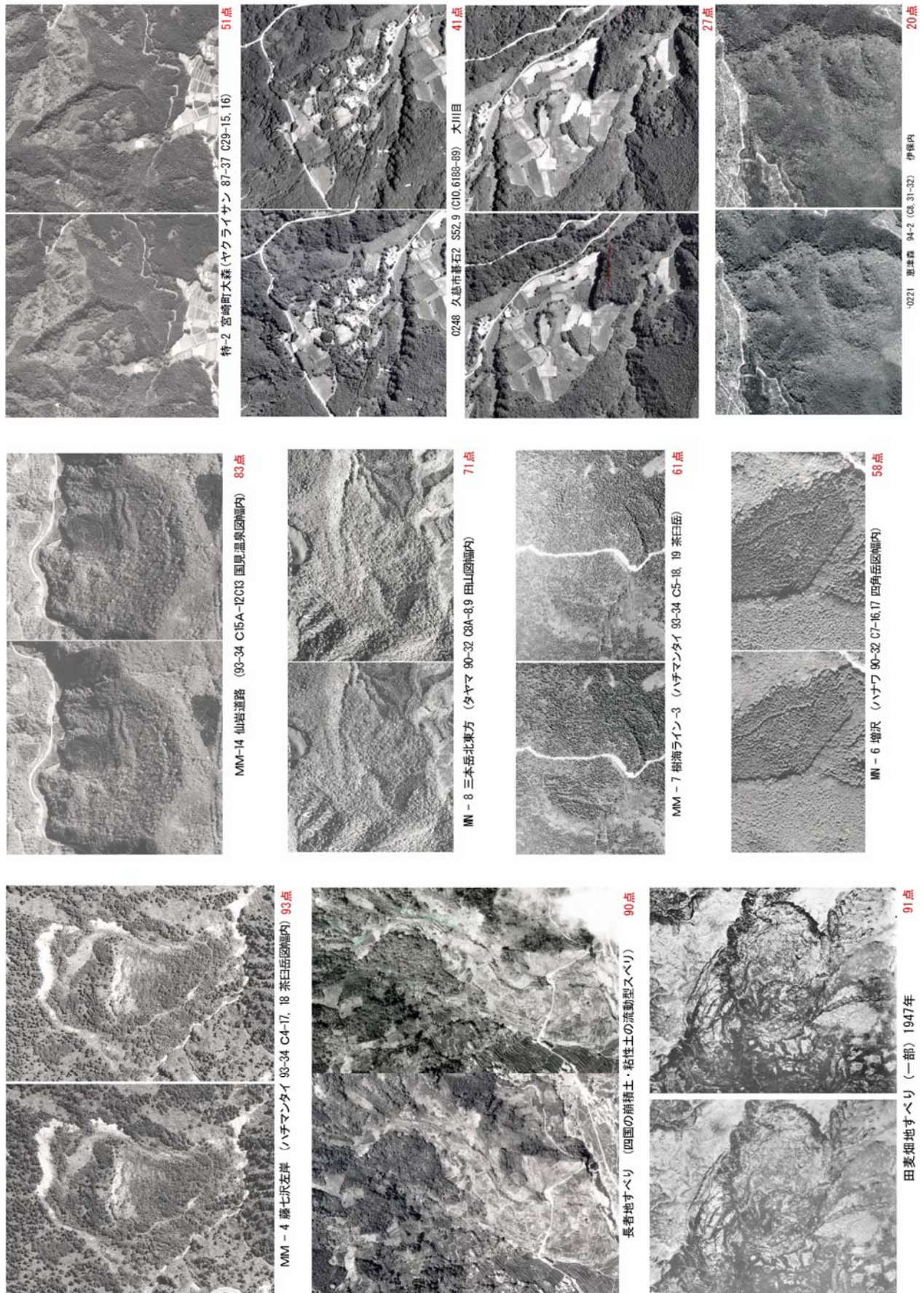


図4.9 インデックス用地すべり地形ステレオペア写真

6) AHP 手法の妥当性検討

岩手県・宮城県での AHP 手法による危険度評価手法の妥当性を検討するにあたり、専門部員の直感による平均点と AHP 点について解析し、そのなかで 2005 年以前に地すべり変動が認められた箇所も示した。図 4.10 にこの結果を示す。図から AHP 点と直感点の相関は決定係数 0.88 以上と高い。また AHP 点の 40 以下での地すべり発生事例はなかった。AHP 点 60 以上については 22 箇所の地すべり発生の危険性の高い領域が該当して「地すべり危険性の高い領域」として指標化した。

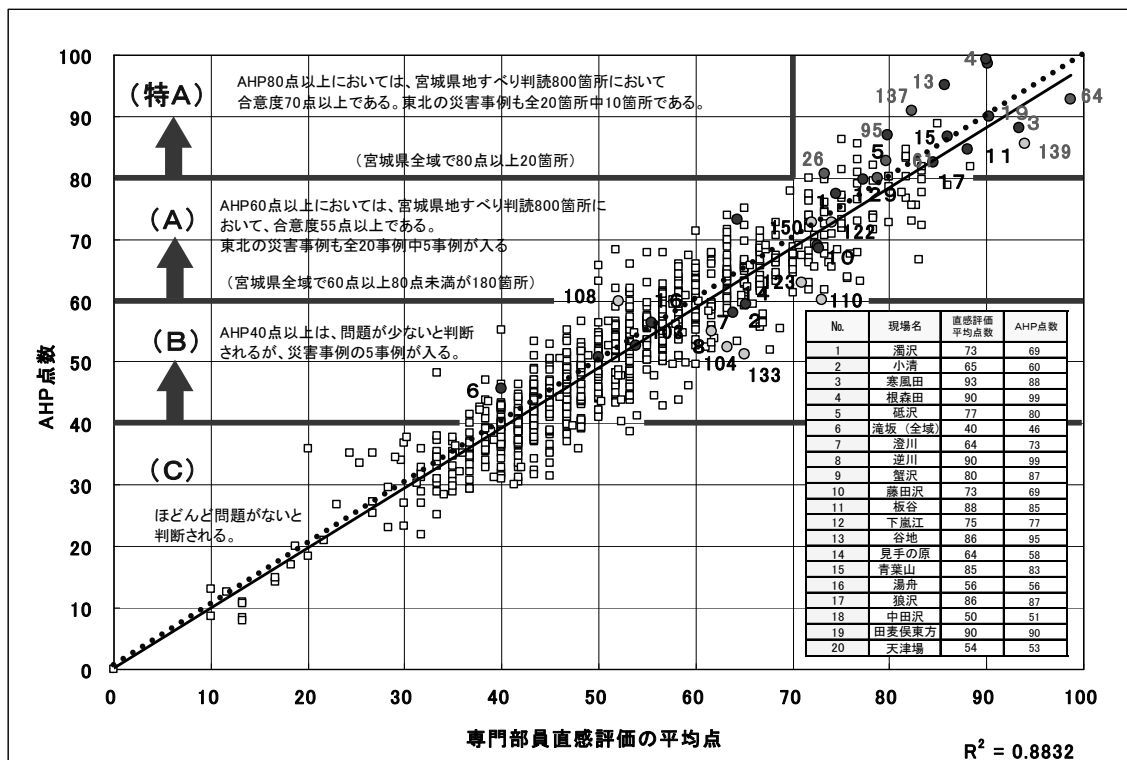


図 4.10 全判読地すべりと地すべり発生箇所の AHP 点数

5. 検証

5.1 2004 年中越地震

2004 年中越地震では、地すべりの再動が多く認められた。地震直後に地すべり学会緊急調査団による現地調査と地形調査が実施され、また地すべり発生地については、岩手宮城県方式カルテによってすべり前後の空中写真を使って AHP 評価が行われた^[4]。その結果、地震性土砂災害は、その多くが地すべり地形の中に発生し、中でも地すべり性の破壊は、砂岩、砂岩泥岩互層で多発した。元来中越地方の地すべりは、砂岩地域と比較して泥岩地域の地すべり地形が多いのが特徴であるが、泥岩卓越地帯ではそれほど地すべり発生は多くなかった。とはいえ泥岩で構成される地すべり地形は、地すべり地形の再活動危険度（AHP 点）が高まるに連れて地震破壊レベルが増す傾向が認められた。他方、砂岩や砂岩・泥岩互層では地すべり地形の AHP 点と破壊レベルに相関は認められず、雨雪型地すべりとは異なった特徴を有していることが明らかになった。なおハスバートル^[5]らの研究では中越地震時の地すべりの発生地形要因を GIS 上で検討した結果、縦断的凸度、下端勾配、浸食最大深の 3 項目で関連性が大きいことが示された。

5.2 2007 年大雨災害

宮城県白石市では平成 19 年 7 月 15 日から 16 日にかけて、台風 4 号（連続雨量 200mm）の影響と融雪により、幅約 200m、長さ約 300m の大規模な地すべりが発生した。現場は砂岩泥岩互層の基盤岩と軽石凝灰岩の流れ盤構造を有するところで、夷倉川沿いで侵食地形が認められたところである。宮城県では、2005 年に約 1500 箇所 of 地すべり領域の危険度判定を行っており当該地区も該当していたため、これを再チェックした。事前のカルテは夷倉川右岸の被災エリアの 3 倍くらい大きい細長い領域区分で作られていて、判読写真が若干不鮮明であったことから判読者毎の評価結果にやや幅があったが AHP 点は平均で 54 とハイスコアであった。

5.3 2008 年岩手宮城内陸地震

2005 年の宮城県で実施された危険度判定をもとに 2008 年岩手宮城内陸地震で発生した地すべりを検証した。図 5.1 は宮城県北西部地すべり領域における AHP 点の分布と実際発生した地すべりを重ねたものである。最も面積の大きい太線領域が荒砥沢地すべりで、事前の AHP 点は 64 であった。また、ほかの地すべり発生箇所で、判読判定済みの領域での AHP 点はすべて 60 以上であった。しかし地すべり地形と認識されていない領域で地すべりが発生したことや、地すべり地形と認識されてはいたものの判定領域外なために AHP の照査が出来ない箇所もあり問題を残した。

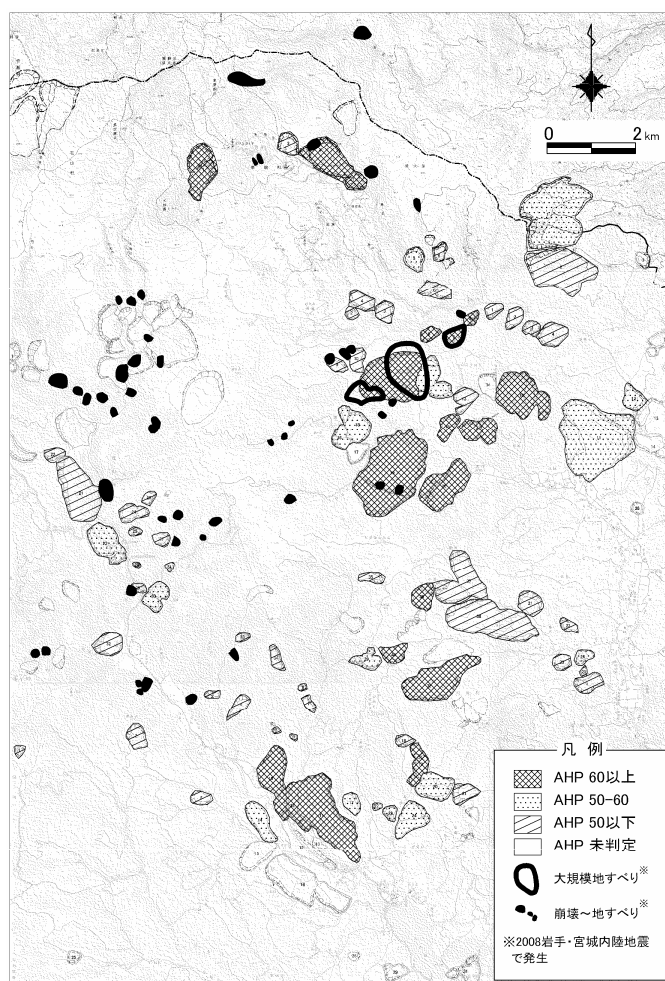


図 5.1 事前 AHP 点評価とその後の 2008 岩手・宮城内陸地震での地すべり発生箇所

5.4 2008 年岩手宮城内陸地震の追加判読検証

5.3 の地すべり地形非認知の原因の一つとして NIED による地すべり地形が元来幅 150m 規模以上であることがあげられる。また領域設定も道路の 1km バッファをはずれると領域認定されないことも原因である。このため再度国土地理院（1976 年、1/15,000）の空中写真を用い宮城県・岩手県側それぞれで地すべり地形判読とカルテ 100 事例をランダムに抽出し検討した。その際専門部員 6 名を招集し 1 カルテにつき 3 名で判読し AHP 点を検討した。100 事例中 29 事例が当地震で再滑動しているが専門部員にはどの地すべりが変動したのかについては事前には伝えられてはいない。図 5.2 は再滑動した地すべりを含め、判読者の直感点数と AHP 点の平均を図化したものである。100 事例のうち、再滑動した地すべりの AHP 点数は 30 点台から 80 点台までばらついているものの、AHP 点数 60 点以上の地すべりは 28 事例あり、そのうち 12 事例（43%）の地すべりが再滑動している。また、AHP 点数 80 点以上の地すべりは 3 事例中 2 事例が再滑動した。しかし 60 点未満であっても、地震を誘因とする地すべりの再滑動が発生しうることを示した。そこで、地形量の指標として、次に述べる「先端勾配比」について新たに検討した。

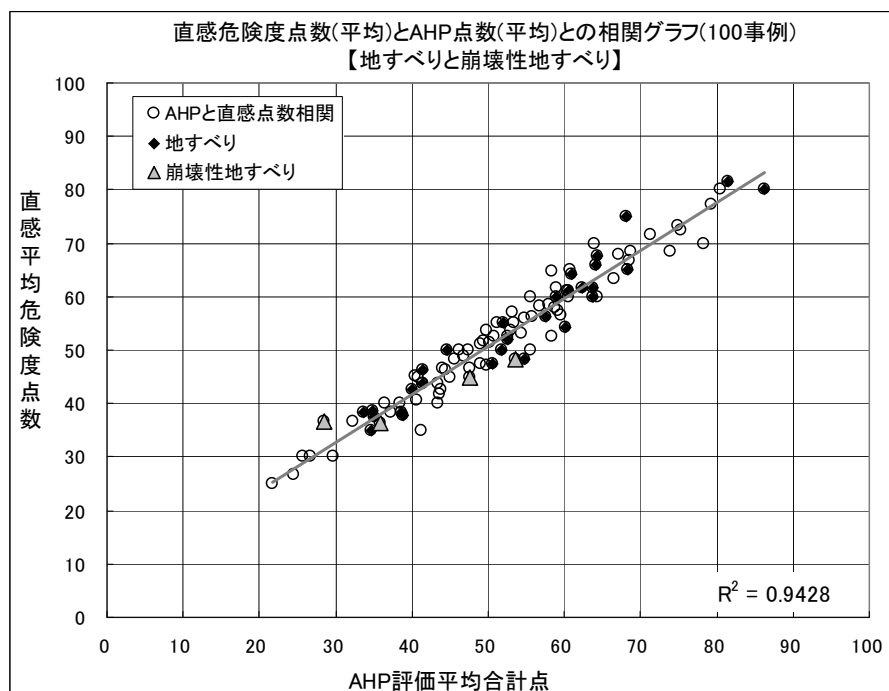


図 5.2 抽出地すべりと再滑動した地すべりの AHP 点数

5.5 先端勾配比

これまでの研究^{[1][2][5]}では地すべり末端の影響、特にその凸度が地震に大きいウェイトを持ち得ることが示された。それは地すべり移動体の末端が侵食されると移動体が不安定になりやすく、移動体表面形状の凸型の増大は滑動ポテンシャルの蓄積になることに起因していると思われる。そこで、図 5.3 に示すように斜面を 3 分割し、斜面全体の勾配に対する先端 1/3 の勾配の比率を「先端勾配比」として定義して検討した。結果は図 5.4 に示すとおりで、対象 100 事例の地すべりの先端勾配比は、最大でも 2.0 程度であった。その分布は非対称形を示し、平均は 1.13、標準偏差は 0.403 である。再滑動した地すべりの先端勾配比の平均は 1.17、標準偏差は 0.359 であり、対象全体からみると値の大きな側に少しばかりシフトする。したがって、先端勾配比は、地震時に不安定化する地すべりの指標となりうると考えられる。

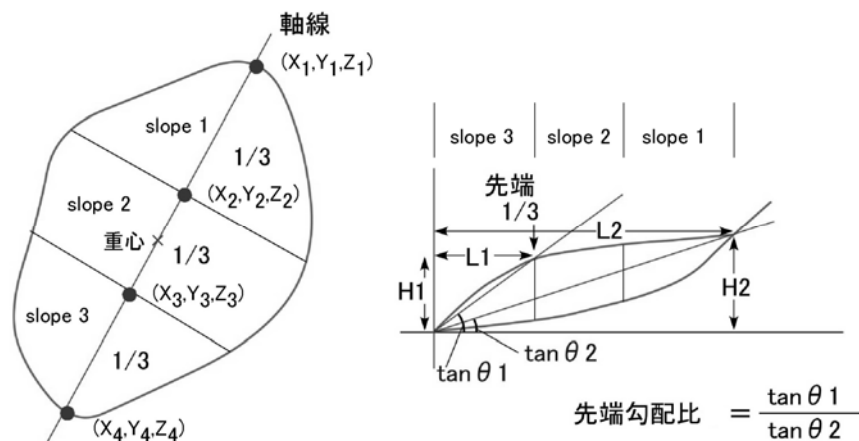


図 5.3 地すべりの先端勾配比の概念図

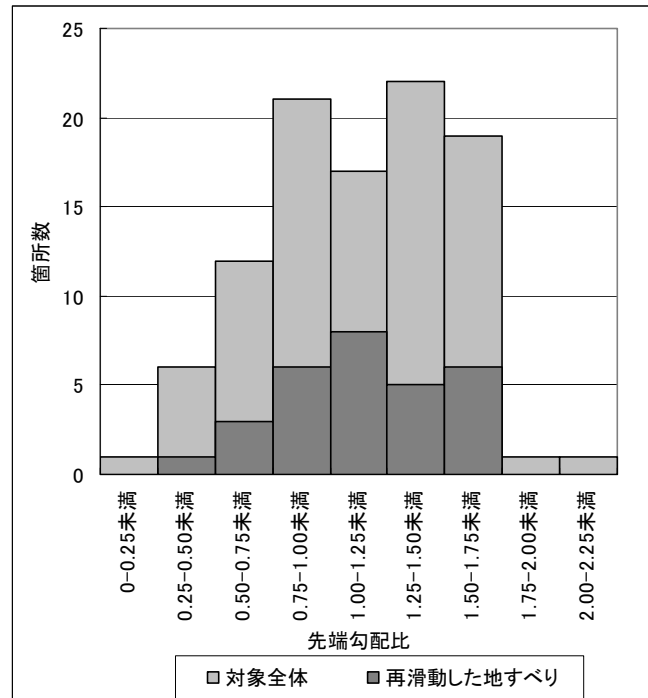


図 5.4 地すべりの先端勾配比

5.6 まとめと考察

- AHP を用い空中写真判読による危険度評価手法の開発を行った。この結果、カルテ指標の理解と、判読手法のトレーニングが必要ではあるが、カルテ指標をチェックするという簡単な仕組みの中で AHP 点という地すべりの危険性の定量化が可能となった。
- 本手法では複数の判読者を必要とする。しかし、複数の判読者で実施することは判読の瑕疵や誤解を少なくすることに繋がるものであり、むしろ複数で行ことが重要である。
- 当初、本研究は豪雨・融雪を誘因とするものを対象とし、あくまで写真から認定できることを条件として研究を行った。もとより地震要因についても判定の可能性が期待され、ある程度は判定できることを示した。しかし、その後の地震地すべりの研究を踏まえると豪雨・融雪に比べて地震対応については末端ポテンシャルの増大（先端勾配比）のウェイトを大きくする余地もあろう。
- なお中越地震では地すべり地形のうち泥岩系に比べ砂岩系など、より脆性的なものが地すべり再動している。岩手宮城内陸地震でも溶結凝灰岩などの硬質なものが被覆しているところで発生している事例が多いようである。本来空中写真だけで地すべりの内部物性を読みとることは困難なことが多く、空中写真判読だけから地質まで考慮したカルテは作り難いと思われる。しかしながら、踏査などで判明する地質補正などを考慮する手法の構築も視野に入れていくことが重要であろう。

6. これからの課題と提言

6.1 異なる撮影年次の空中写真をカルテ評価に使用する

東北日本における研究では、カルテ評価の際に 1975～1976 年に撮影された国土地理院発行の 1/8, 000 ないし 1/15, 000 カラー空中写真を主に使用した。このスペックの空中写真は全国をカバーすることから地形調査に広く利用されているものではある。しかし、撮影から 30 年経過しているため、道路建設などの新たな人工改変により地すべり領域の現在の地形状況が空中写真と整合しない場合がある。また、この 30 年間で地すべりの活動に変化が生じている可能性が考えられよう。

そこで、1975～1976 年以降に撮影された複数年次の空中写真を利用し、地すべりの活動を経年的に評価することも必要である。これには、国土地理院以外にも林野庁や各自治体が撮影した空中写真を利用することが可能である。

6.2 カルテ判読技術の問題

宮城県の判読では全域地すべり判読を行って 1, 000 箇所以上の地すべり領域を抽出し、カルテを作成した。このうち直観の危険度点数 40 点未満（宮城作業部会長兼委員の判定）をふるい落とし、残りの約 800 箇所について専門部員 6 人で AHP 手法による危険度判定を行った。その際、乱数を用いてカルテ 1 枚について 3 人の判読者をランダムに抽出し、判読カルテの傾向が偏らないよう工夫した。ただし、同一カルテでの評価では 3 人の評価が乖離する地すべりカルテも多少ながら認められた。このため、意見を出し合って問題点の検討を実施し、再評価を行った事例もある。以上の経験も踏まえると、今後ともカルテ 1 枚あたり少なくとも 3 名の技術者が評価判定のためには是非必要であろう。

6.3 地すべり内部地下構造の把握

これまでの 5 ヶ年での「地すべり地形の危険度評価法」の成果から、地すべりの危険度評価とともに、地すべりの運動様式に関わるところで重要ポイントが明らかになってきた。

例えば、流動痕、圧縮丘が「粘性土すべり」に、また陥没地形などが「岩盤すべり」に密接な地形であることなど、地すべり微地形とその運動様式とは極めて明瞭な相関関係にあることが明らかになったことである。すなわち、地表面の微地形は、基本的にすべり面の三次元構造を表現している、ということである。

一方で、地すべり対策や、避難、地すべり発生後の被害予測などには、周辺地形はもとよりすべり面の三次元形状での理解が重要である。しかしながら、これまでの研究ではこの点に関しては必ずしも明らかになったわけではなく、特に三次元構造の中でも最も重要なすべり面末端の判断では精度を欠いているのが現実である。

すなわち、将来的に三次元を主体とした解析が増えていくと思われるが、これに資するため、地すべり内部地下構造の三次元的把握を念頭とした精度のよい「すべり内部構造」の調査法、解析法の研究をさらに推し進めていくことが重要であろう。具体的にはこれまでの地形判読からの危険度評価点(AHP 得点)・地すべり運動様式を基本にし、さらに地質表面現象

や地下内部構造を示すボーリングコア、歪計データ、孔内傾斜計データなどの資料収集を行い、統計分析や数値解析などの手法を用いて研究開発していくことなどがあげられよう。

6.4 地すべり地形判読技術者にもとめられるもの

最後に本研究を遂行した5カ年で各専門部員の努力によりマニュアルの精度向上と判読技術の向上があったが、それはこれまでの地形学や地質学の素養があつてこそその技術向上であつたと理解できる。すなわち判読技術者になるには、地形学や地質学の基本的な素養を身につけていくことが重要であると強く思う次第である。

以 上

【 参考文献 】

- [1] 濱崎英作、戸来竹佐、宮城豊彦(2003):AHPを用いた空中写真判読結果からの地すべり危険度評価手法、第42回日本地すべり学会研究発表会講演集
- [2] 八木・檜垣他(2008):空中写真判読とAHP法を用いた地すべり地形再活動危険度評価手法の開発と阿賀野川中流域への適用、日本地すべり学会誌 Vol. 45、 No. 5 pp. 358-366
- [3] Saaty、Thomas L. (1980): The Analytic Hierarchy Process、 NewYork、 McGraw-Hill Book Company、 265p
- [4] 宮城他・地すべり学会(2004):「中山間地における地震斜面災害ー2004 年新潟県中越地震報告 (I) ー地形・地質編
- [5] ハスバートル、丸山他(2009):新潟県中越地震を事例とした地すべり発生条件の考察、土木技術資料 51-3、 pp20-23
- [6] 刀根薫、眞鍋龍太郎編著(2000:第3刷発行):「AHP事例集」、(株)日科技連出版社
- [7] 木下栄蔵編著(2000:第1刷発行):「AHPの理論と実際」、(株)日科技連出版社