

航空写真から得られる防災情報

国際航業(株)副社長・日本地質学会前副会長

武田 裕 幸

まえがき

建設関連事業の調査・計画段階に航空写真判読が利用されるようになって、25年あまりになります。この間、高速道路などの路線調査、治山・砂防調査、土地利用調査、土地条件調査、地すべり調査、環境アセスメントなどなど利用範囲は著しく広まり、航空写真はこれらの調査にはもはや不可欠となっています。とりわけ防災分野には最も効果的に利用されており、航空写真判読を伴う諸々の調査体系は、むしろこれらを通して確立され、深化されて来たときえいえるでしょう。

1972年に米国でLANDSAT衛星が打上げられたのを機に、リモートセンシング技術が著しく進展し、各種の画像処理技術の向上とあいまって、これら衛星画像や航空機MSSの利用なども広まってきましたが、日本国内で求められる防災上の情報を得る手段としては、①得られる精度が高く、②画像の入手が手軽で、③図化など他の目的で撮ったものを転用できて経済的である、④情報の読みとりや画像の処理に特殊な機器を必要としないといったメリットがあるため、多くの面で高精度が求められるわが国では、航空写真の利用度は高いといえます。

リモートセンシング分野でも、数年まえス

ペースシャトルからの長焦点カメラによる画像や仏国によるSPOT衛星の立体画像が手軽に入手できるようになって、航空写真判読の技術がそのまま利用されるようになって来ました。またわが国の場合、リアルカラーや赤外カラー写真あるいはハイビジョンのビデオ画像などを使って画像処理を行う、わが国の体質にあった独自のリモートセンシング技術も開発され、海外からも注目されています。

1. 防災調査における航空写真の役割

我々は今のところ、自然災害をもたらす誘因そのものをコントロールすることはできませんが、次のように3つの点から災害を防ぐとしています。

(1)その1つは、積極的に災害を防ぐ技術を確立して、それを実施することです(防災対策)。

(2)その2つ目は、災害をもたらす自然現象の発生や到来を予知・予測して早目に危険地から逃れること、あるいは予測される災害に十分そなえること(災害予知)。

(3)3つ目は、災害のおこり易い危険な場所をよく知り、危険地にははじめからできるだけ近づかないこと、あるいは危険度が増

してきたら、早目に避けることです（危険地の認識）。

このうち(3)が、本シリーズでとりあげられているいわゆる「防災アセスメント」に当るわけです。具体的には、①どこが、②どういうタイプの災害に対し、③どれだけの危険性をもつかを、総合的・体系的に把握することが大切で、その手段として航空写真が効果的に利用できます（表—1）。以下に、これら航空写真から得られる防災情報について、実例を混えて述べたいと思います。

2. 地震防災に関する情報

地震防災上問題となる情報は主に、(1)地震動、(2)地盤の液状化、(3)津波、(4)地震火災、の4つに分かれます。

1) 地震動に関する情報

ある地点の地表面の地震動は、①震源からの距離によって地震波の減衰の度合が変わり、②その地点の軟弱層（沖積層と考えてよい）の厚さによって地震波の増幅の度合がちがうため、これら①、②によって著しく支配されます。従ってある市といった規模を考えた場合、①はほぼ同一と考えてよいから、②

表—1 航空写真から得られる防災情報（武田・今村，1976をもとに作成）

大項目	細目	表現データ	センサー	備考
[I] 地震防災に関する情報	1) 震度に関する情報	(1) 中地形分類図 (2) 微地形分類図	バンクロー リアルカラー	・地震動は、沖積層の厚さによって増幅され、沖積層とくに軟弱地盤の分布は、低地の微地形によく表われている。 ・津波被害は、海岸の地形、海岸部の標高や微地形に著しく支配され、被害の範囲はこれら地形要素によりは予測される。
	2) 液状化に関する情報	(3) 地質構造（とくに割目系）区分図		
	3) 津波の被害域に関する情報	(1) 微地形分類図	バンクロー リアルカラー	
	4) 火災に関する情報	(1) 土地利用図 (2) 延焼要因、延焼遮断要因分布図	バンクロー リアルカラー	
[II] 土砂災害に関する情報	1) 地すべりに関する情報	(1) 表層地質図（岩相区分図） (2) 地質構造図（とくに割目系） (3) 地すべり分布図 地すべりブロック区分図 地すべり移動状況図	バンクロー	これらは、土砂災害の防止を考えるさいの基礎データとなる。 ・麓部と移動ブロックの区分、すべり危険度区分 ・地すべりブロックの中の移動ブロックの区分 ・地すべりの移動は、ある期間ごとに撮影した写真を使い、図化機で測定。 ・豪雨時の山崩れは、遷急線付近ないし、その下側の〇次谷に発生し易いので、遷急線や〇次谷の分布把握は重要である。 ・土石流の被害は、沢の出口の扇状地性の地形（沖積錐）面に発生し易い。また、渓床堆積物の多寡によって被害規模が支配され易い。 ・無雪期と積雪期の高さの差や、人工物の比高差を利用する。 ・無雪期の写真のみでもある程度予測できるが、融雪期と無雪期両方の写真があると効果的である。
	2) 山崩れ・崖崩れに関する情報	(1) 崩壊分布図（現況図） (2) 遷急線分布図 (3) 〇次谷の分布図	バンクロー	
	3) 土石流に関する情報	(1) 渓床堆積状況 (2) 沢の出口付近の微地形（とくに扇状地性地形）の区分	バンクロー	
	4) なだれに関する情報	(1) 積雪深分布図（コンターもしくは数値表示） (2) なだれ分布図（発生予想地、規模、発生危険度、発生した時の衝撃力の評価等を示す）	バンクロー	
[III] 水害に関する情報	1) 内水災害に関する情報	(1) 低地の微地形区分図 (2) 被災時の冠水区域と深さ区分	バンクロー リアルカラー	・内水災害は、低地の微地形と密接に関係しているため、微地形区分図が大きな意味をもつ。 ・洪水の侵入状況は、カメロン効果を利用したベクトル図として図示することもできる。
	2) 外水災害に関する情報	(3) 破壊部分の位置、洪水の侵入路、被害状況等		
[IV] その他災害に係った情報		(1) 傾斜区分 (2) 標高区分 (3) 河川水の表面流速 (4) 山火事の被害範囲・被害程度区分 (5) 海岸侵食状況と侵食量の測定 (6) 山地の融雪状況変化	バンクロー バンクロー リアルカラー バンクロー LANDSAT	これらは、地形図から作成した方がよい。 ・カメロン効果を利用して、10cm/secのコンター表現ができる。 ・2時期以上の写真の比較判読・測定によって判読・測定できる。 ・融雪3～4時期のLANDSAT映像の比較判読により、定量的に把握できる。

表一 2 軟弱地盤と地形

主な形成の場	軟弱地盤の分布する地形	位置と形態	土 質		地層の厚さ	主要部分の形成時代	成 因	例
			上部(陸成)粘土層	下部(主に海成)粘土層				
内 湾	埋積地 溺れ谷 小溺れ谷 三角州	沿岸地域にあり海岸から陸地に向って形成された谷間の低平地	数m~11mの泥炭・有機質粘土(N値5±)	5~40mの有機質粘土(N値5以下)	大	縄文海進の時代	海 成	静岡県愛鷹山麓の柳沢
		河川低地の最下流部に△字状や鳥足状・円弧状などをなして分布	数m以下の有機質粘土(N値10以下)	10~50mの粘性土(N値5以下)				濃尾平野の中・南部、筑紫平野
海成	ラグーン (潟湖)	潟湖跡地	砂州の背後にあり皿状の凹地~低平地をなす	数m~10mの泥炭や有機質粘土(N値5±)	厚層タイプ	縄文海進の時代	海成~河成 (一部湖成)	愛鷹山南側の浮島ヶ原、千葉県九十九里浜の小栗川流域、千葉県の大隅川流域
	せき止沼沢地跡 (谷口を砂州で閉塞された溺れ谷埋積地)	沿岸地域の砂州の背後にあり、皿状~複雑な形をした谷間の低地	数m~10mの泥炭や有機質粘土(N値5±)	10~30mの有機質粘土(N値5以下)				湖成~河成
湖	埋積地 せき止沼沢地跡 (谷口を大河川本川の堆積物(自然堤防)で閉塞された支川低地)その他のせき止め湖跡	堤間低地	沿岸地域の砂州の背後にあり砂丘や浜堤に挟まれた低地	2~数mの泥炭・有機質粘土(N値5以下)	欠 除	縄文海進以降	湖 成	利根川沿いの小支川流域
		土砂流出の多い大河川の両側に発達する小谷間に分布	数m~10mの泥炭・有機質粘土(N値10以下)	欠 除				伊豆太宝山西方、戦場ヶ原
陸成	後背湿地 (後背低地)	自然堤防と山地間の低地で平坦~皿状をなす	数m~15mの有機質粘土(N値10以下)	三角州近くでは10~30m、扇状地近くでは欠除	浅層タイプ	近 世	河 成	濃尾平野
		丘陵地や台地間の谷底低地	丘陵地や台地を割む谷を埋める幅狭い低平地	数m~10mの有機質粘土(N値10以下)				欠 除
河川沿い	旧河道	河道沿いに多く分布し溝状の凹地をなす	2~3mの有機質粘土(N値10以下)	欠 除	欠 除	近 世	人 工	石狩川沿い、阿賀野川沿い
		旧河道への盛土の上流側や高速道路等の人工堤の上流側に形成されやすい	1~2mの有機質粘土(N値5以下)	欠 除				高速道路の背後や郊外の新興住宅地に多い

いかんによって、地表面の震度が変わってくるといえます。このため、その地点がどうい

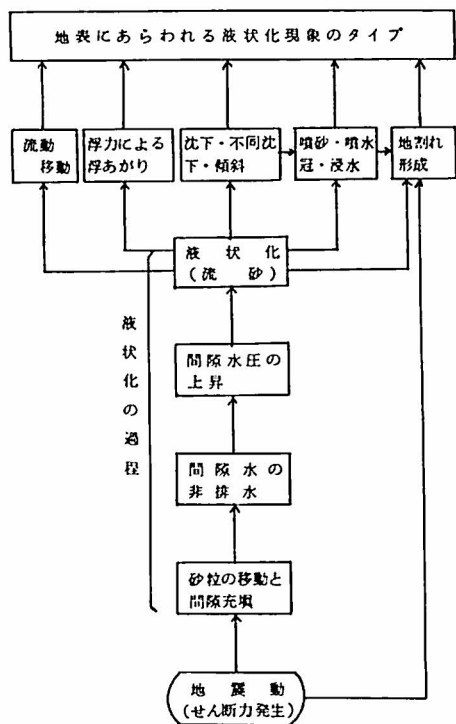
う地盤からなり、それらの厚さがどの程度であるかが、震度を規制する主要因となります。地盤の性質はまず、(a)山地・丘陵、(b)台地、(c)低地といった中地形によって違い、地震動で最も問題となる低地では、その微地形によって構成層の性質や厚さが、表一2のように違ってきます。このため、航空写真上では中地形区分を行ったあと、同表のような微地形区分を行うことによって、その軟弱層の

性質や厚さの概要が把握できます。

2) 液状化に関する情報

地震時の地盤の液状化現象は、図一1のようなあらわれ方をします。このような液状化は、粒度がそろい、地下水位に飽和された砂地盤におき易く、構成地盤からいうと、次のような発生の可能性があります。

- (1)発生し易い地盤：旧河道，現河道，埋立地など
- (2)液状化する可能性のある地盤：扇状地末端，自然堤防，砂丘・砂州，氾濫平野，



図一 液状化現象のあらわれ方

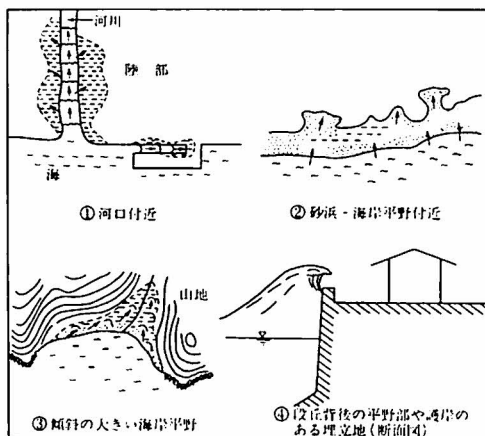
砂浜など

(3)液状化しにくい地盤：山地・丘陵・台地
従って、液状化する性質をもつかどうかは、その土地の微地形を航空写真から読みとることによってある程度判断がつかます。

3) 津波被害をうけ易い地形に関する情報

津波がおし寄せた場合、その海岸の形によって波高や遡上状況が違い、ふつう、①三陸地方のリアス式海岸に多いV字谷、②U字型、③直線の海岸の順に、湾奥での波高は高くなります。

また、海岸に到達した津波は、海岸部の地形に従って津波の波高よりかなり高いところまで遡上しますが、その遡上のしかたも、図一2のように海岸部の地形によって著しく違うため、海岸部の地形把握が大切となります。



図一2 海岸の地形と津波の遡上の型(塚本哲原図)

3. 土砂災害に関する情報

土砂災害として影響をもつ災害現象は、(1)地すべり、(2)山崩れ、(3)土石流、(4)なだれなどです。

1) 地すべりに関する情報

現在発生する地すべり地の約90%は、過去にすべったことのある地すべり地の再移動です。従ってこれらを見逃すことなく把握しておけば、発生する可能性のあるすべりの9割程度の位置は、前もって予測できることになります。このような旧地すべり地の抽出には、航空写真判読が威力を発揮します。

航空写真判読によって得られる地すべりに関する情報は、主として次のような点です。

- (1)地すべりの位置
- (2)地すべり地内やその周辺の微地形
- (3)地すべり地内の移動ブロック区分
- (4)すべり易さ(危険度)のランク区分
- (5)すべりの原因となり易い、断層等の割目系の分布状況 etc.

図一3は、ある地域の地すべりを抽出し、その各々を移動ブロック区分したものです。

今のところ、どれくらいの雨が降った時、

どのランクのものまで動くかといった予測手法は確立されていませんが、どこにどういった危険度をもった地すべり地が分布するかを知っておくことは、地域防災上大切なことです。その成果は防災のみならず、地域の開発のさいにも役に立つ情報となるでしょう。

2) 山崩れ

山崩れした場所を航空写真で読みとるのは容易ですが、それでは地域防災上あまり有効な情報とはなりません。もちろん、一度崩れた個所の分布状況は、その地区の崩れの傾向を知る有力な情報ではありますが、今後の予測という点では効果的ではありません。豪雨時などに今後山崩れの起こる場所を予測するのに今のところ決め手となる手法はありませんが、既往崩壊地の分布状況のほか、①遷急線の分布と、②0次谷の分布を把握しておく

ことは、豪雨型崩壊の発生位置の予測に有効です。

これまでの災害実態からみると、豪雨時の山崩れの多くは遷急線（尾根側から山腹をみて、傾斜が急になる地点）付近に起きています。つまり遷急線付近ないしその直下付近に最も起き易いといえます。しかも崩壊の70%くらいは遷急線より下の「0次谷」と俗称される、谷とまでは言えない山腹のしわの部分に発生しやすい（図-4）。

このため、航空写真を使ってまず遷急線を読みとり、この線より下にある山腹斜面上の0次谷をたんねんに読みとって地形図上に移写すれば、それが豪雨時の山崩れの起き易い地点と考えることができるでしょう。

3) 土石流に関する情報

豪雨によって山腹に山崩れが多数発生する



図-3 地すべり地の判読結果例

と、たいていそれを引金として土石流が発生します。土石流の発生地点を予測するのは困難ですが、通過したり堆積する地点の予測は容易です。沢の出口が小規模の扇状地（これをふつう沖積錐といいます）をなしているところは、土石流がくり返し堆積してできた地形ですから、今後も堆積する危険性は高いといえます。図-4でも山崩れを引金に発生した土石流は、溪流を流下し、沢の出口に広がる沖積錐の扇面上に堆積して、人命や家屋に大被害を与えています。

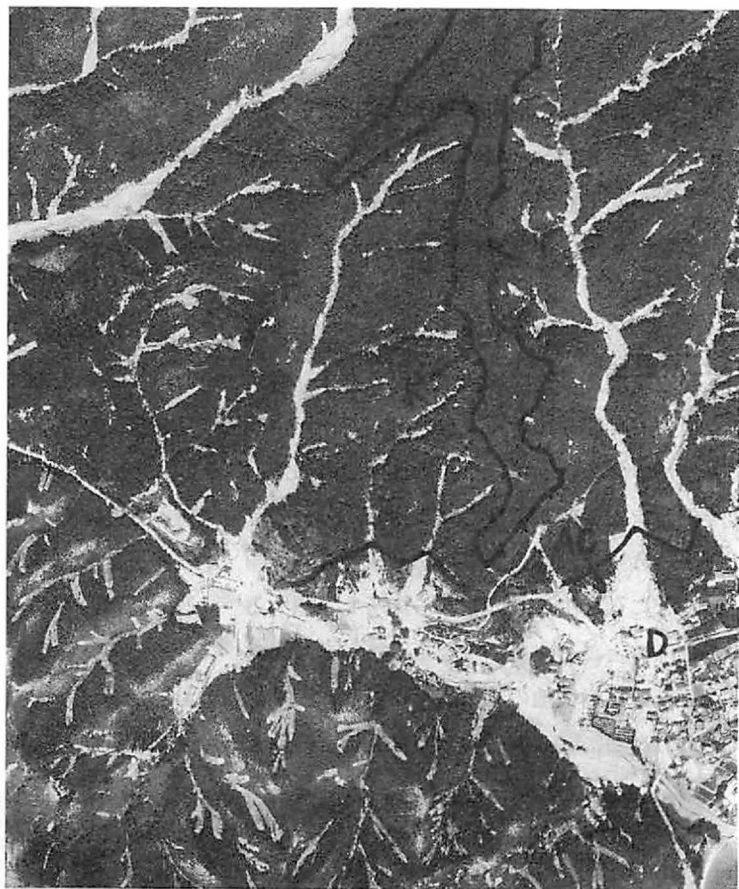


図-4 小豆島災害（S51年）の時の崩壊の発生地点（F）と土石流の堆積地点（D）

（崩壊は遷急線（K）の下側のO次谷におきており、土石流は沖積錐部分に堆積している。）

扇状地面上で縦断形が上に凸の部分は、土石流の堆積区間ですが、扇端の平滑ない下に凸の部分になると、土石流ではなく土砂流の堆積区間となり、直撃的な被害をうけるところではないと見ていいでしょう。このように、土石流に関しては、写真判読によって、次のような情報が得られます。

- (1)土石流の堆積区域の把握
- (2)土石流・土砂流の堆積形態の区分子測
- (3)扇状地面上における、堆積危険度の区分

4) なだれに関する情報

- なだれの発生する場所を予測するには、
- (1)なだれの頻発する融雪期の航空写真か

ら、実際に発生しているなだれを読みとり判断する方法

(2)冬期の航空写真と無雪期の写真との比較判読により判断する方法、

(3)無雪期の空中写真から判読する方法、などがありますが、精度的には(1)、(2)が望ましいでしょう。航空写真を使って得られるなだれに関する情報は、(a)なだれの発生位置、(b)タイプ、(c)到達距離、などです。

4. 水害に関する情報

水害には、(1)降った雨が排水溝や小河川な

どを通過して低地に集まって湛水する内水災害と、(2)中～大河川の堤防が決壊もしくはこれらを溢流しておこる外水災害があります。最近では、都市周辺部の地価の比較的安い低地の開発が進むにつれ、外水災害よりも内水災害の割合の方が増えてきました。

しかし、内水・外水いずれにしろ、洪水災害をうけるところは低地の微地形に著しく支配され、次のような順に危険となります。

- (1)現河道や旧河道沿いの低平地（沖積地）。
- (2)堆積作用でできた谷底平野（谷あいの平野）や氾濫平野，三角州，低い自然堤防
- (3)侵食作用が働いている谷底平野や比較的高い自然堤防（現河床より5 m以上）

従って、航空写真や精度のよい地形図からこれら微地形の区分をたねんに行っておけば、洪水に対する危険度をランク分けすることができます。内水災害の場合、地表水の流下を妨げる①盛土をした道路，②鉄道，③広い盛土地，④堤防などの分布状況が、内水の湛水域を著しく規制するので、これらも読みとって併せて図示すると、内水被害をうけ易い地区がより一層明確となるでしょう。

5. 航空写真の入手方法

以上述べたような防災アセスメント調査に使う航空写真は、既往のもの（日本全土が、

5年周期くらいで撮影されています）を利用するのが手軽で安上がりでしょう。既往の航空写真は、(1)国土地理院撮影のもの（1/3万～1/4万と、1/1万～1/2万があります）は、日本地図センター、林野庁撮影のもの（1/2万で山岳地域に限られる）は、日本林業技術協会に問い合わせた上で購入します。

(1)財団法人・日本地図センター

東京都目黒区青葉台4-9-6

Tel. (03)485-5415-6 ☎153

(2)日本林業技術協会・測量部写真係

東京都千代田区六番町七番地

Tel. (03)261-5281-7 ☎102

あとがき

防災上必要な情報にはいろいろありますが、そのうち航空写真によって得られるものとなると、①地形，②植生，③土地利用，などを通して得られるものに限られます。この中ではとくに①が大きな比重を占めますので、本稿でもそれを鍵にして、どういう防災情報が得られるかを、災害のタイプ別に記してみました。本稿が、地域防災計画の策定などに少しでも役に立てばありがたいと思っております。