

基調  
講演

# 一定垂直倍率立体地形解析図とその応用

岩手大学名誉教授 株式会社横山空間情報研究所代表取締役 横山 隆三

ご紹介にあずかりました横山です。

今日、私は一定垂直倍率立体解析図とその応用というタイトルでお話をさせていただきます。先ほど斉藤専務からお話がありましたように、私は東北大学工学部の電気を卒業しました。入学した時は真空管の時代でした。大学にあったコンピュータは国内でも大きいほうだったのですが、IBMのコンピュータには適いませんでした。大学を卒業してから50年以上になりました。今のような便利な情報通信技術の時代が到来することは夢にも思っておりませんでした。

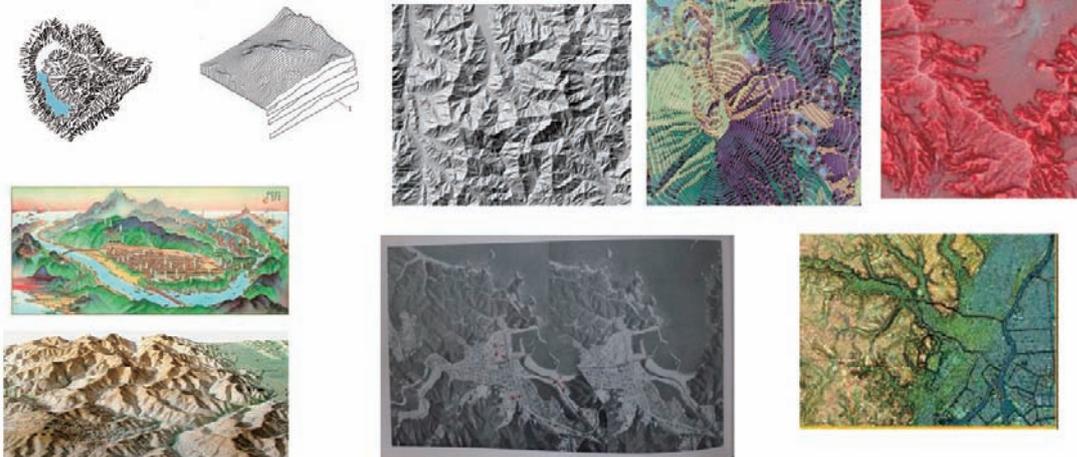
私は後期高齢者になって数年になり、多分この会場での最高齢者の一人ではないかと思いま

す。そういう年寄りの話ですので、多少解り難くてもご容赦頂ければ幸いです。

立体地図というものがあります。スライド1には種々の立体地図を示しています。地図は地形と直接が関係あるものですから、地形も立体的に表現した地図がほしいということで、いろいろな工夫がなされてきました。一番単純なものは、地形模型の上に地図の情報を描いていくことですが、作業としては大変です。他には、ケバ法、地形断面の線をずらしながら沢山書いて立体的に見せる方法、遠近法や鳥瞰法で描く方法、陰影をつける方法、段彩図で示す方法、右眼と左眼に視差の異なる画像を見せる実体

## 立体地図

地図の情報が標高や地表形状に関連している場合には、立体地図として表現すれば、理解容易となり、豊富な情報を判読・抽出できるものとなる。



多種多様な立体地図があるが、それぞれに一長一短がある!!

スライド1

地形判読の専門家向けの立体地図に対する要求

- ①デジタル処理に対応していること ⇒ 立体模型は対象外
- ②正射投影図であること ⇒ 正確な位置同定・転記が可能
- ③距離縮尺及び標高縮尺を一定にして作成されていること ⇒ 正確な地形判読
- ④色彩やテクスチャに方向依存性がない ⇒ 正確な地形判読
- ⑤色彩やテクスチャに凡例が提示できること ⇒ 判読結果に曖昧さが発生しない
- ⑥任意の方向に向けた立体視画像の作成が可能 (ステレオペア写真の実体視では方向が制約される)
- ⑦対象とする地図画像に制約がない ⇒ 地図画像、空中写真、衛星画像などが扱える
- ⑧立体視画像の観察に特殊な訓練や技能を必要としない (裸眼による実体視観察には特殊な技能を必要とする)
- ⑨地形特徴が平易に表現されていること

スライド2

“一定垂直倍率立体地形解析図”の提案

- ①立体視画像はステレオグラム方式で作成して、表示にはアナグリフまたは3D表示装置を利用する。
- ②対象画像は正射投影図法による一般図、主題図、空中写真、衛星画像などとする。これらを“地形解析図”と呼ぶことにする。
- ③立体視画像は、距離縮尺及び標高縮尺を指定された値に維持して作成されている。

以後、“一定垂直倍率立体地形解析図”を単に“立体地形解析図”と呼ぶ事にする。

スライド3

視法、色々な地形要素に着色して立体感を出す方法など、種々の方法が考案されてきました。

私が大学に勤めていた時に、地質や地形を研究している人との議論のなかで、既存の立体地図はまだ十分ではないという声を聞いておりました。スライド2は、それらの要望を総括して、私なりの立体地図のあり方をまとめたものです。幾つか説明を要するものがあります。①の地形模型を用いたものは、ここでは考えないことにいたします。②は判読結果を地形図上に転記する場合にはオルソ画像であってほしいというものです。③、④、⑤は正確な判読結果を得る為のものです。陰影や色彩により立体感を表示しているものは、明確な凡例が提示されておらず、また正確な標高を把握できないことから判読結果に曖昧さが発生します。⑥は空中写真のステレオペアの実体視では観察する向きが写真を取得した時の飛行方向に制約されてしまいますが、このような不便さは避けたいというものです。⑦は地図であれば何でも立体視画像にしたいというものです。⑧は裸眼実体視法のように特殊な訓練や技能を必要とするものは困るというものです。これは私も切実に感じています。裸眼実体視法の習得を何度も試みましたが、結局できずに終わってしまっています。

スライド3は、前のスライドで述べた立体地図に対する要望を総合した結果として、私が到達した立体地図の概念です。ここでの立体地図とは、

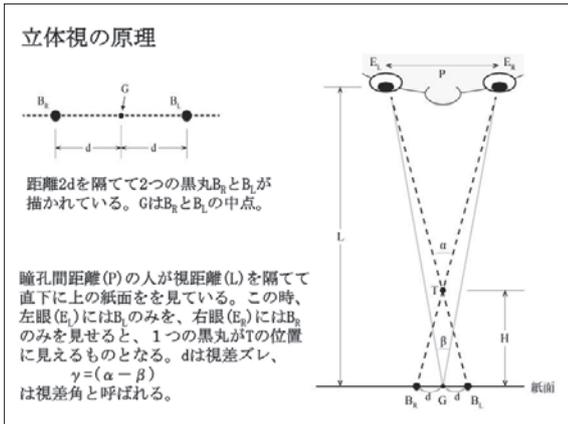
- (1) 正射投影の地図のステレオグラムによる左眼画像及び右眼画像の対で構成され、
  - (2) 両画像による立体視像は距離縮尺及び標高縮尺が一定となるように作成されており
  - (3) 立体視画像の観察にはアナグリフ方式または偏光方式を用いる、
- というものです。

この立体地図が対象にしているものには、一般図、主題図、空中写真、衛星画像などが含まれるものとして、以後これらを“地形解析図”と呼び、距離縮尺及び標高縮尺を一定に維持して作成されている立体地図を一定垂直倍率立体地形解析図、略して“立体地形解析図”と呼ぶことにします。立体地形解析図は、もとの地図情報はそのままにして、一定垂直倍率を維持した立体視画像となっているものです。

なおアナグリフによって立体視画像を作成することに関しては種々のフリーのソフトが出回っていますが、作成される立体視画像の標高縮尺は一定にはなっておりません。

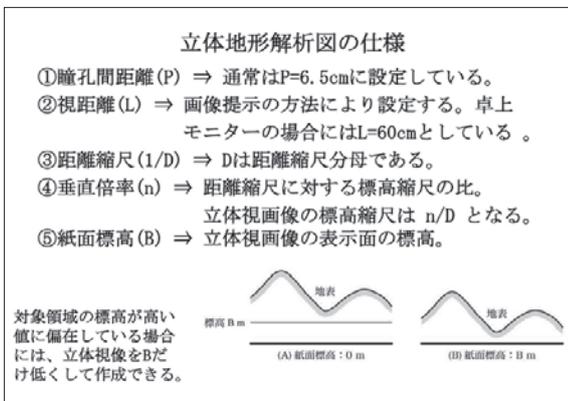
スライド4は、標高縮尺を一定に維持するために必要な視差ズレの量を示しているものです。これから2、3のスライドは理屈っぽくなりますけども、少しの間だけ我慢して下さい。

白い紙に距離 $2d$ を隔てて二つの黒い点 $B_L$ と $B_R$ が描いてあるとします。これを左眼( $E_L$ )には $B_L$ だけを見せて、右眼( $E_R$ )には $B_R$ だけを



スライド4

見せると、脳は $E_L$ と $B_L$ を結ぶ線と $E_R$ と $B_R$ を結ぶ線の交点Tに1つの黒丸が見えるように反応します。Tの高さHは2つの黒丸の間の距離 $2d$ に依存します。ここで $d$ を視差ズレ量と呼ぶことにします。一定標高縮尺を維持する為には、画素毎に視差ズレ量を調整して左眼用画像と右眼用画像を合成することになります。



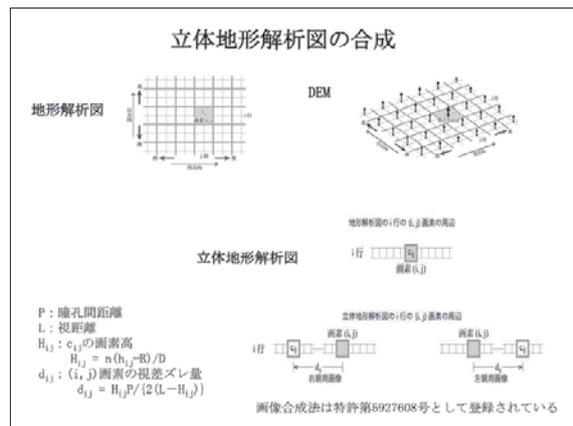
スライド5

スライド5は視差ズレ量の算出に必要な項目を示したもので、いわば立体地形解析図の作成仕様に相当しています。

- ① 観察者の瞳孔間距離 ( $P$ ) : 通常の立体地形解析図では $P=6.5\text{cm}$ として作成します。これは大人の瞳孔間距離の平均値にあたります。
- ② 視距離 ( $L$ ) : 立体地形解析図をどれだけ離れて観察するかという事ですが、状況によって種々の値が指定されます。ポスター

サイズ程度までの画像を机上に広げて見る場合には $L=60\text{cm}$ としています。

- ③ 距離縮尺 ( $1/D$ ) :  $D$ は地図の距離縮尺分母として指定されるものです。
- ④ 垂直倍率 ( $n$ ) :  $n$ は距離縮尺に対する標高縮尺の比を意味しています。したがって立体地形解析図の標高縮尺は $n/D$ となります。
- ⑤ 紙面標高 ( $B$ ) :  $B$ は立体地形解析図がプリントされている紙面 (或いは表示されている画面) に該当する平面の標高値を意味しています。対象領域の標高が高いレンジに偏在している場合には、領域全体の標高を $B$ だけ下げて ( $B$ だけ下駄を脱がせたかたちで)、立体地形解析図を作成する時に用いられるものです。

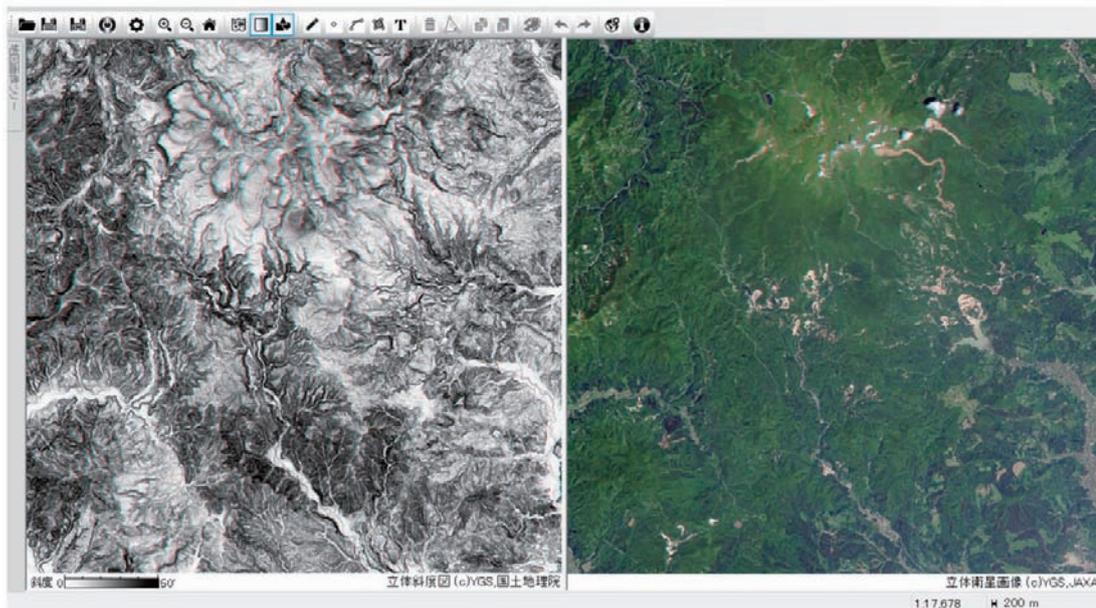


スライド6

スライド6は立体地形解析図の合成法を示しています。立体地形解析図の作成には地形解析図と数値標高データ (DEM) が必要です。立体地形解析図の視差ズレ量は、このような式で算出されます。立体地形解析図については今泉俊文他編、活断層詳細デジタルマップ[新編]、東大出版会、2018/3の第II部に詳しく解説してありますので、興味のある方はこちらをご参照頂ければ幸いです。なお、一定垂直倍率立体地形解析図の作成法は特許第5927608号として登録されております。

以後は東北地方の例を中心にして、立体地形解析図を紹介させていただきます。

## ① 2008年6月の岩手宮城内陸地震後の 栗駒山東麓の立体斜度図, 立体だいち画像



(注) DEMは基盤地図情報5mメッシュ(標高)を使用している。

スライド7

スライド7は岩手・宮城内陸地震に関するものです。右側の画像はALOS衛星(日本名は「だいち」)が地震の1ヶ月後に観測した画像を立体地形解析図にしたものです。皆さんがお持ちの赤青メガネを用いて青を右眼に赤を左眼にあててみてください。これらの立体視画像はスクリーンの正面で10m離れて見ている方々が一番良く見えるようになっていますが、後ろの方には垂直倍率が大きくなって見えて、前の方には垂直倍率が小さくなって見えます。

季節は初夏ですので、植生が繁茂しているところは緑に見えていますが、あちこちに地震による地すべりや土石流によって植生が剥がされているところが見えています。栗駒山の頂上付近から発生した土石流は、ドゾウ沢を流下して、駒の湯を襲いました。何人の方がお亡くなりになっています。ここは荒砥沢の大崩落のところです。こちらは一ノ関の奥の磐井川上流の産女川の大崩落の跡で、こちらの一迫川沿いには多くの地すべり箇所が見えております。

左側の画像は同じ領域の立体斜度図です。国

土地院の5mメッシュDEMを用いて作成しました。斜度とは地表傾斜角を意味しており、図では斜度が小さいほど白く、斜度が大きいほど黒く表示してあります。立体ALOS画像で土石流や地すべりが発生している箇所は、立体斜度図では斜度が大きいところである事がわかります。

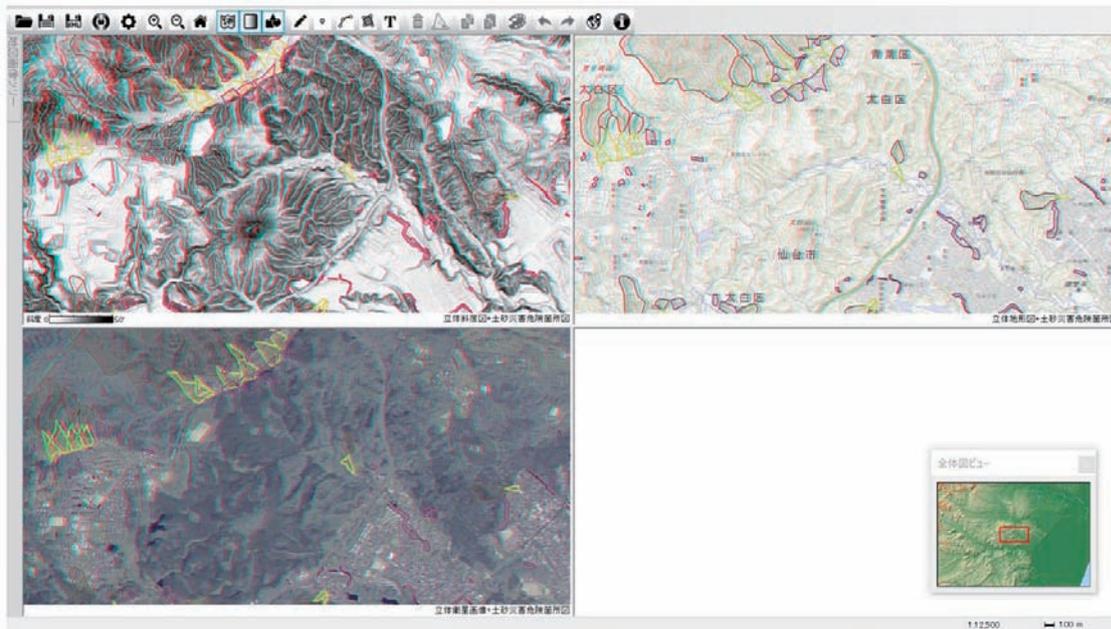
これらの画像を立体地形解析図のViewerで見ると、+マークで指定した箇所の標高値と緯度経度が右下に表示されます。例えば、ここは標高が620mであり。ここだったら標高が405mということになります。

これらの立体地形解析図によって、土石流や地すべりが発生した箇所の地形特徴を調べることができます。

次に仙台市の土砂災害危険区域を、立体斜度図(左上)、立体地形図(右上)、ALOS画像(左下)に表示した例(スライド8)を紹介します。地表被覆や土地利用の状況は立体ALOS画像で、地表傾斜の状況は立体斜度図、地名・地物は立体地形図で判読できます。

ご覧のように、土砂災害危険区域に指定され

## ② 仙台圏土砂災害域記入の立体斜度図, 立体だいち画像, 立体地形図



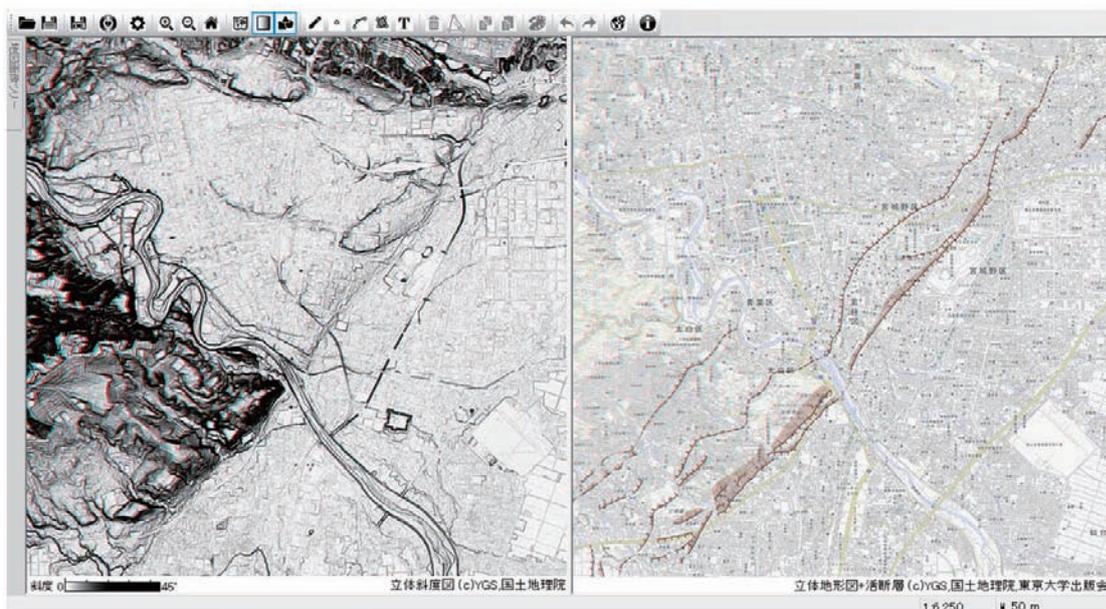
(注) DEMは基盤地図情報5mメッシュ(標高)を使用している。

スライド8

ているところは、背後に大きな斜度を持つ広い集水域があることがわかります。例えばこの標高は325mですが、斜面の一番下の方は127mです。ここに雨が降ると、水系が絞り込まれてきている末端に土砂災害の危険性があることが

わかります。このように立体地形解析図を用いて土砂災害危険区域を説明されたら、素人でも容易に理解できるものと思います。種々のハザードマップが出回っていますが、何故ここが危険かを理解できるようになっているものは少ないよ

## ③ 仙台圏の立体斜度図, 活断層記入立体地形図



(注) DEMは基盤地図情報5mメッシュ(標高)を使用している。

スライド9

うに思っております。

また、これらの立体地形解析図を見ると、背後に大きな斜度を持っている広い集水域がある箇所でも危険区域に指定されていないところも有るように思いますが、これが何故なのか専門外の私にはわかりません。

スライド9は仙台市の活断層の位置を記入した立体地形解析図です。左側は立体斜度図、右側は立体地形図です。利府・長町断層は、こちらの大年寺山の斜面の下から原町に向かって走行していますし、こちらの大年寺山断層は八木山団地の中を通過して市の中心部に達しています。次に宮城県で大地震が発生するとしたら、これらの断層が暴れるのではないかと危惧されているところです。

これらの立体地形解析図は地形や地質の専門家には、断層と地形の関係がよくわかり、説明する際にも便利であると好評でした。しかし現在の八木山地区は住宅地になっていて本来の地形が改変されてしまっています。改変前の地形を知る方法はないかと相談されましたの

で、もう1つの工夫をしてみました。

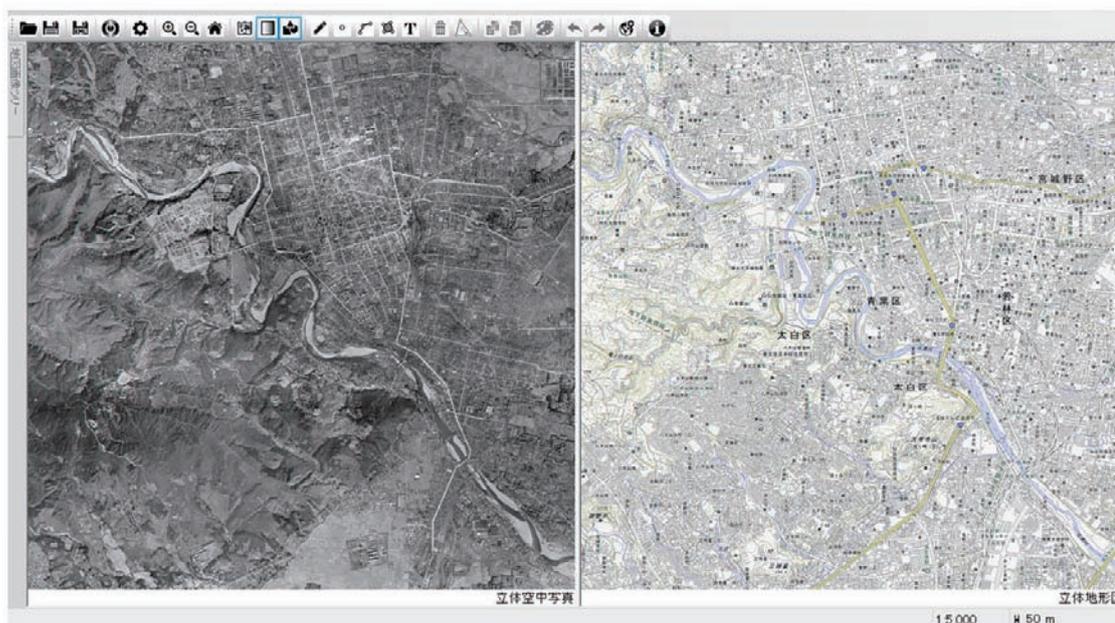
1947年(昭和22年)に当時の進駐軍が仙台地域を撮影した空中写真がありました。この空中写真からDEMを作成して、立体地形解析図を作成してみました(スライド10)。

左側の画像は八木山地区の立体空中写真です。この立体空中写真からは本来の八木山の地形が判読できるということで専門家間で重宝されています。大年寺山断層の位置も明確に同定できるとのことでした。

右側の画像は現在の地形図とDEMで作成した立体地形図です。八木山一帯は住宅地となっており、宅地造成のために地形が改変されていることがわかります。

この仙台の空中写真は終戦の2年後に撮影されたものですから、市内には空襲の跡が残っているところもありました。八木山一帯は山林で覆われており、ベーブルースが野球をしたという球場も見えております。私の学生時代の八木山もこのような状態でした。夕方になると町中では風呂を焚く亜炭の煙の匂いが立ち込めてきた

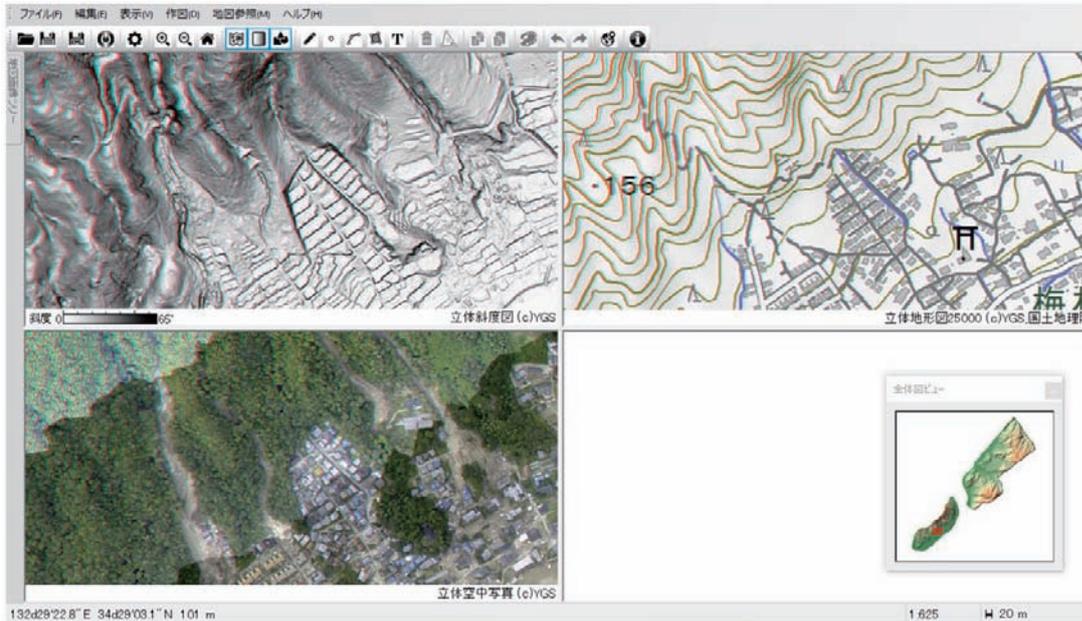
#### ④ 仙台市の立体空中写真(1947/10/8), 現在の立体地形図



立体空中写真では空中写真から作成した2mメッシュDEM、  
立体地形図では基盤地図情報5mメッシュ(標高)を使用している。

スライド10

## ⑤ 2014年8月の広島土砂災害直後の 立体斜度図, 立体空中写真, 立体地形図



(注) DEMは航空レーザ測量DEM(50cmメッシュ)を使用している。

スライド11

ことなどが思い出されます。この空中写真を見て昔を懐かしんでいる人もたくさんおられます。

航空レーザ測量データによる立体地形解析図の例をご覧にいます(スライド11)。これらの画像は、2014年の広島土砂災害の直後に取得された安佐南地区の航空レーザ測量データ(DEMは50cmメッシュ)を用いて作成したものです。左上が立体斜度図、右上は立体地形図、左下は立体空中写真です。

立体空中写真の中で斜面の植生が筋状に剥がれているところは土石流の跡であり、流下して住宅地に達している状況がわかります。立体斜度図では土石流の跡は特有のテクスチャ(模様)を持つ筋状のところとして見えております。しかし立体空中写真で植生が剥がされていないところにも、立体斜度図では土石流跡となるところがあります。これらは土石流が植生を残しながら根元を流れていったところです。

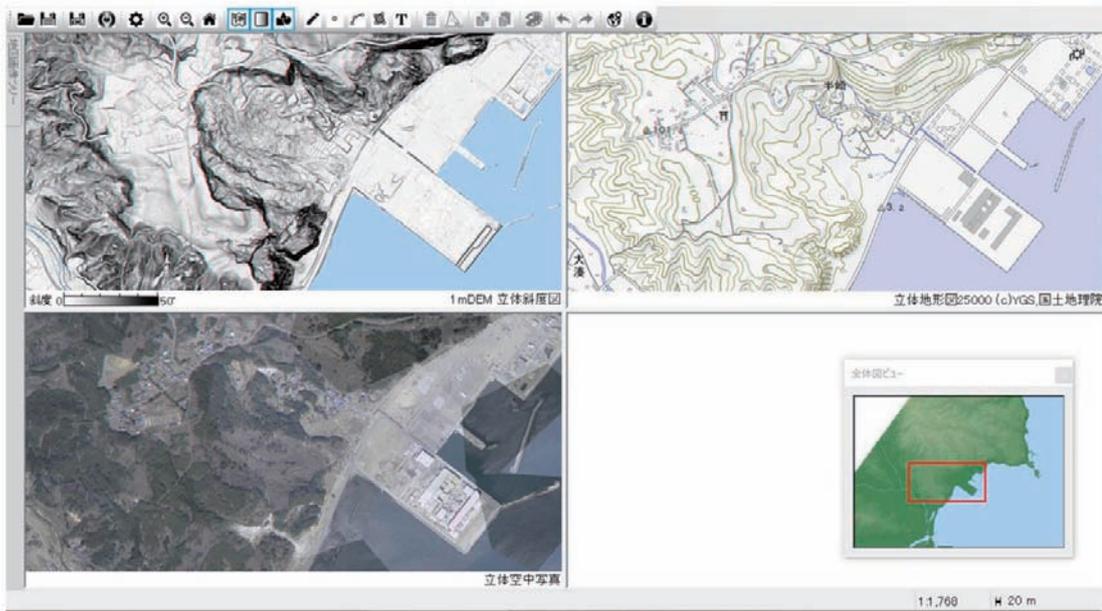
皆さんに配布してある立体空中写真と立体斜度図の拡大プリントを見て下さい。立体空中写真では植生に覆われているところに、立体斜度

図ではあちこちに穴(窪地)が見えているところがあります。専門家によれば、これらの穴は地下水が噴き出した跡だそうです。地下水が噴き出ただけで終わったところは穴として残っているが、それ以上に周囲の土砂を巻き込んで本格的に流れ出したものは土石流となってしまうそうです。したがってこれらの穴は土石流の発生機構を解明するのに重要なのだそうです。現地調査をした人からは、確かに穴はあったということを知りました。航空レーザ測量DEMは、植生の下での地盤高を検出できることから、斜度図により詳細な地表形状の判読が可能です。

この麓の住宅地の標高は30m程度ですし、後背地の頂上は300m以上です。標高差の大きい広い範囲を調査するには、立体地形解析図が有効であると言えます。これらのプリント画像は東北大学の風間先生の報告に用いられたものです。

地域社会の立体地形解析図を紹介します(スライド12)。ここに示した画像は、岩手県北部の久慈市の立体斜度図(左上)、立体地形図(右上)

⑥ 岩手県久慈市半崎地区の立体斜度図, 立体空中写真, 立体地形図



(注) DEMは航空レーザ測量DEM(1mメッシュ)を使用している。

スライド12

及び立体空中写真(左下)です。東日本大震災の2ヶ月後に津波の被災状況を調査するために取得された航空レーザ測量データ(DEMは1mメッシュのもの)を用いて作成したものです。ここは久慈港ですが、立体空中写真には岸壁にあった多くの建物の流された跡が見えています。

港の背後の丘に注目して下さい。立体斜度図には、あちこちに典型的な地すべりの地形が見えております。この領域には、山林、原野、住宅、道路などの土地利用が見られます。写真判読では、植生が繁茂しているところの地すべり域の正確な抽出は容易ではないと言われており、確かにこの立体空中写真からも地すべり域を判読するのは困難ではないかと思えます。なお地元では一応の地すべり対策はおこなっているとのことでした。

近年、衛星データから作成したDEMが普及してきて参りました。DEMには可視域の画像データから作成されたもの、合成開口レーダのデータから作成されたものなどがあります。

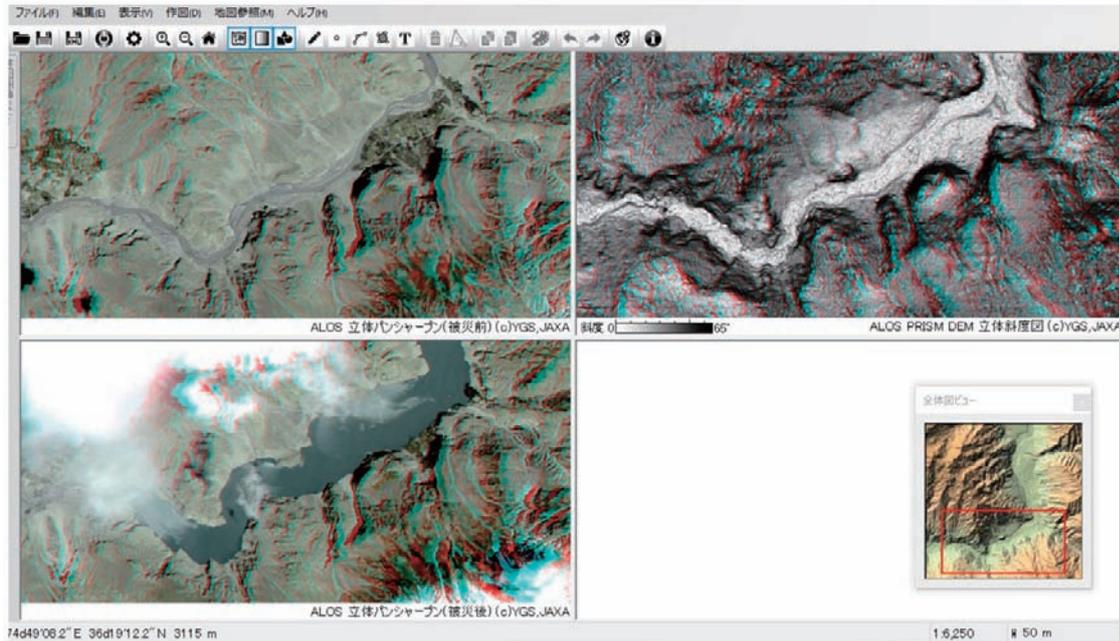
ここで海外の立体地形解析図の例を紹介させて頂きます(スライド13)。これらの画像は、

パキスタン奥地のフンザ渓谷の2時期の立体衛星画像(左上、左下)と立体斜度図(右上)です。衛星画像はALOS衛星のもの、DEMもALOS衛星データから作成した5mメッシュのものを用いております。立体斜度図を見ますと画面の下方斜め上に大きな谷があります。これがフンザ峡谷で下をフンザ川が流れています。

2時期の衛星画像を見ると異なっているところがあります。雲の部分を除くと、左上の画像ではフンザ川は細い流れですが、左下の画像ではこれが非常に広い水域となっています。フンザ峡谷では2010年に大崩壊が発生して、川が堰き止められて天然ダム湖ができてしまいました。左上の画像は天然ダム湖ができる前のもの、左下は天然ダム湖ができた後ものです。天然ダム湖によってここにあった大きな集落の南半分は水没してしまっており、またハイウェイも水没しているのがわかります。

日本からも幾つかの調査団が派遣されたと聞いておりますが、海外についてもこういった立体地形解析図が作れるようになりましたので、今後の調査に活用して頂けることを期待してお

## ⑦ パキスタンHunza峡谷の大洪水(2010年1月)の前と後の立体だいち画像, 立体斜度図



(注) DEMはAW3D(5mメッシュ)を使用している。

スライド13

ります。

これで立体地形解析図の提示は終了となります。休み時間に見て頂けるように、周囲の壁に典型的な立体地形解析図を貼っておりますので、ご覧頂ければ幸いです。また、下記のページ

<http://yg-space.jp/gallery.html>

でも種々の立体地形解析図をご覧頂けます。

スライド14は、一定垂直倍率立体地形解析図の概念をポンチ絵で示したものです。ここに竹で編んだ地形模型がありますが、これは標高縮尺・距離縮尺を一定にして作成されているものです。もちろん、これはデジタルデータとして作成されているステレオグラム地形模型です。背後に色々な地形解析図が貼ってあります。これらを地形模型に貼り付けると立体地形解析図になります。本来の地形解析図をそのままして立体視画像とする事ができます。

立体地形解析図は標高縮尺も一定にして作成されていることから、正確な地形把握が可能です。また画像を机上に広げて多人数で観察することができるので、より客観的な判読結果が



スライド14

得られるものと思います。さらにViewerを用いれば立体視画像に書き込みができて、その結果をshape fileとして確保することも可能となっています。

スライド15は立体地形解析図の作成に良く用いられているDEMを示したものです。1番上の航空レーザ測量DEMは官庁、大学、研究機関などが取得しているものがほとんどです。取得コストが非常に高いので、一般の人には手が出せないのが現状です。2番目以下のDEMは無料

## 立体地形解析図に利用されている主なDEM

	公開機関	対象域	格子点 間隔	作成法	概 要	公開 開始年
航空レーザ測量 DEM	(ナシ)	各地	50cm, 1m, 2mなど	航空 レーザ 測量法	個々の機関、企業が取得・所有しているが公開されているものはない。最近ではドローンによるデータ取得もおこなわれるようになってきた。	1990年代 半ば
基盤地図情報 数値標高モデル 5mメッシュ	国土 地理院	日本 国内	5m	航空 レーザ 測量法	基本測量および公共測量で取得した航空レーザ測量DEMを再編集して5mメッシュDEMとしたもので、一部に空中写真から作成されたDEMが含まれている。DEMの被覆範囲は年々増大しており、現在では日本陸域の約80%に達している。	2008年
基盤地図情報 数値標高モデル 10mメッシュ	国土 地理院	日本 全陸域	10m	等高線 補間法	1:25,000地形図の等高線に補間法を適用して算出されている。日本陸域では1975年に250メッシュDEMが1993年に50mメッシュDEMが公開されており、本10mメッシュDEMおよび上欄の5mメッシュDEMへと引き継がれてきている。	2008年
ASTER -GDEM	経済産業省/ NASA	北緯83度～ 南緯83度	30m	空中 三角 測量法	1999年に打ち上げられたTERRA衛星の立体視センサ(ASTER)のデータから作成されたものである。ASTERは現在も稼働しており、蓄積される観測データにより逐次DEMの修正がおこなわれており、現在Ver. 2が公開されている。	2009年
AW3D30	JAXA	緯度 約82度 以内	30m	空中 三角 測量法	2006年に打ち上げられたALOS衛星(日本名"だいち")の立体視センサ(PRISM)のデータから作成されたものである。2011年5月にALOSが稼働を停止した為に、データ蓄積が十分でない地域ではDEMが欠損しているところがあり、ここには既存の標高・地形データで補完されている。なお、PRISMデータから作成された5mメッシュDEMものがあるが、これは民間企業から有料で販売されている。	2016年
SRTM	NASA	北緯60度～ 南緯56度	30m, 90m	SAR 干渉法	スペースシャトルから2000年に取得された合成開口レーダデータから作成されたものである。一部のデータ欠損域についてはASTER-GDEMやGMTED2010などで補填されているところがある。	2014年
GMTED 2010	USGS	全球	1,000m, 500m, 250m	各種手法 の混在	既存の種々のDEMを合成・編集したもので、IHGTPO30の改訂版に相当している。	2010年
J-EGG500	日本海洋 データ センター	日本 周辺海域	500m	各種手法 の混在	メッシュサイズ500mの水深データである。既存の種々の水深データを編集したもので、一部にはデータの欠損域がある。	

(注)第1欄の航空レーザ測量DEM以外は無料で公開されている。

スライド15

で利用できるものです。

航空レーザ測量DEMの特徴を述べておきたいと思います(スライド16)。最近のレーザスキャナは1秒間に数十万発のレーザ・パルスを発射することができるようになりました。植生繁茂を排除して地面から反射してきた信号だけをとりだす処理技術により、地表をスキンヘッドにした状態での高空間解像度・高標高分解能のDEM(いわゆるDTM)が作成できるようになりました。本日も航空レーザ測量DEMによる種々の立体地形解析図を紹介させて頂きましたが、斜度図では、地すべりや土石流の跡は、植生繁茂の下にあっても特徴的なテクスチャとして現れており、簡単に判読できます。今後UAVレーザ測量によるDEMが登場してくると、さらに詳細な地表観察が可能になることでしょう。

測技協さんにお問い合わせがあります。私のところに持ち込まれる航空レーザ測量DEMの質にはバラつきがあります。航空レーザ測量は1990年

### 航空レーザ測量DEMの特長

- ◎植生の影響を除去した地盤高に近い標高値が得られる
- ◎空間解像度が高いデータが得られる：50cm, 1m, 2mメッシュ
- ◎標高分解能が高いデータが得られる：cmオーダー
- ◎ドローンによれば、さらに高解像度のDEMが得られる。
- 他のDEMに比べて、航空レーザDEMは詳細観察に最適である。

### 航空レーザ測量DEMの課題

- ◎品質管理の改善：質が良くないDEMもある。
- ◎高度利用技術の開発：DEMの長所を発揮した利用法
- ◎判読技術者の養成：研修機会の充実
- ◎既存DEMの利用機会の拡大：
- ◎ドローンレーザ測量DEMの技術の確立

スライド16

の半ばから登場しており、初期のDEMには質が良くないものが多くありました。しかし東日本大震災の後に取ったという比較的最近のDEMの中にも、これはDTMと言うにはちょっとおかしいなというも少なからずありました。DEM品質の維持についての業界のさらなる活動を期待しております。

また航空レーザ測量DEMが高いコストをかけて取得している割には、その利用法がまだま

だ十分ではないのではないかと考えています。せいぜい細かな間隔の等高線図ができましたという程度かと思うのですが、地形特徴の抽出法や主題図の開発、理解容易な表示法（立体視画像を含めて）など、まだまだ新しい利用法開発の余地が残っているように思っております。立体地形解析図を含めて、DEMから作成された地形主題図の判読法の確立も重要な課題であると思います。

立体地形解析図に利用されてきている主な図種

- (1) 地形図、地質図、水系図、地形分類図
- (2) 空中写真、衛星画像
- (3) DEMから作成される地形解析図
  - ①斜度図：地表傾斜角。地形の微分情報。  
起伏量図の細密化画像
  - ②地上開度図：当該地点が周囲よりどれだけ高いかを画像化したもの。尾根線の抽出
  - ③地下開度図：当該地点が周囲よりどれだけ低いかを画像化したもの。谷線の抽出

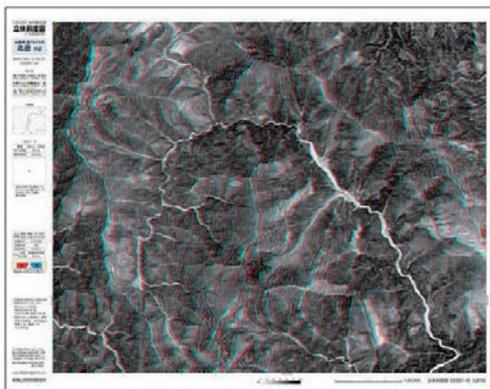
スライド17

立体地形解析図に合成された地形解析図には、地形図、地質図、水系図、地形分類図、空中写真、衛星画像などの他に、DEMへの演算により作成されるものとしては斜度図、地上開度図、地下開度図などがありました（スライド17）。

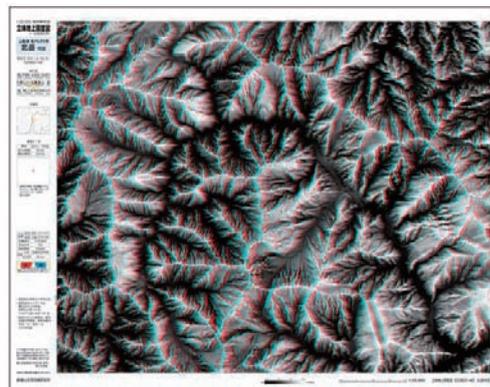
スライド18は斜度図（左側）、地上開度図（右上）、地下開度図（右下）の例を示しています。斜度は地表形状の微分情報に相当します。白黒階調が急変しているところは、地形が急変しているところです。

こちらは地上開度図です。尾根線は地上開度が大きい所として白く抽出表示されています。尾根が滑らかな程、白の幅が大きくなって見えています。こちらは地下開度図です。谷線は地下開度が大きいところとして、白く抽出表示されています。白の幅により谷幅を推定できますし、また谷線の走行を辿ることによって集水域を把握することもできます。

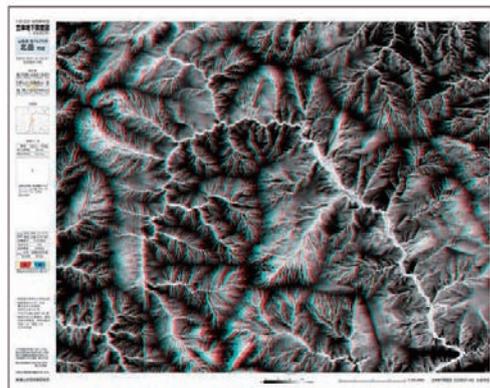
## DEMから合成される地形解析図の例



①斜度図：地表傾斜角図，  
地表の微分情報



②地上開度図：尾根線の抽出



③地下開度図：谷線の抽出

スライド18

立体地形解析図は、各種調査、環境、災害・防災、地下資源探査など、国内外の種々の分野で利用されてきています。海外のインフラ開発に関連する調査においては、正確な地図の入手が困難な場合があります。特に開発途上国や政治体制の異なる国での調査では、この問題は深刻のようです。このような場合に衛星データから作成した立体地形解析図が利用されてきています。

東南アジアの地熱調査に参加した企業のエピソードを紹介させていただきます。地熱開発では地形・地質調査や物理探査など種々の調査結果を総合して、掘削する井戸の位置を確定するそうです。井戸は通常2kmから2.5km程度の深さまで掘るそうですが、一本を掘るには6億円～8億円かかるそうです。折角掘っても空井戸の場合や、期待どおりの蒸気が出ない場合が多々有るそうで、如何に蒸気量の大きい井戸を掘り当てるかが重要な課題だそうです。このプロジェクトでは、はじめにアメリカチームが提案した箇所を掘削したが失敗に終わったそうです。次に日本チームが提案した箇所の井戸からは期待していた量以上の蒸気が出たそうです。井戸の位置決めには立体地形解析図も大いに参考にしたとのことで大変喜んでおられました。他にも東南アジア、メキシコ、南米、アフリカなどでの地熱調査に立体地形解析図が利用されてきています。

東日本大震災の後に、日本の原発が全部止

められて、再稼働に関して種々の調査がおこなわれてきています。地震後に最初に稼働したのは、若狭湾にある大飯原発でした。この稼働認可にあたっては、専門家会議で繰り返し議論がおこなわれました。ある委員は、空中写真判読の結果では敷地内に活断層があると思われるので、再稼働すべきではないと主張し、ある委員は活断層ではなくて地すべり跡だと主張して意見が分かれている様子が報道されておりました。この時、当方に航空レーザ測量DEMによる立体地形解析図の作成依頼がありました。専門家会議の様子はU-tubeで公開されておりましたが、ある時には会議室の正面に立体地形解析図を張り出して議論している様子も流されておりました。最終的には、大飯原発には稼働して良いという結論が出されました。

立体地形解析図は非常に分かりやすいということで、社会科の地理の教材に利用されてきています。土木コンサル会社の人の中には、役所に等高線図による調査結果を持参しても、若い担当者にはなかなか理解してもらえないとボヤいる人は少なくありません。等高線図や空中写真をもとに地形判読を鍛えられてきた人達は、すでに50歳代に達しており、企業内でも世代間のギャップがあるように聞いています。このような場合に、立体地形解析図を用いると理解してもらえないのではないかと考えております。

私の話は、これで終了させていただきます。長い間のご静聴有り難うございました。

おわりに

- 一定垂直倍率立体地形解析図は、
- ◎各種調査（地形・地質、環境、災害など）
- ◎防災対策立案
- ◎開発計画立案
- ◎資源探査
- ◎教材
- ◎解説資料
- などの分野で利用されてきている。



**講演者**  
 横山 隆三（よこやまりゅうぞう）  
 岩手大学名誉教授  
 株式会社横山空間情報研究所  
 代表取締役

本稿は平成29年11月17日、当協会の「地理空間計測・活用技術セミナー 2017 in 仙台」において基調講演をしていた横山隆三先生のご講演内容をまとめたものです。