

# 高密度LPデータを用いた微地形 強調図の作成と災害地形の判読

地盤調査事業部

○今西 将文  
西岡 克知圭  
岸本 浩基



株式会社 ウエスコ

# 災害とは・・・

## 社会学的定義、安全工学的定義、 行政的定義により様々な区分け

自然災害、人為的災害、日常災害(事故)、労働災害、山地災害、農地災害、河川災害、道路災害・・・etc

### 災害対策基本法では

「暴風、竜巻、豪雨、豪雪、洪水、崖崩れ、土石流、高潮、地震、津波、噴火、地滑りその他の異常な自然現象又は大規模な火事若しくは爆発その他その及ぼす被害の程度においてこれらに類する政令で定める原因により生ずる被害」

# 防災のためのアプローチ

原因

被害

災害の  
身体構造

災害のツボ

効果のある  
処方箋

災害 = 素因 × 誘因 × 人間活動の場

地形・地質・  
植生・街並み  
…

降雨・積雪・  
風・波浪・地  
震・噴火…

財産・人命  
…



★ハード対策★

- ・防災施設、設備の建設、設置
- ・構造や強度の強化…

☆ソフト対策☆

- ・規制の導入
- ・警戒避難体制の整備…

防災のためには、災害の身体構造にたくさんあるツボの態様や仕組みを**詳細に知る**ことで、効果的に効く処方箋(対策)が打てることを期待

# 防災に貢献できるウエスコの 3D航空レーザー計測技術 ～「地形」という“ツボ”を詳細に探る～



## ◆地形を詳細に知る

…レーザー計測作業

自社保有のセスナ、ヘリ、ドローン

…データ加工作業

フィルタリング、可視化、

**微地形強調図**等の作成

## ◆防災のための処方箋を練る

…防災コンサルティング

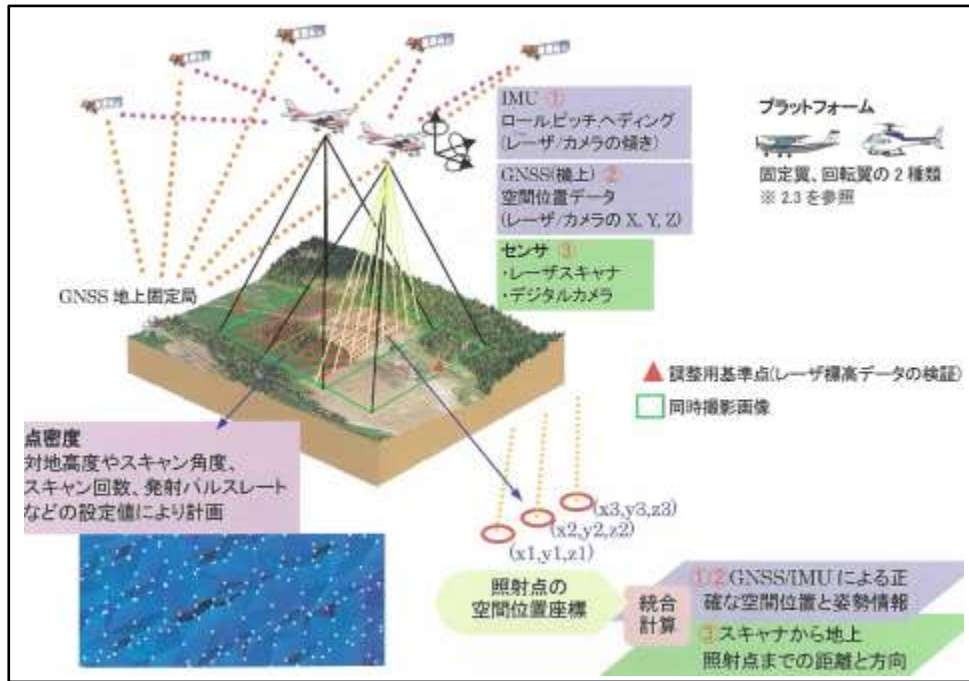
災害要因となり得る特徴的な地形要素の抽出、  
調査計画の提案・実施、対策工の検討・設計、  
道路防災、河川防砂、都市防災…etc



ワンストップでクライアント様へソリューションをお届けします!!



# 航空レーザーによる3Dデータの取得方法



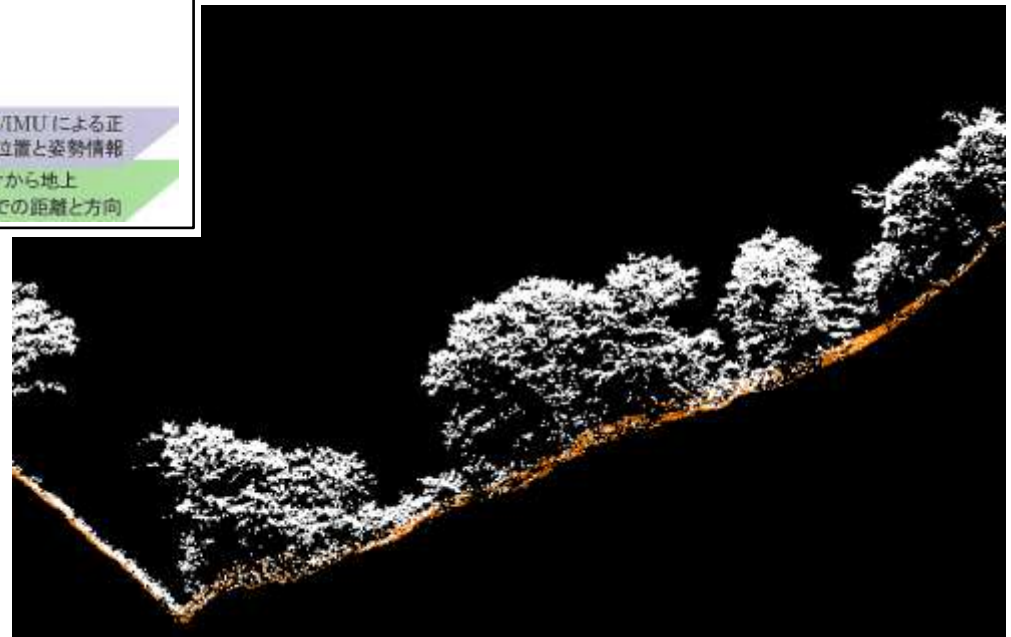
航空レーザー計測の概念図

「航空レーザー測量による災害対策事例集」  
(公財)日本測量調査技術協会より抜粋

- ✓ レーザー計測は、空から地上に向けて豆をばら撒くようなもの
- ✓ **グランドからの反射パルス(豆)**を選び分けて地表のXYZ座標とする(フィルタリング)
- ✓ 計測データの真値較差標準偏差は0.1~0.15m以内

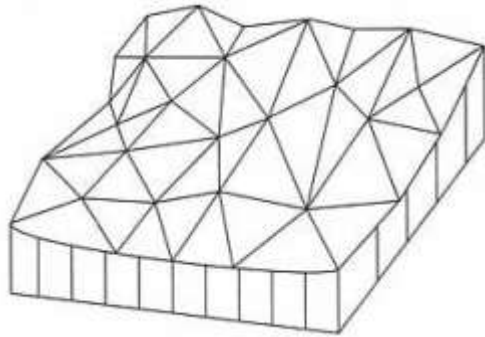
地形測量における数値地図データの誤差制限値  
(公共測量作業規定準則第80条より抜粋)

地図情報レベル	水平位置の標準偏差	標高点の標準偏差	等高線の標準偏差
500	0.25m以内	0.25m以内	0.5m以内
1000	0.70m以内	0.33m以内	0.5m以内
2500	1.75m以内	0.66m以内	1.0m以内
5000	3.50m以内	1.66m以内	2.5m以内

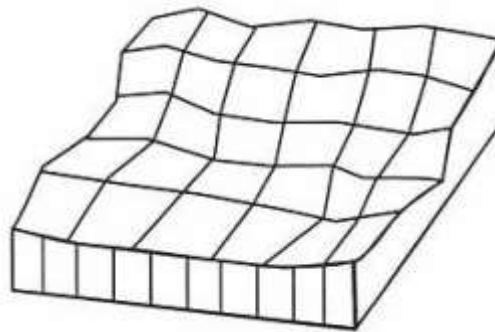


地上に向けて発射されたレーザーの反射パルス  
(樹冠や地表に当たって反ってくる)

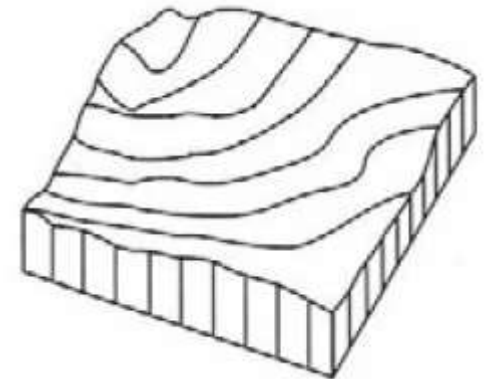
# 3次元標高データの可視化方法(1)



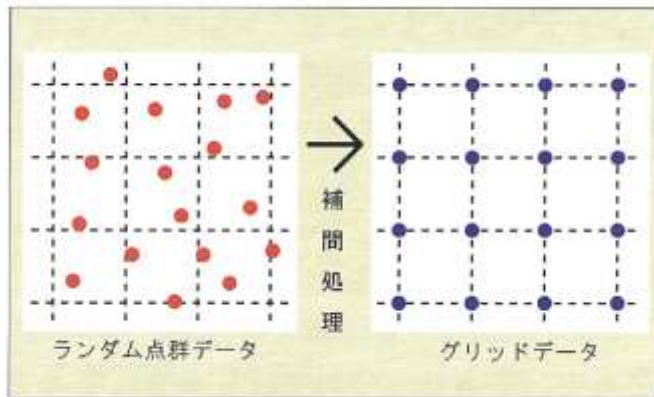
TINによる(不正三角網)  
による地形表現



グリッドデータによる  
地形表現



等高線による  
地形表現

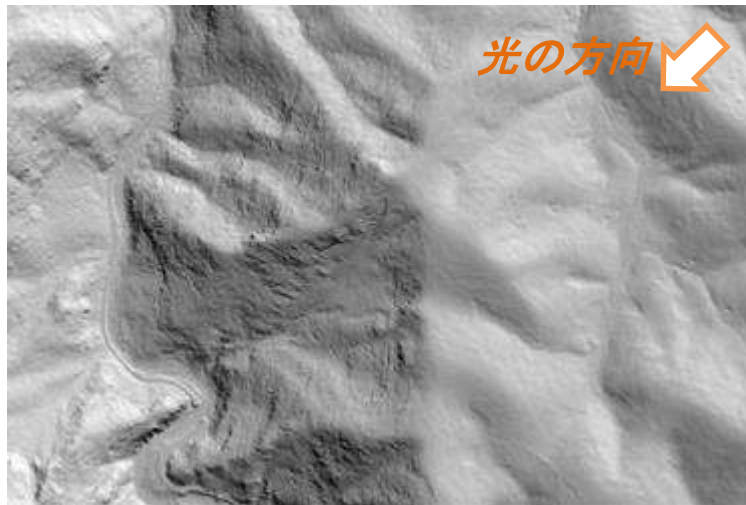


ランダム点群からグリッドデータへ

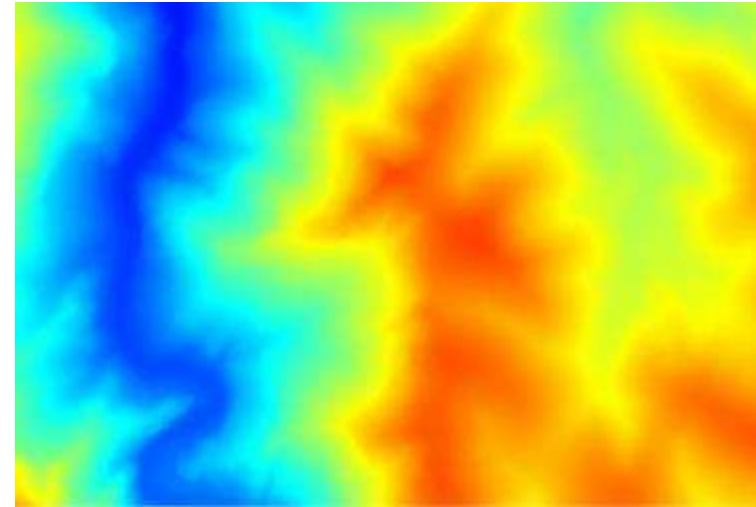
- 3次元DEMデータの値を用いてランダムポイントから不正三角網、グリッド化したデータから面を張って地形を表現  
⇒さらに等高線を発生させる
- 等高線の粗密による表現では、低角から中角の斜面は比較的に分かりやすいが、**複雑な地形や火口などの環状の等高線は凹凸部が判断できないことがある**



# 3次元標高データの可視化方法(2)



陰影図による地形表現



高度段彩図による地形表現

## ■ 陰影図

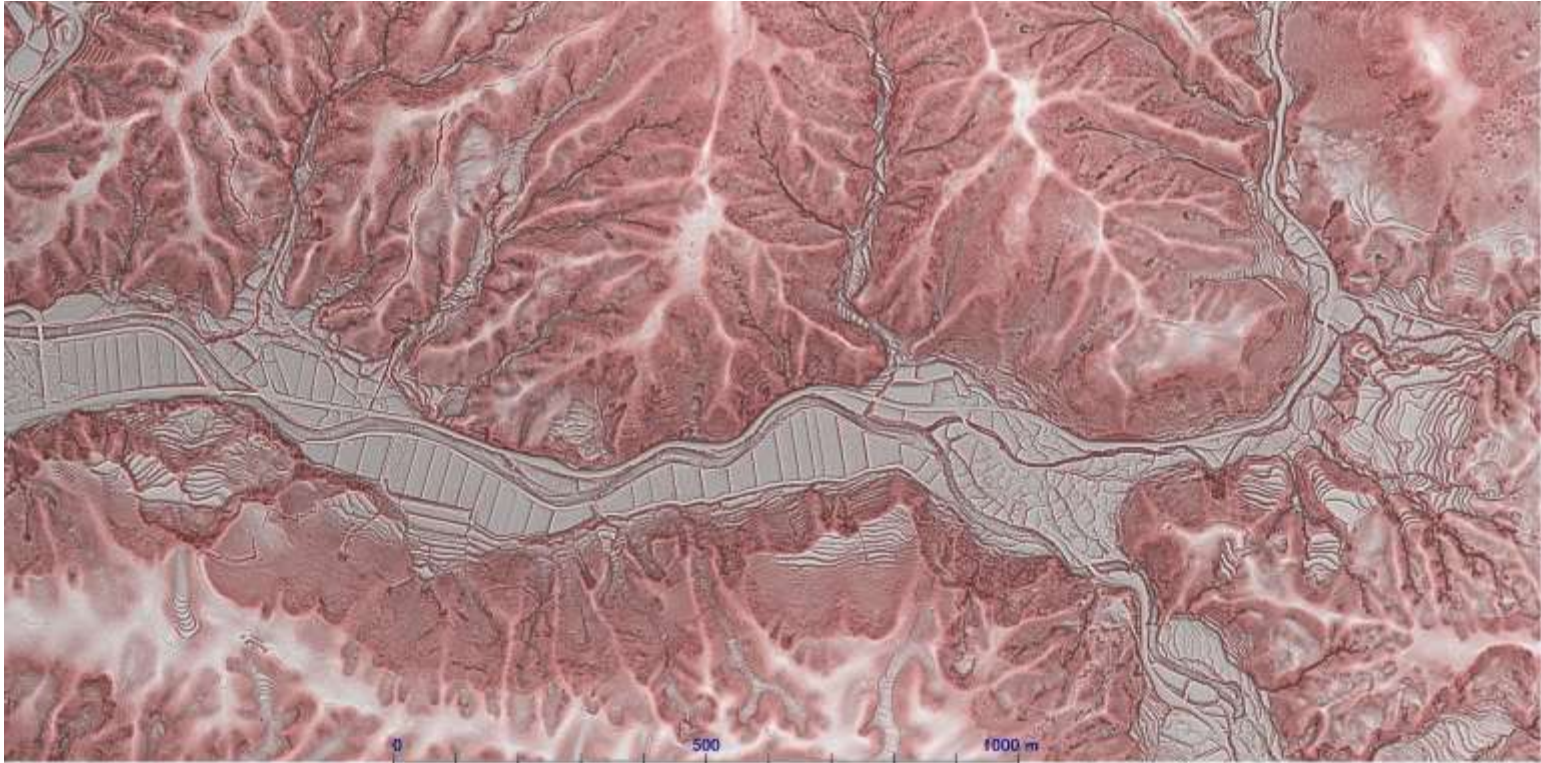
ある方向と角度の光源から照らして、それにより生じる陰影から地形を表現する。現実の地形形状が直感的に理解しやすい反面、同じ谷・尾根でも光源の方向の違いで全然違った印象に見える。光源と平行な谷筋が読み難い

## ■ 高度段彩図

標高の違いを色の色相や明暗の違いで連続的に表現。標高変化の全体的傾向は分かりやすいが、傾斜変換線が不明瞭。また、地形区分の変化と標高変化は必ずしも一致しないので、地形判読は難しい

# 3次元標高データの可視化方法(3)

## ～従来の地形表現の欠点を克服する微地形強調図～



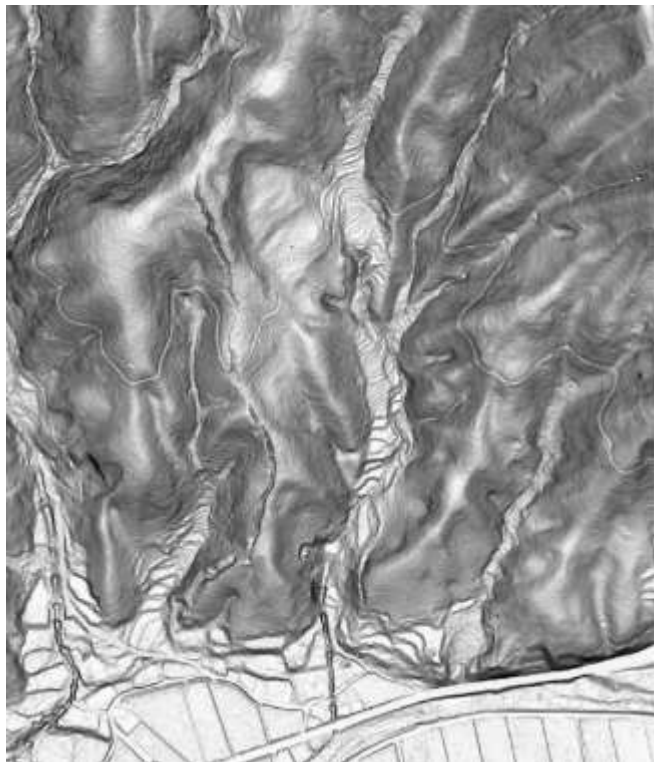
### ■ 微地形強調図

- ✓ 特殊な器具や訓練を必要としないで立体感が得られる
- ✓ 光源要素が不要でどの向きから見ても同じように見える  
⇒ **地形判読にとっても有利**
- ✓ 「①傾斜の変換部に感度の高い図」と「②微地形の尾根谷の変化がある場所が強調される図」の乗算画像として作る
- ✓ コンターや高度段彩図などを合成すれば比高差の判断も付き易くなる



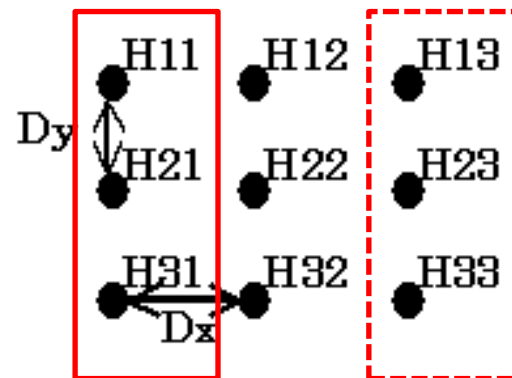
# ①傾斜の変換部に感度の高い図

## 傾斜量図



隣接標高値にウェイトを与えて計算した各点の傾斜量にグレースケールを割り当て、**急傾斜部を黒色、緩傾斜部を白色で強調表現**。傾斜変換部が明暗の強いコントラストで表現される。光源の方向依存性はないが、**高低を示す情報がないため、地形が入り組んだところでは尾根や谷の区別がつきにくい**

## 傾斜量の求め方



$$S_x = \frac{H_{11} + H_{21} + H_{31} - (H_{13} + H_{23} + H_{33})}{6 \times D_x}$$

$$S_y = \frac{H_{11} + H_{12} + H_{13} - (H_{31} + H_{32} + H_{33})}{6 \times D_y}$$

$$\text{傾斜量} = \sqrt{S_x^2 + S_y^2}$$

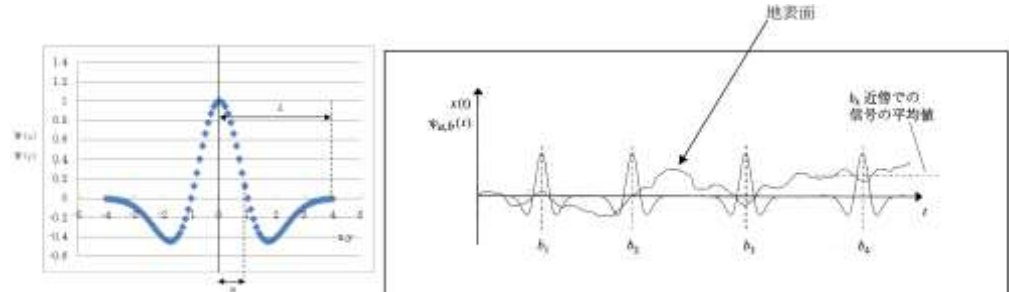
近隣の9点の標高を最も良く説明する平面を最小自乗法で当てはめた場合の、最大傾斜方向の傾斜となっている。

# ②微地形の尾根谷の変化がある場所が強調される図

ウェーブレット解析図



ウェーブレット解析



メキシカンハット関数

地形起伏とのコンボリューション

$$C(s, a, b) = \frac{1}{s} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} z(x, y) \psi\left(\frac{x-a}{s}, \frac{y-b}{s}\right) dx dy$$

$$\psi(x, y) = (2 - x^2 - y^2) e^{-\frac{1}{2}(x^2 + y^2)}$$

$$f = \sqrt{\frac{5}{2}} \times \frac{1}{2\pi s} = \frac{0.252}{s}$$

参照: 地すべり地における航空レーザー測量データ解析マニュアル(案)[土木研究所資料第4150号]

ウェーブレット解析図は、**微地形の凸凹の変化が有る場所を強調した画像**。地形変化の特徴と似た形状の「メキシカンハット」関数を連続的に地表の起伏にあてはめ、その波と地表の起伏との畳込み積分を行って**ウェーブレット係数を求める**。係数が大きい部分ほど白く、小さい部分ほど黒く強調。



# 災害地形の調査への適用事例

～ 妥当な調査計画立案のために尤もらしい地形が知りたい～

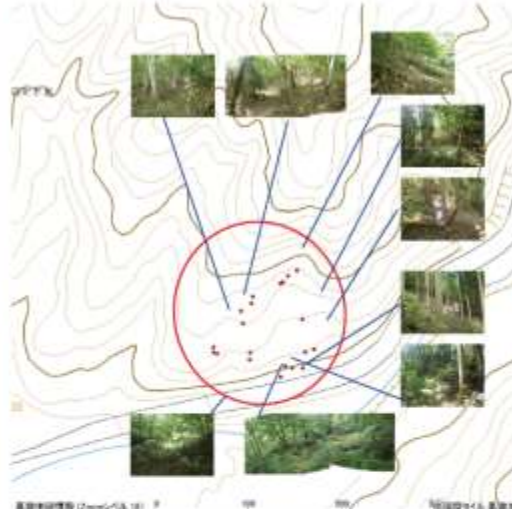
当初

調査対象地の航空写真



林況は、一部植林と雑木の混相。笹類の繁茂多く見通しが悪い。

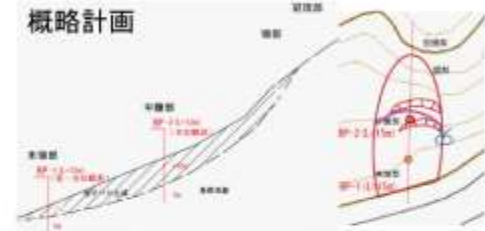
調査対象地の既往地形図と現地状況



既往地形図と現地地形の整合が悪い。植生の繁茂で場所により極端に見通しが悪いため、変動地形の範囲把握が困難

県道の後背斜面の安定性を調べる調査として始った。変状ブロックを既往地形図と踏査で決めようとしたが、

- ①～③の問題から、不確定要素が大きいことが問題であった。
- ① 既往地形の縮尺が粗く、踏査目的に不十分
- ② 地形図と現地地形の整合が良くない
- ③ 植生の繁茂により見通し不良で踏査時の判断に障害



計画

- ①～③の問題を克服するため、④⑤の工夫を行なった後、
- ⑥⑦の想定に基づき、これを明らかにするために調査を実施した。

- ④ 航空レーザー測量を行い、詳細地形図を作成して微地形を抽出した
- ⑤ 既往地質図を基に、地質構造を推定した
- ⑥ 末端部の小規模変状地形とこれを包含する大規模地形が親子型ですべり面が共通している機構を想定
- ⑦ 流れ盤をなす地層境界がすべり面となっている機構をと想定

航空レーザー測量で抽出した微地形

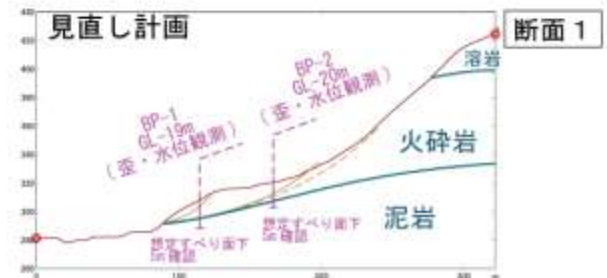


植生の下に隠れた、かつて段々畑と崩壊地形が現れた。これに基づいて調査対象ブロックと調査計画地点、検討断面を設定した

調査対象地の既往地質図



既往地質図では、調査計画地点は泥岩と火砕岩の分布境界に位置し、流れ盤。この地層境界がすべり面となっている可能性を考えた





# 災害地形の調査への適用事例

～地形の変状履歴が推定できる 辿れる～

ボーリング調査 BP-1, 2 の結果、①②の事が判明し、調査 BP-3 を追加実施して③のことが明らかとなった。

- ①実際のボーリングコアからは、普含寺泥岩層の上には崩土が確認され、既往地質図とは異なり、荒金火砕岩層との境界はこの標高では出現しない
- ②BP-1 の薄い崩土層（層厚 2m）は表層崩壊性のものである。BP-2 の崩土層（層厚 11m）は、風化した凝灰岩質のクサリ礫が残存し、中間に 2m 程度の厚さで有機物を多く混じる層がある。
- ③BP-3 では BP-2 と同様に、泥岩層の上に崩土層が現れ、中間に有機物を挟む層がある。崩土層には安山岩の転石が含まれている。

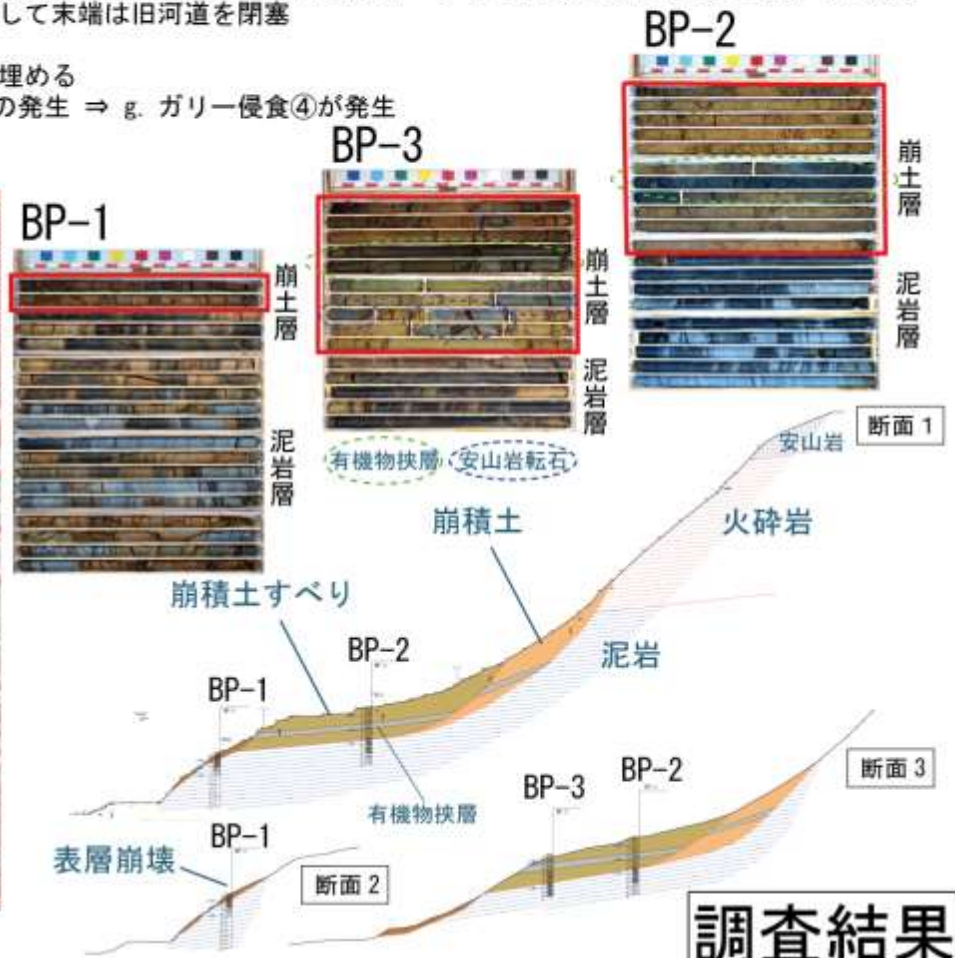
ボーリング調査の結果と詳細な変状地形の痕跡を合わせて考えると、当該山地でかつて生じたイベントを次のように辿ることができる。

- a. 山頂の稲葉山安山岩を含む下位の荒金火砕岩の山体崩壊①が発生して末端は旧河道を閉塞
- b. 崩積土の表層に土壌を形成（BP-1, 2 に見られる有機物混じり層）
- c. 山体崩壊①'が発生し旧崩積土の上位にあった本草や有機物層を埋める
- d. 山体崩壊①'の発生 ⇒ e. 地すべり②の発生 ⇒ f. 表層崩壊③の発生 ⇒ g. ガリ一侵食④が発生

詳細な微地形とボーリング調査結果から分かる変状履歴



①岩盤崩壊、②崩積土すべり、③表層崩壊、④侵食

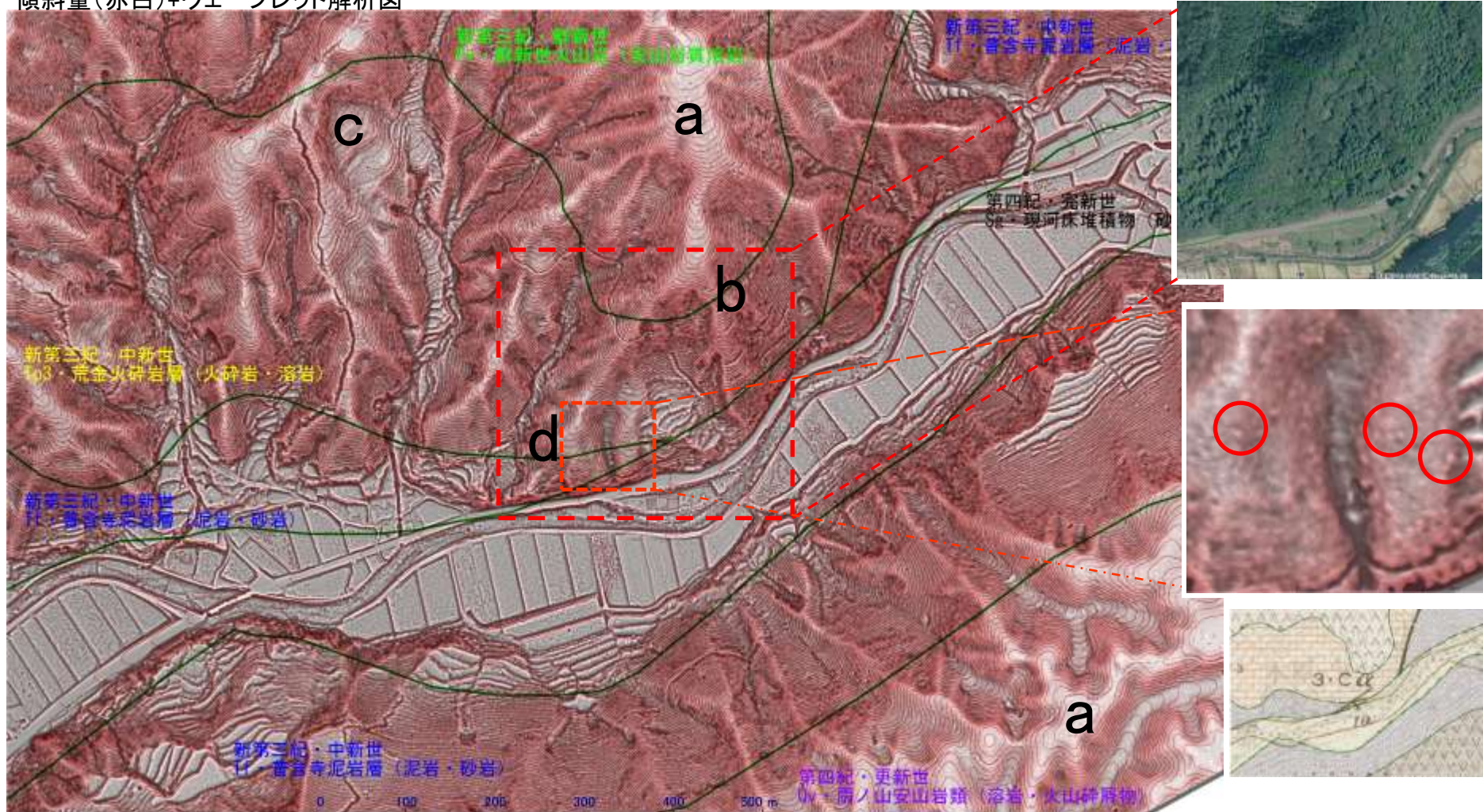


調査結果



# 微地形強調図は地図レベル500で何がどこまで見れるのか(1)

傾斜量(赤白)+ウェーブレット解析図



- a: 山頂の溶岩台地の形容と下位の泥岩・火砕岩に顕著な深い浸食や崩壊地形の分布の差異が分かる
- b: 植生繁茂で見通し困難、既往地形図と現況不一致の地区にかつての段々畑跡、キャップロックとの境界部から生じた山体崩壊跡と裾部のガレ場、かつての地すべりブロック
- c: 典型的な地すべり地形(L=140m・W=80m)
- d: S=1/500拡大時に、Φ3m程度の転石状に見えているものの正体は？



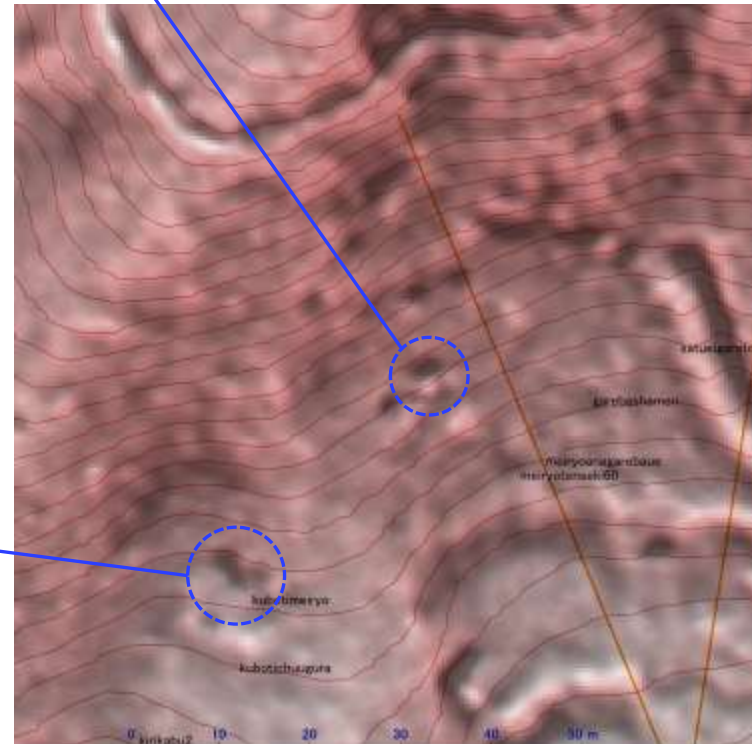
# 微地形強調図は地図レベル500で何がどこまで見れるのか(2)



広さ4m×2m・段差0.6mの猪穴。直下にΦ0.7mの転石。段差があるとことは強調されて良く見える



上空の見通しもまず良好な条件下。周囲のマウンド部も含めて4m×4m程度の穴。良く見える。

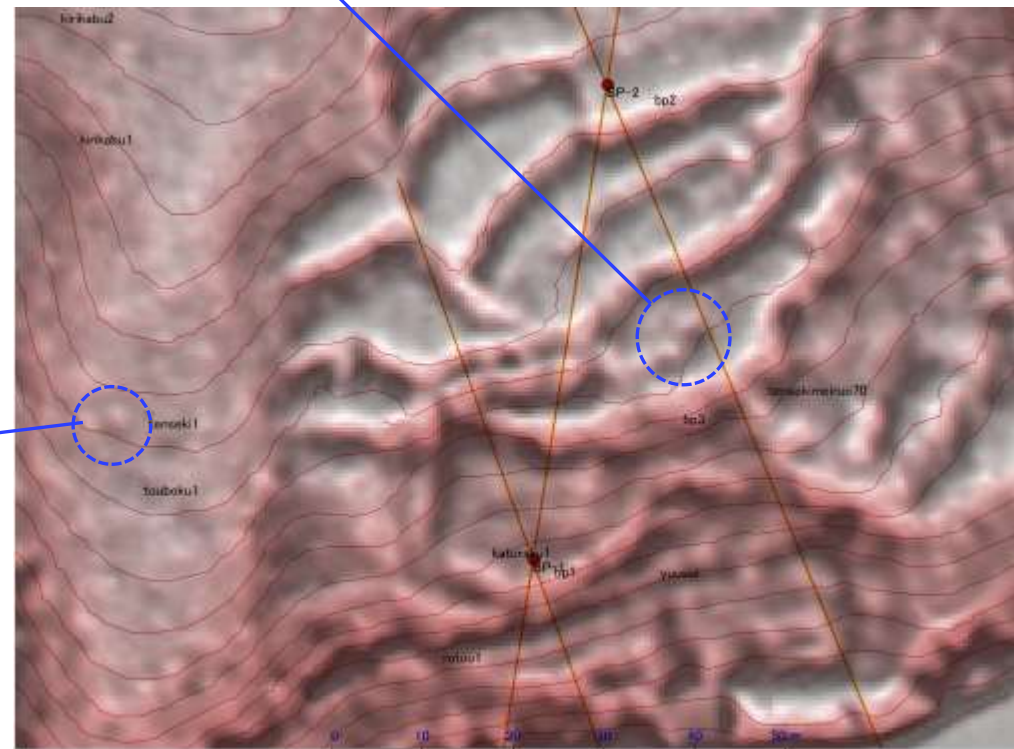




# 微地形強調図は地図レベル500で何がどこまで見れるのか(3)



Φ0.9×0.7mの転石。転石単体ではなく、段差地形の端は強調されて良く見える。  
上空の見通良好な条件下。



上空の見通は良好だが、0.6m×0.6m  
の転石これは大きさに違う



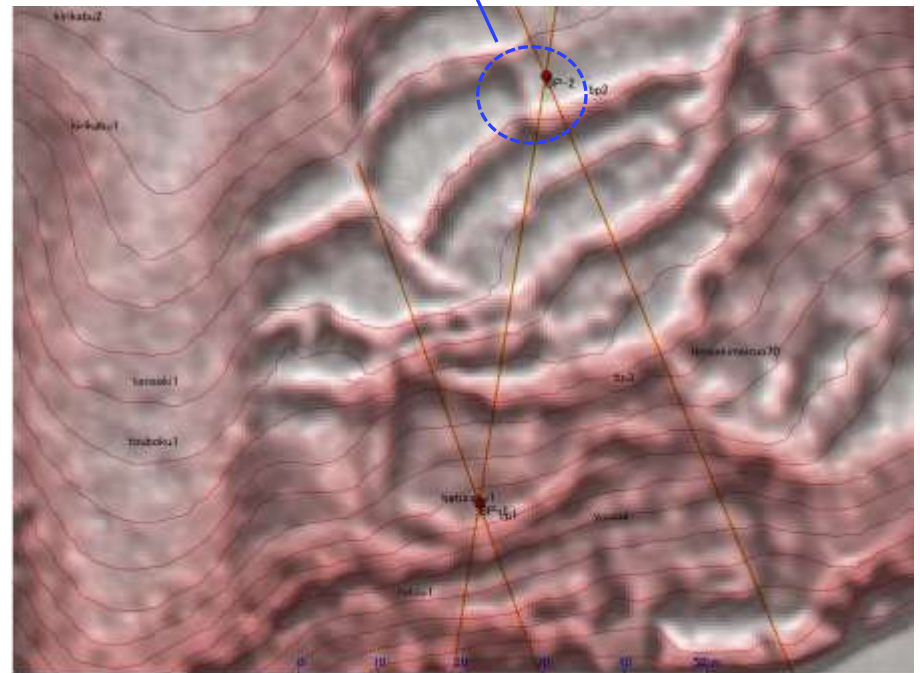
# 微地形強調図は地図レベル500で何がどこまで見れるのか(4)



元、段々畑の段差。比高差0.45m程度。良く強調されて見える。



植林の内部だが、針葉樹の樹冠は上空の見通しがかなりマシなほう。





# 災害地形の調査への適用事例

～いつ崩れたのか～

ちょっと  
蛇足

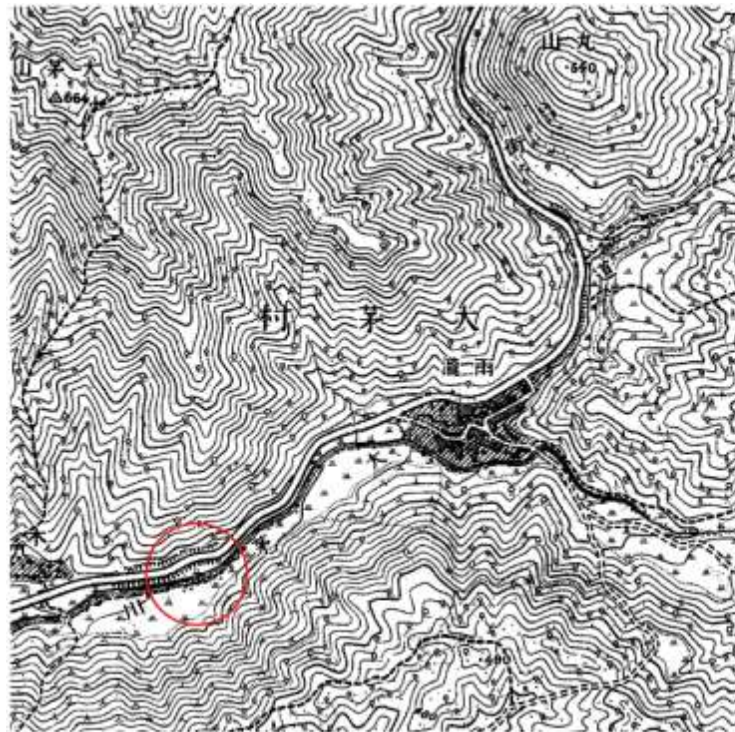
## ■地元で70代の地権者に聞いた話…

「ワシが子供時分にじいさんから聞いた話では、大正時代に山が崩れて前の川まで堰止めたそうな」

## ■信憑性高いかも！！

明治30年測量の地形図(s=20,000)では川がまっすぐ

昭和48年測量の地形図(s=25,000)では川が今の形に曲がっている



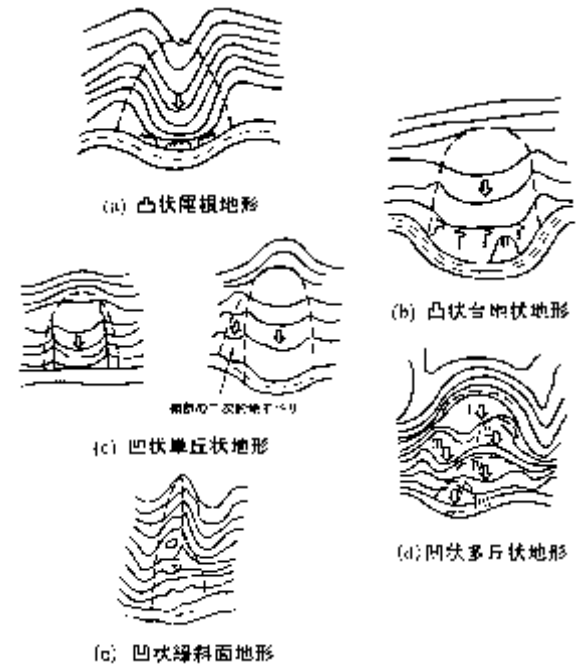
明治30年測量の地形図



昭和48年測量の地形図

# 地形がリスクとなる災害の要因抽出に極めて有効 ～LPデータをより良く活用するために～

- 「暴風、竜巻、豪雨、豪雪、洪水、崖崩れ、土石流、高潮、地震、津波、噴火、地滑り」
- LPデータを用いて微地形強調図を作成することで、地すべり移動体や崩壊源の輪郭など、変状斜面の特徴が際立って抽出できる
- 微地形的な特徴が際立つにしても、無味乾燥な図面単体では汲み取れる情報は偏っている
- 個々の地すべり地形や崩壊地形が成す斜面が今すぐ危険なのか安定しているのかが評価できる訳ではない
- 読図作業に対する慣れだけでなく、現場に足を運び、現地のだんな条件で、どんなものが、原理的にどこまで、どんなふうに見えるのか、といった現場感覚を身につけ、養い続けることも技術者にとっては必須



「地すべり地形の変遷過程に沿って分類された地すべり地形」  
(土木研究所資料代1003号,70p,1975)