

大縮尺空中写真を利用した交通路の積雪の 精密な判読に関する研究

高崎正義・大竹一彦*
建設省国土地理院

Detailed Measurement and Interpretation of Snow Depth around Roads by Large-Scale Aerial Photographs

By
Masayoshi Takasaki and Kazuhiko Otake*
Geographical Survey Institute, Ministry of Construction, Tokyo

Abstract

1. Objects of Research

Snow survey by aerial photographs has become common from the time of heavy snowfall in January 1963. Photographs on a scale of 1:20,000 were used for measuring of snow depth and for interpreting of snow avalanche and cornice at that time. Airphoto signals were constructed for interpreting of snow depth and tested whether they were adequate or not.

During 1965-1967, the use of big-scale aerial phototgraphs, which were of a scale of 1:2,000 and taken from a helicopter, was tested for accurate measurement of snow depth and for making of photo interpretation standards for snow-depth measurement.

2. Research Points

The problems researched were as follows.

- 1) Design of airphoto signals for accurate measurement of snow depth,
 - 2) Photographing from a helicopter,
 - 3) Accuracy of snow-depth measurement,
 - 4) Making of photo interpretation standards for snow-depth interpretation.
- 1) Design of Airphoto signals

To strengthen the structure of airphoto signals, aluminium was used instead of wood. The designs of airphoto signals are shown on figures 3 and 4. Airphoto signal on figure 3 is used for aerotriangulation, and figure 4 for snow-depth interpretation. Orange was adopted as the color of airphoto signals, be-

* 本論文執筆代表者 (The writer responsible for the present paper)

cause it distinguishes the signals both in snow season and snow-free season.

2) Photographing from a Helicopter

This was the first experience in Japan to take aerial photographs from a helicopter. A helicopter has been said not to be adequate for taking aerial photographs because of its instability and vibration. Vibration-proof equipment for camera was newly designed and a camera box was added to the helicopter cabin.

The aerial photographs of the researched area were known to be good for precise measurement by the examination of flight course difference.

3) Accuracy of Snow-Depth Measurement

Aerial photos were taken by the camera Fairchild F56 with 21 mm focal length in Feb. 1960, and by the camera Wild RC-8 with 21 mm in Dec. 1960. After pass point survey and aerotriangulation, snow depths were measured by the difference of height on the same point.

Accuracy of the snow-depth measurement was checked on the highway without snow. Averaged error was under 25 cm, 5/10,000 of flight height, at 8 models out of 12, standard deviation being under 13 cm.

4) Standards of Snow-Depth Photo Interpretation

As it takes a long time and costs expensively to measure the snow depth, method of snow-depth measurement by stereo plotter is not adequate for urgent use.

If the standards of snow-depth photo interpretation were made, it is easy to grasp snow depth quickly. Footpaths between paddy fields were taken as an index of snow-depth photo interpretation, because the percentage of footpath reading was high at a shallow snow-depth and was low at a deep snow-depth.

目		次	
1. 研究の主旨	5	4.2.2 使用機種について	9
2. 研究地域	5	4.2.3 ヘリコプターへのカメラの 装着・振動防止	10
3. 研究の対象とした問題点	5	4.2.4 ヘリコプターおよび飛行機撮影 による空中写真の比較	10
4. 研究内容について	5	4.2.5 撮影のタイミングについて	14
4.1 積雪深測定用対空標識について	5	4.3 積雪深の測定	14
4.1.1 これまでの研究	5	4.3.1 積雪深測定の概要	14
4.1.2 アルミ製対空標識	5	4.3.2 福島～米沢地区	14
4.2 ヘリコプターによる空中写真撮影	9		
4.2.1 使用ヘリコプターについて	9		

4.3.3 長岡～柿崎地区……………	15	4.4.2 判読基準について……………	17
4.4 積雪深の判読基準について……………	16	5. 今後の問題点について……………	19
4.4.1 判読基準の有用性……………	16		

1. 研究の主旨

昭和38年1月豪雪を契機としてはじまった空中写真による雪の調査は、昭和39年度までに飛行機による縮尺1/20,000の積雪期垂直写真およびヘリコプターによる斜写真を使って、積雪深の測定・判読およびなだれの種類・規模・分布の判読、積雪深対空標識の研究などをおこない、かなりの成果を得た。

ひきつづき昭和40年度にはじまる3カ年の研究においては、新たに表記の題目について、ヘリコプターおよび飛行機により、縮尺1/2,000～1/4,000という大縮尺の垂直写真を撮影し、これらにもとづいて積雪深を測定した場合に、1) どの程度の精度で積雪深が測定でき、交通路の積雪の精密測定・判読にどの程度使うことができるか、2) 積雪深測定のための判読基準は作れないか、などの問題を解明することとした。

2. 研究地域

研究地域としては雪質・地形が異なり、しかも研究成果が実際に利用されうる地域ということで、国道13号線福島～米沢間の一部延長約20km、および北陸自動車道比較線長岡～柿崎間の一部延長約30kmを選定した。(図1, 図2)

3. 研究の対象とした問題点

上記の研究をおこなっていくにあたっては、1) 積雪深測定用の対空標識、2) ヘリコプターによる垂直写真撮影、3) 積雪深測定の精度、4) 積雪深判読基準、などについて多くの問題が生じてくる。

(1) 積雪深測定用対空標識について

精密な積雪深の測定・判読をおこなうにあたっては無雪期・積雪期のどちらの空中写真にも明確に写り、測定ができると同時に、空中写真上で積雪深が読定でき、図化機による積雪深測定結果をチェックできる対空標識が必要となる。

(2) ヘリコプターによる垂直写真撮影について

これまで、わが国ではヘリコプターによる垂直写真撮影の経験がなく、気流と天候の悪い積雪地において、精密な測定に使いうるような質のよい垂直写真が撮影できるかが問題となる。

(3) 積雪深測定の精度について

同一地域について積雪期と無雪期に撮影した縮

尺1/2,000および1/4,000の空中写真から積雪深の測定をした場合、どの程度の精度が出せ、雪害防止にどのように使えるかが問題となる。

(4) 積雪深の判読基準について

(3)のような積雪深測定をおこなわず、積雪期空中写真の実体視により、積雪深が判定できるような積雪深判読基準が作成できるかが問題となる。

4. 研究内容について

4.1 積雪深測定用対空標識について

4.1.1 これまでの研究

積雪深測定用対空標識については、すでに高崎正義他が木製対空標識を上越の飯士山・三国山周辺に建てて、その形・大きさ・構造などについて検討をおこなった報告がある。この報告では、木製の対空標識が無雪期の空中写真で必要とする大きさでは写真に明りように写らず、明りようにするために形を大きくするには、強い季節風と雪の重みに耐えるような構造とするのに木製では無理の生ずることが述べられている。

4.1.2 アルミ製対空標識

積雪深測定用対空標識の強度を高める方法としてアルミ製標識の使用を検討し次の2種を作成した。

(1) 空中三角測量用OAY型対空標識

この構造は図3、写真1に示すようなアルミ製のもので、無雪期と積雪期に撮影した空中写真に明りように写り、空中三角測量をおこなう場合の基準点となるようなものとした。

写真測量においては、空中三角測量の精度の良否がその後の個々の地点の精度の良否を規定するから、空中三角測量をおこなう場合に使用する対空標識が明りように見え、正確な読定ができるようにすることは重要である。

設置した対空標識は、深い積雪深でも雪上に凸るように高さ5mとし、測定板は雪が積らないよう両側に傾斜のついた形とし、撮影縮尺1/10,000の写真を使用することも考慮に入れて大きさを検討した。無雪期の場合、3枚羽根の対空標識では羽根1枚の一辺の長さは90cm、幅30cmのものが一般に使用されているが、この研究では図3に示すように一辺の長さ200cm、幅50cmのものを使用した。この大きさは撮影縮尺1/10,000

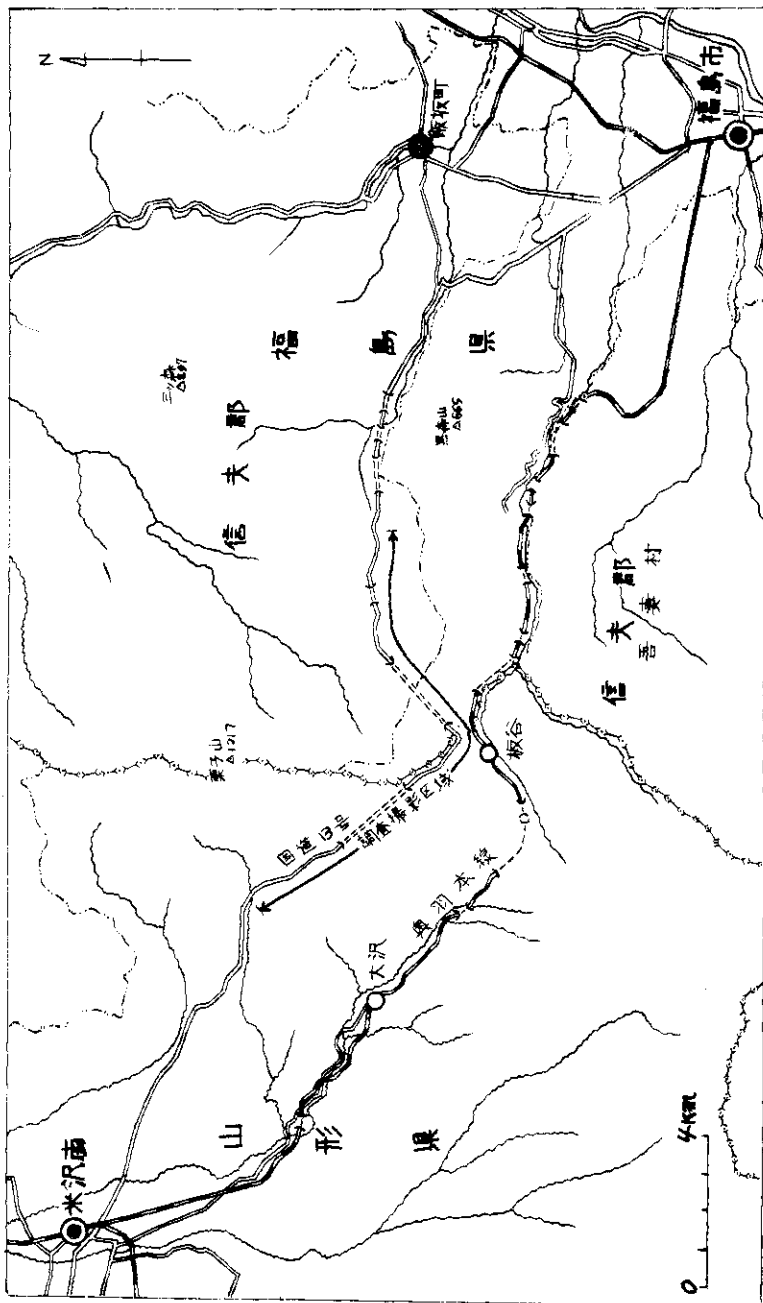


図1 福島～米沢地区研究地域位置図
 Location of Fukushima-Yonezawa area.

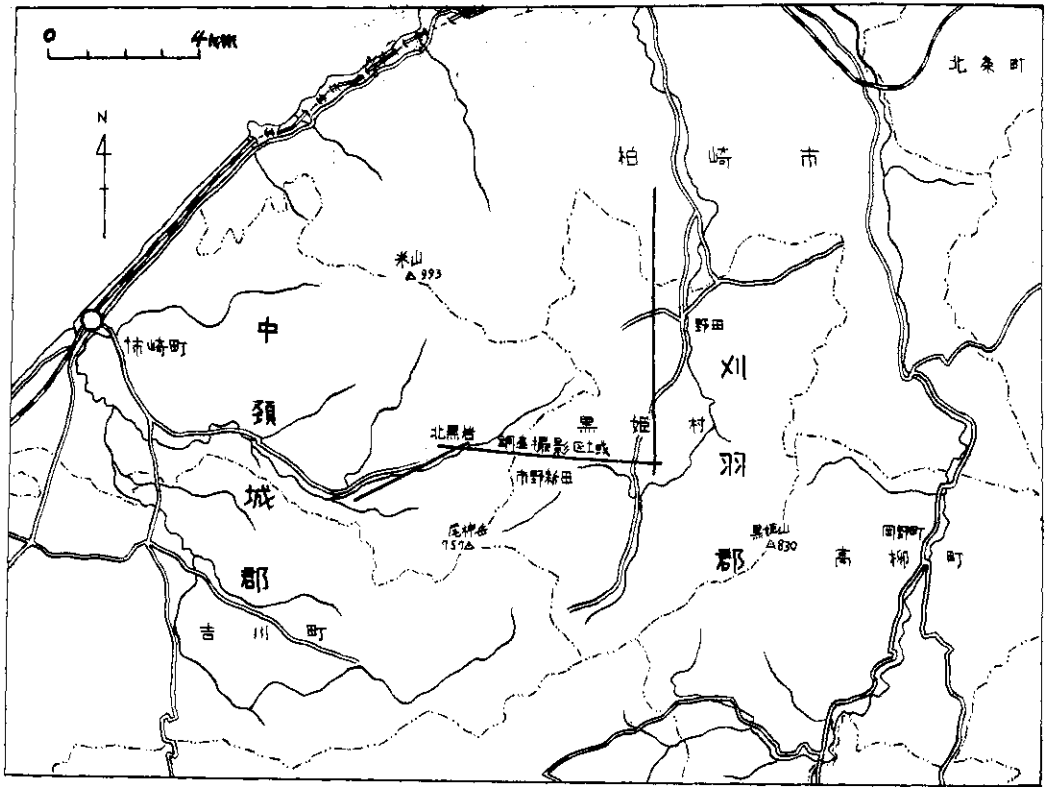


図2 長岡～柿崎地区研究地域位置図
Location of Nagaoka-Kakizaki area.

で空中三角測量用として使用するには十分であった。

対空標識の色は、無雪期の標識周辺が緑に覆われているとき、積雪期の雪に覆われているときの両期に空中写真上に明りように写るようになるため淡橙色の塗装をほどこした。色を決めるのはなかなか難しい。橙色を濃くすれば、積雪期には識別し易いが、周囲が濃い緑に覆われる真夏には識別が難しくなる。逆に橙色をうすくすれば真夏には識別し易いが、積雪期には識別が難しくなる。今回着色した色は淡橙色で、積雪時の識別にやや難点があった。

(2) 積雪深測定用 OAS 型対空標識

この構造は図4、写真2に示すようなアルミ製のもので、無雪期と積雪期に撮影した空中写真に明りように写り、積雪深測定をおこなう場合の基準点となるようなものとした。

対空標識の大きさは縮尺 1/2,000 空中写真を対象とし、積雪深測定板を図4の平面図に示す

ように、積雪深指示板の長さを上部よりそれぞれ 2.5 m, 2.1 m, 1.7 m, 1.3 m, 0.9 m, 0.5 m とし、積雪深 6 m の読定には 2.5 m の指示板を、以下順に 5 m には 2.1 m, 4 m には 1.7 m, 3 m には 1.3 m, 2 m には 0.9 m, 1 m には 0.5 m の長さの指示板をそれぞれ使うこととした。

各指示板は真上からみた場合、六角形の支柱に 60° ずつ角度をつけてうずまき状に指示板を放射させて、空中写真に写った指示板の数から積雪深を測定することを考えた。これによれば、うずまき状に放射した積雪深指示板が 3 本みえれば、積雪深は 3 m と 4 m の間にあることを直観的に示してくれる。積雪深指示板の幅は 10 cm としたが、この大きさは、縮尺 1/2,000 空中写真に対してほぼ十分であった。

対空標識には OAY 型と同じように淡橙色の塗装をほどこしたが、積雪期空中写真には色がややうすすぎた。

積雪深指示板の長さは、地上6mの部分で2.5mもあり、季節風の強い4箇所では6mまたは5mの指示板が折損し耐風構造上問題を残した。しかし、OAY型にくらべると上部が軽く、風雪で傾斜・倒壊しないように設置するのは容易であった。

(3) 木製対空標識

この構造は図5に示すようなもので、1/2,000空中写真での空中三角基準点として使えるようなものとした。木製であるため、支柱の丸太から1mごとに横に出す積雪深指示用の横木を水平でしかも堅固に取り付けるのがむずかしかった。この対空標識は国道13号線ぞいに建て、一部風当りの強い点で倒壊したが、それ以外の破損は少なかった。対空標識にはOAY型OAS型より濃い橙色を用いたが、この場合、積雪期空中写真においてはOAS型にくらべ見易いが、無雪期空中写真では識別がやや難かしくなった。また、横木の長さがやや短く、建てた方向によっては横木の陰をとらえることがむずかしく積雪深の読定のほとんどできないものがあった。

(4) アルミ製対空標識と木製対空標識の比較

アルミ製対空標識を従来の木製対空標識と比較した場合、アルミ製対空標識の構造を北陸地方の風雪に耐えうるような構造とするのは容易であるが、木製のものにくらべて重量が108kgと非常に重くなり、これを山麓より山頂に持ち上げ、風雪で傾かないように堅固に取り付けるのがなかなか困難である。また、同型のものが多量に作成されているわけではないので、標識の一部が破損した場合に代替がすぐにきかないし、標識が不要になった場合の撤去にも労力を要するなどの難点

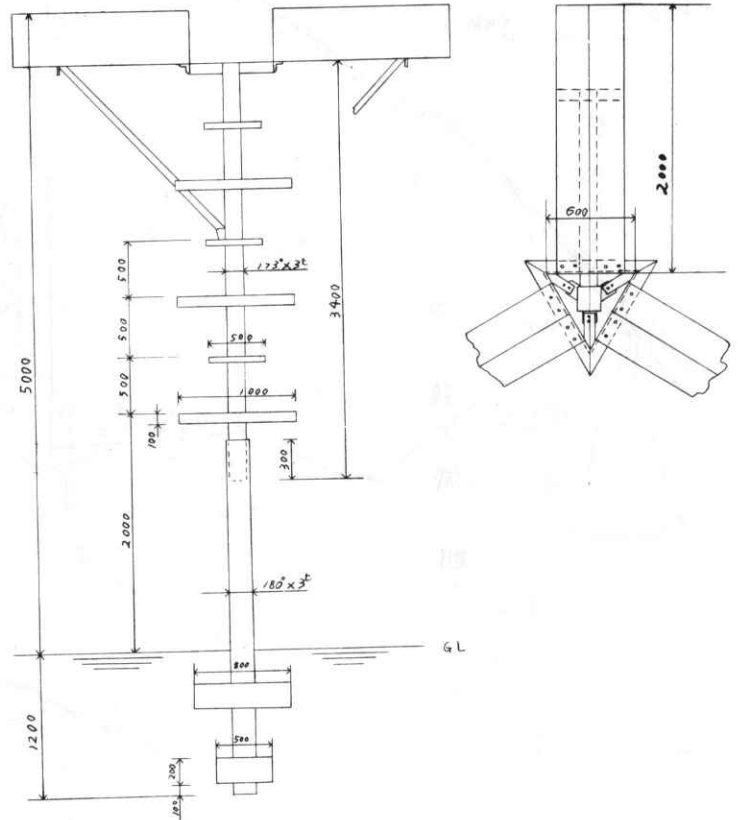


図3 空中三角測量用OAY型対空標識
 立面図および平面図
 Airphoto signal, OAY, for
 aerotriangulation.

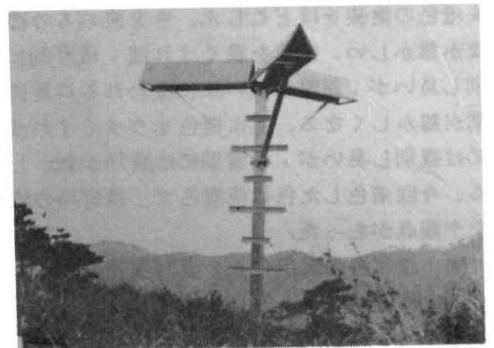


写真1 空中三角測量用OAY型対空標識
 Airphoto signal, OAY, for
 aerotriangulation.

がある。

4.2 ヘリコプターによる空中写真撮影

4.2.1 使用ヘリコプターについて

最近、写真測量の全般的精度が向上しつつあるが、飛行機を使って撮影した空中写真では、飛行機の最低速度や最低飛行高度に限界があるので、映像の移動およびシャッターの最短露出間隔の関係から、写真縮尺1/4,000程度、図化縮尺1/1,000程度が最大とされている。

1/500以上の大縮尺図の作成をおこない、所要の精度を満すためには、撮影高度をできるだけ低く、また飛行速度を遅くして、撮影縮尺を大にすると共に、写真のオーバーラップを確保することが必要であり、ここからヘリコプターによる大縮尺写真撮影の可能性の検討が要請されることとなった。

ヘリコプターは操縦の難易を別とすれば、低空の飛行が可能であるうえ、時速0kmより180kmまで、場合によっては後退までを含め任意の速度が選べるので大縮尺撮影の可能性をもっている。しかし、ヘリコプターを使用する場合には、(1)運航経費が飛行機に比べて高い、(2)飛行機よりも振動が強く、飛行安定性能も悪いという欠点がある。

4.2.2 使用機種について

ヘリコプターの使用にあたり運航経費を少なくしようとする、使用機種は小型の富士ベルKH4型か、これよりやや大型のフランス製アルエットII型などにしほられる。今回はアルエットII型を使用することとした。アルエットII型はターボジェットエンジンで、最高速度約170km、実用上昇限度約3,000m、搭載荷重約500kgで

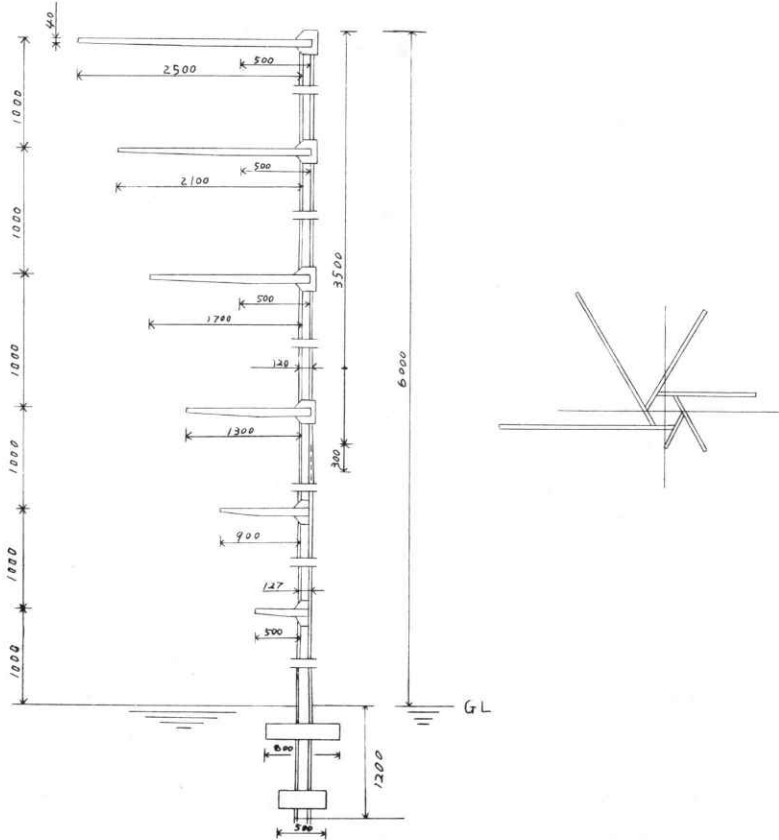


図4 積雪深測定用OAS型対空標識立面図および平面図
Airphoto signal, OAS, for snow-depth measurement.

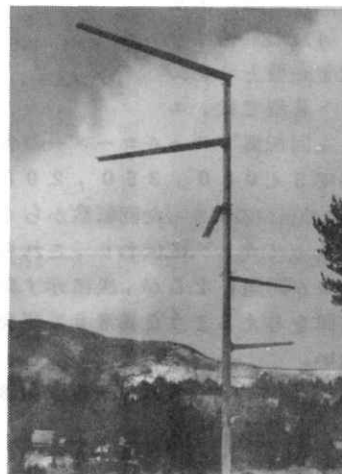


写真2 積雪深測定用OAS型対空標識
Airphoto signal, OAS, for snow-depth measurement.

ある。

4.2.3 ヘリコプターへのカメラ装着・振動防止

アルエットII型にはキャビン内の床の左側中央部に30cm四方のドラッグシュート用の穴がある。昭和40年度にはこの穴を利用することを試みたが、ウィルドのRC8を備えた場合にはヘリコプターの傾きに応じカメラに傾きを補正して、垂直写真を撮影するには穴が小さすぎたので、やむをえず、カメラとして解像力は悪いが小型のフェアチャイルド(Fairchild)F56(f 211mm)を使用した。昭和41年度には、キャビン左側にカメラルームを張り出し、ウィルドRC8(f 209.16mm)が使えるように改造された。

ヘリコプターで空中写真を撮影する場合、ヘリコプターには飛行機よりも撮影に条件の悪い振動があり、防震対策には十分な考慮を必要とする。

アルエットII型では、エ

ンジン、主回転翼、テールローターの各回転速度が巡航時で34,000, 350, 2,080回/分であり、この三つの異なった回転数からくる振動が機体をとおってカメラに伝わり、これらによる異常共振現象が問題となるが、次に示す測定では、測定に支障を与えるような異常共振現象は認められていない。

4.2.4 ヘリコプターおよび飛行機撮影による空中写真の比較

(1) 撮影精度

撮影地域・撮影縮尺・撮影距離が違うので厳密な比較にはならないが、ヘリコプターで撮影した福島～米沢地区の写真と飛行機で撮影した長岡～

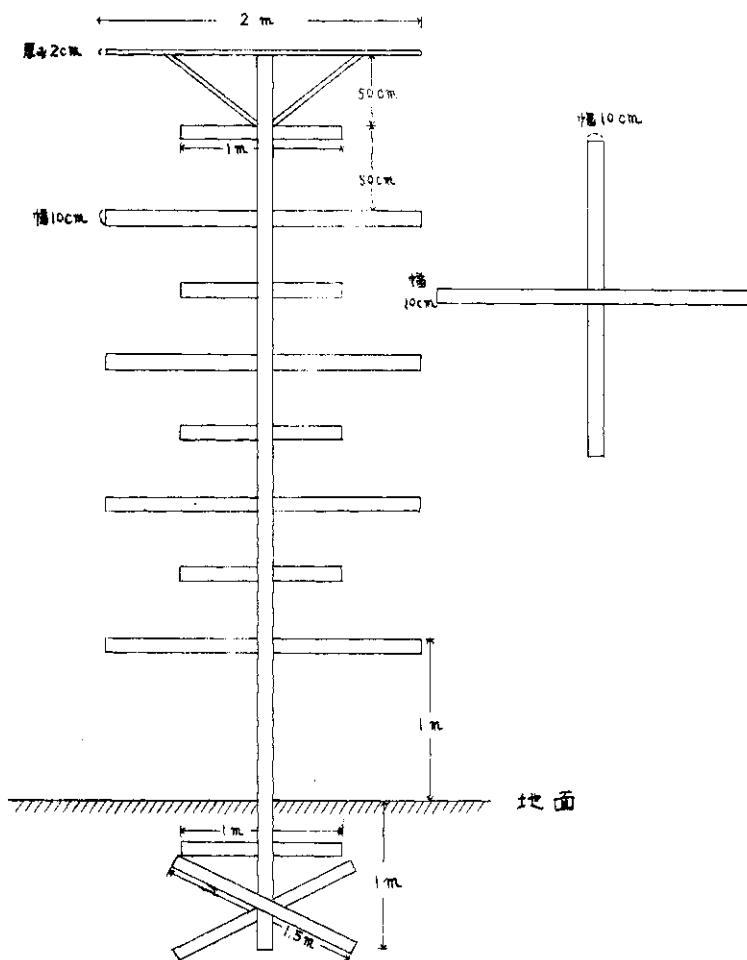


図5 木製積雪深測定用対空標識立面図および平面図
 Wooden airphoto signal for snow-depth measurement.

柿崎地区の写真とを比較してみる。なお、福島～米沢地区および長岡～柿崎地区の撮影コース・対空標識設置位置は図6、および図7に、また撮影した写真の諸元は表1に示してある。

撮影コースのふらつきを図化に使用した空中写真の主点座標のふらつきで示したのが表2である。これによれば、福島～米沢地区においては4コースとも無雪期写真よりも積雪期写真のふらつきが相対的に大きく、その量は無雪期の50%増程度である。長岡～柿崎地区においては、比較できるのは1コースにすぎないが、積雪期写真のふらつきは著しく、無雪期の約3倍となっている。福島～米沢地区のふらつきが大きいのが、無雪期におい

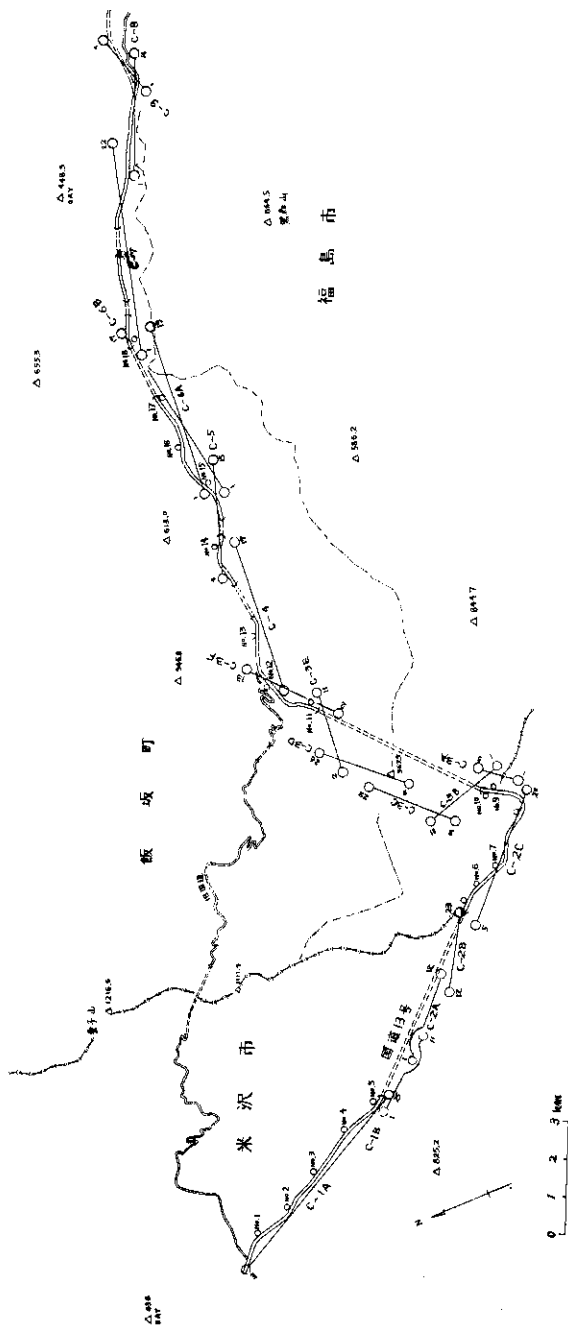


図6 福島～米沢地区撮影コース，対空標識設置地点図
Flight course and location of airphoto signal
in Fukushima-Yonezawa area.

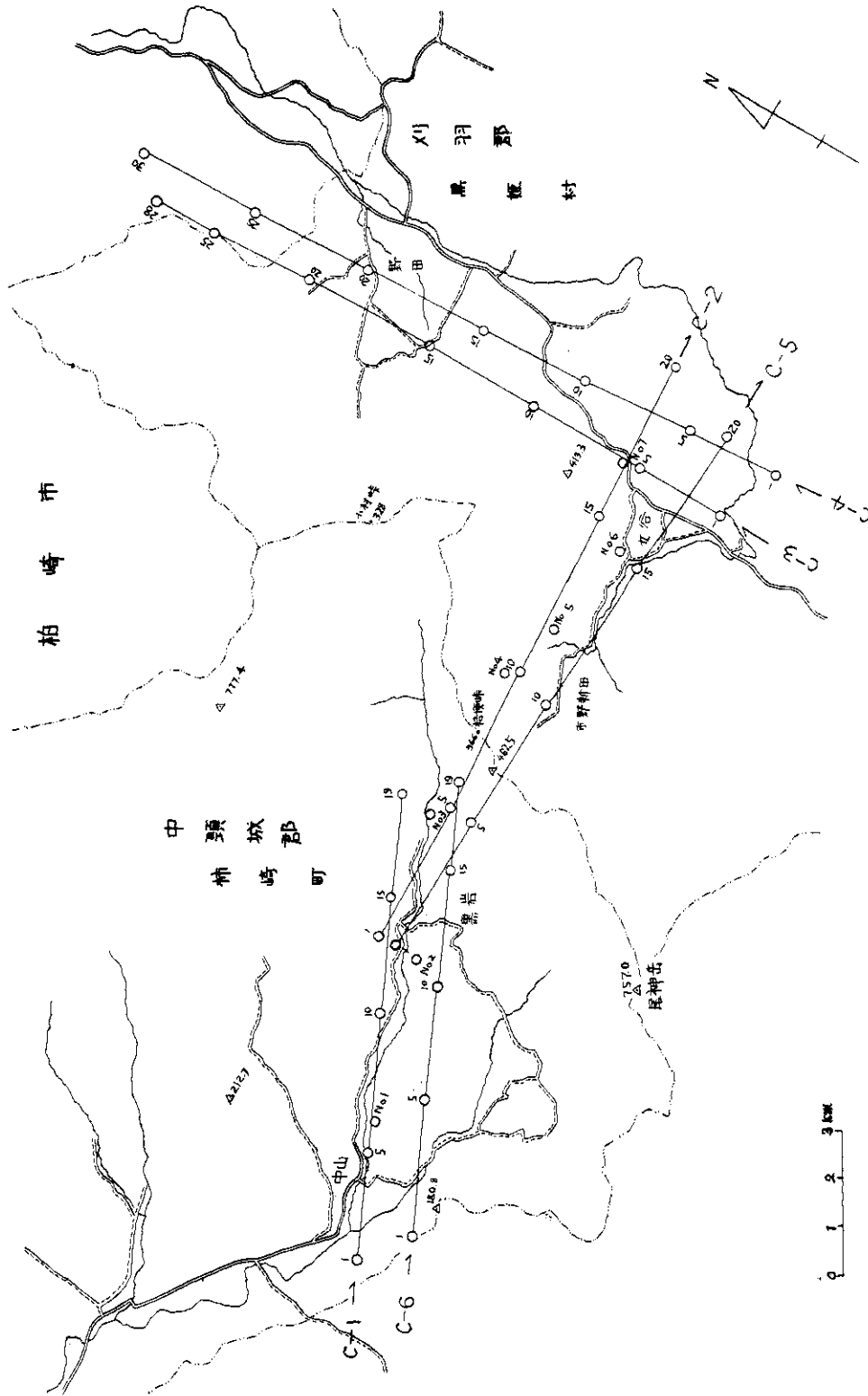


図7 長岡～柿崎地区撮影コース，対空標識設置地点図
 Flight course and location of airphoto signal in
 Nagaoka-Kakizaki area.

ては約2.5～5倍と著しく大きいのに対し、積雪期においてはその差は少ない。

撮影高度のふらつきを図化に使用した空中写真の主点高のふらつき(表3)でみると、福島～米沢地区では積雪期写真よりも無雪期写真が約2.5～4倍程度のふらつきの量が大きく、長岡～柿崎地区でもやはり無雪期写真のふらつきの量がやや大きくなっている。無雪期も積雪期も長岡～柿崎地区のふらつきが大きく、無雪期で1.5～3倍程度、積雪期で1.5～3.5倍程度大きくなっている。撮影コースおよび撮影高度のふらつきで飛行機による写真とヘリコプターによる写真とを比較すると、撮影コースのふらつきでは、無雪期よりも積雪期のふらつきが大きく、飛行機による写真よりもヘリコプターによる写真のふらつきが大きいという結果が得られるのに対し、撮影高度のふらつきでは逆の結果が得られている。しかしふらつきの絶対量は撮影コースの方が大きいから、相対的に飛行機による写真の方がヘリコプターによる写真よりもややふらつきが小さいと言えよう。

4.2.5 撮影のタイミングについて

積雪期の撮影を考えた場合、飛行機では太平洋岸の無雪地域の空港を基地とせざるを得ず、撮影地域より離れてしまう場合が多く、天候が急変し快晴時の少ない積雪地域の撮影のタイミングをはずす可能性が多い。これに対しヘリコプターではヘリポートを撮影地域内に設けることができるから、撮影地域の天候を直接つかみ、天候が悪化しないうちにすばやく撮影できるという大きな利点を持っている。

4.3 積雪深の測定

4.3.1 積雪深測定の概要

研究地域のうち福島～米沢地区は、国道13号線に沿った区間で改良工事がおこなわれていたので、図化・測定は改良ずみの区間について実施した。この区間はヘリコプターによる縮尺1/2,000～1/3,000写真の撮影の区間であるので、道路およびその付近に重点をおいて、積雪深測定と縮尺1/500積雪深分布図の作成をおこなった(図8)。

長岡～柿崎地区は北陸自動車道の比較線地域でまだ道路が実体としてないし写真縮尺が1/3,000～1/4,000であるので、福島～米沢地区の場合よりも幅広い地域についての測定と1/2,500積雪深・なだれ分布図の作成をおこなった。(図9

図10)

4.3.2 福島～米沢地区

積雪深測定および積雪深分布図作成をおこなったのは図6のCIAの区間である。

(1) 標定点測量

積雪深測定をおこなうのに必要な標定点を得るため多角測量・水準測量・偏心測量をおこなった。まず、国道13号線ぞいで図化区間西端にあるベンチ・マークBM₁を基準とし、これより出発し図化区間東端のBM₂までを道路沿いに往復しBM₁で閉合する多角測量をおこなった。この測量における位置の閉合差はBM₁BM₂間往復6.4kmで47.9cmであり、同時におこなった水準測量ではBM₁BM₂間往復の閉合差は8.3cmで良好であった。

空中三角測量に使用した標定点は上記の多角点7点と多角点より偏心測量をおこなったもの13点とである。偏心測量による標定点の高さの平均誤差は4.8cm、最大誤差は24cmであった。(表4)

(2) 積雪深の測定とその精度

積雪深の測定は、無雪期空中写真の空中三角測量をおこない、同写真により国道13号線周辺の平面骨格図を作成したのち、道路を横断するような積雪深測定線111本を空中写真上で決め、無雪期空中写真と積雪期空中写真とから同一点についての標高測定をおこない、その差から積雪深の測定をおこなった。

積雪深測定の精度については、無雪期空中写真2種類を使い同一点について測定したデータと積雪期空中写真で路面の露出した部分での測定データとで検討した。

無雪期空中写真2種類による道路路面上の同一点についての測定データについては表5に示したような値が出ている。この表によれば、測定した18モデル中の半分以上の10モデルについては平均誤差20cm以下、標準偏差18cm以内と良好であった。しかし、第5モデルにおいては平均誤差39cm、標準偏差19cm、第6モデルにおいては平均誤差39cm、標準偏差29cmというような値が出ている。

積雪期空中写真で路面の露出した部分では積雪深は0mとなるはずで、これにより積雪深の測定精度をチェックすることができる。これにより測定精度をみると、12モデル中8モデルは平均誤差25cm以下、標準偏差13cm以下で、撮影

表1 写真諸元
Photo data.

地区名	写真縮尺	カメラ	焦点距離mm	撮影月日	備考
福島～米沢	1/2,000～1/3,000	フェアチャイルド	211	41年2月15～20日	積雪期
"	"	ウイルドRC-8	209	41年12月10日	無雪期
"	"	"	"	42年8月4日	"
長岡～柿崎	1/3,000～1/4,000	ウイルドRC-8	209	42年1月22日	積雪期
"	"	"	"	41年10月24日	無雪期

表2 撮影コースのふらつき
Deviation of flight course.

地区名	コース	測定数	ずれの平均	ずれの最大	標準偏差m	備考
福島～米沢	CIA無雪期					ヘリコプター撮影 縮尺1/2000 CIA無雪期は 41年12月10日 撮影の写真を使用
	(I)	5	9.50	1.25	10.48	
	(II)	9	4.61	1.10	5.55	
	(III)	8	4.31	7.5	4.73	
	(IV)	7	7.42	1.25	7.93	
	CIA積雪期					飛行機撮影 縮尺1/4000
	(I)	10	17.00	3.50	18.80	
	(II)	6	6.75	1.60	7.92	
	(III)	8	7.50	1.10	8.95	
	(IV)	6	7.00	1.30	8.47	
C5積雪期	13	6.23	1.70	7.93		
長岡～柿崎	C5無雪期	13	1.69	5.0	2.24	飛行機撮影
	C5積雪期	13	6.23	1.70	7.93	縮尺1/4000

表3 撮影高度のふらつき
Deviation of flight height.

地区名	コース	測定数	平均撮影高度m	ふらつきの最大m	標準偏差m	備考
福島～米沢	CIA無雪期					ヘリコプター撮影 縮尺1/2000 CIA無雪期は 41年12月10日 撮影の写真を使用
	(I)	5	1000.47	144.3	86.9	
	(II)	9	1016.88	8.32	3.80	
	(III)	8	1012.59	7.90	5.16	
	(IV)	7	996.30	9.00	5.07	
	CIA積雪期					飛行機撮影 縮尺1/4000
	(I)	10	932.81	3.83	2.38	
	(II)	7	932.23	4.31	2.02	
	(III)	8	941.48	8.20	2.16	
	(IV)	6	952.82	8.30	5.59	
C5積雪期	13	1246.01	12.51	7.11		
長岡～柿崎	C5無雪期					飛行機撮影 縮尺1/4000
	(I)	9	1255.03	16.24	11.99	
	(II)	5	1231.01	10.61	7.22	
	C5積雪期	13	1246.01	12.51	7.11	

高度540mの5/10,000程度以内におさまっているが、モデルによっては平均誤差101cm、標準偏差3.5cm、撮影高度の2/1,000という悪い値の出たモデルもある。(表6)

なお、この値は、先に示した無雪期空中写真2種類による平均誤差にくらべると、誤差が3倍ほど大きくなっている。この原因としては、第1に積雪期空中写真を撮影するときには、ヘリコプタ

表4 標定点の精度(福島～米沢地区)
Accuracy of location of pass point in Fukushima-Yonezawa area.

標定点番号	与点数	標高差cm
1	2	1
2	3	2
4	3	3
5	2	2
8	2	3
9	3	3
12	3	1
13	3	9
14	3	5
16	3	6
17	3	2
19	3	1
20	3	24
平均		4.8
最大		24

の改造が間にあわず、旧式・小型で解像力の悪いフェアチャイルド(Fairchild)F56(f211mm)を使わざるを得なかったためと、第2に積雪面の測定がハレーションによって道路を含めた無雪期の一般地表面の測定よりもむずかしいことが考えられる。

(3) 積雪深分布図の作成

積雪深の断面測定をおこなった区間の一部を取りあげ、断面測定線の間際にさらに積雪深測定点を設けて、縮尺1/500、積雪深等深線間隔20cmで積雪深分布図1面を作成した。図8には積雪深分布図の一部を示し、写真3は表示した積雪深分布図と同じ部分が実体視できるように配置したものである。この分布図作成に使用した積雪深の値は、先に述べたような誤差を含む値であるので、周囲の積雪深値

表5 無雪期写真による測定精度(福島～米沢地区)
Accuracy of height measurement by summer photograph in Fukushima-Yonezawa area.

モデル番号	測定数	平均誤差cm	最大誤差cm	標準偏差cm
1	33	12.2	30	12.2
2	55	29.0	69	26.2
3	44	31.9	60	14.1
4	44	24.7	64	22.1
5	55	39.3	75	19.4
6	77	39.2	80	29.4
7	55	9.4	23	11.0
8	22	13.4	37	14.5
9	43	9.6	38	12.7
10	55	26.9	68	15.3
11	66	36.7	93	18.7
12	66	14.8	37	13.5
13	55	8.2	25	9.6
14	66	19.5	51	17.9
15	66	13.7	41	15.0
16	66	11.7	26	13.0
17	44	8.2	19	8.0
18	55	32.6	191	63.3

表6 積雪深の測定精度(福島～米沢地区)
Accuracy of snow-depth measurement in Fukushima-Yonezawa area.

モデル番号	測定数	平均誤差cm	最大誤差cm	標準偏差cm
1	4	2.5	5	1.9
2	8	1.6	33	8.5
3	13	8	39	10.2
4	2	2.5	38	13.0
5	8	2.1	37	6.5
6	18	6.3	81	9.0
7	6	1.1	17	2.9
8	10	2.0	24	2.6
9	5	1.1	18	4.4
10	6	10.1	104	3.5
11	3	5.7	59	2.2
12	22	3.6	48	9.2

との違いが著しく、写真上の判読でも異様な値として表われていると認められるものは除外して作成したが、それでも等深線値にあわない部分が出た。

4.3.3 長岡～柿崎地区

積雪深測定および積雪深分布図作成をおこなったのは図7のC5の区間である。

(1) 標定点測量

積雪深測定をおこなうのに必要な標定点を得るために天文測量・水準測量・偏心測量をおこなった。まず、積雪深測定地域西端に近い平坦部に設けた多角点の位置を三角測量で確定し、これと積

雪深測定地域東端付近に設けた天測点を多角点とし、この両者を基準にして積雪深地域の多角網を作ると共に、多角点を利用して空中三角測量に必要な標定点12の偏心測量をおこなったが、それらの標高測定のばらつきは表7に示してある。

(2) 積雪深測定とその精度

積雪深測定の精度については、空中写真撮影時に積雪深を測定できなかったため直接のチェックはできないが、空中三角測量によるタイポイントの精度は平均二乗誤差が0.39m、最大-0.95mで、対地高度1,050m～850mの4/10,000～1/1,000であった。このような空中三角測量による標定点を使い、それぞれ独立に積雪深を測定した値の差を比較すると、そのばらつきは平均誤差27cm、標準偏差51cm、最大170cmとなっている。(表8)

(3) 積雪深分布図の作成

積雪深の断面測定をおこなった区間の一部を取

表7 標定点の精度
Accuracy of location of pass point.

標定点番号	測定方法	与点数	標高差cm	
3	簡易水準		0.9	
8			0.7	
11			0.2	
12			1.0	
13			0.4	
平均			0.6	
4	高低測量	3	4.0	
5		3	3.0	
6		3	13.0	
7		3	19.0	
9		3	6.0	
10		3	2.0	
平均				7.8
最大				19.0

表8 積雪深測定精度
Accuracy of snow-depth measurement.

	第1回読定cm	第2回読定cm
測定点数	16	19
平均誤差	27	40
読定差最大	170	180
標準偏差	51	56

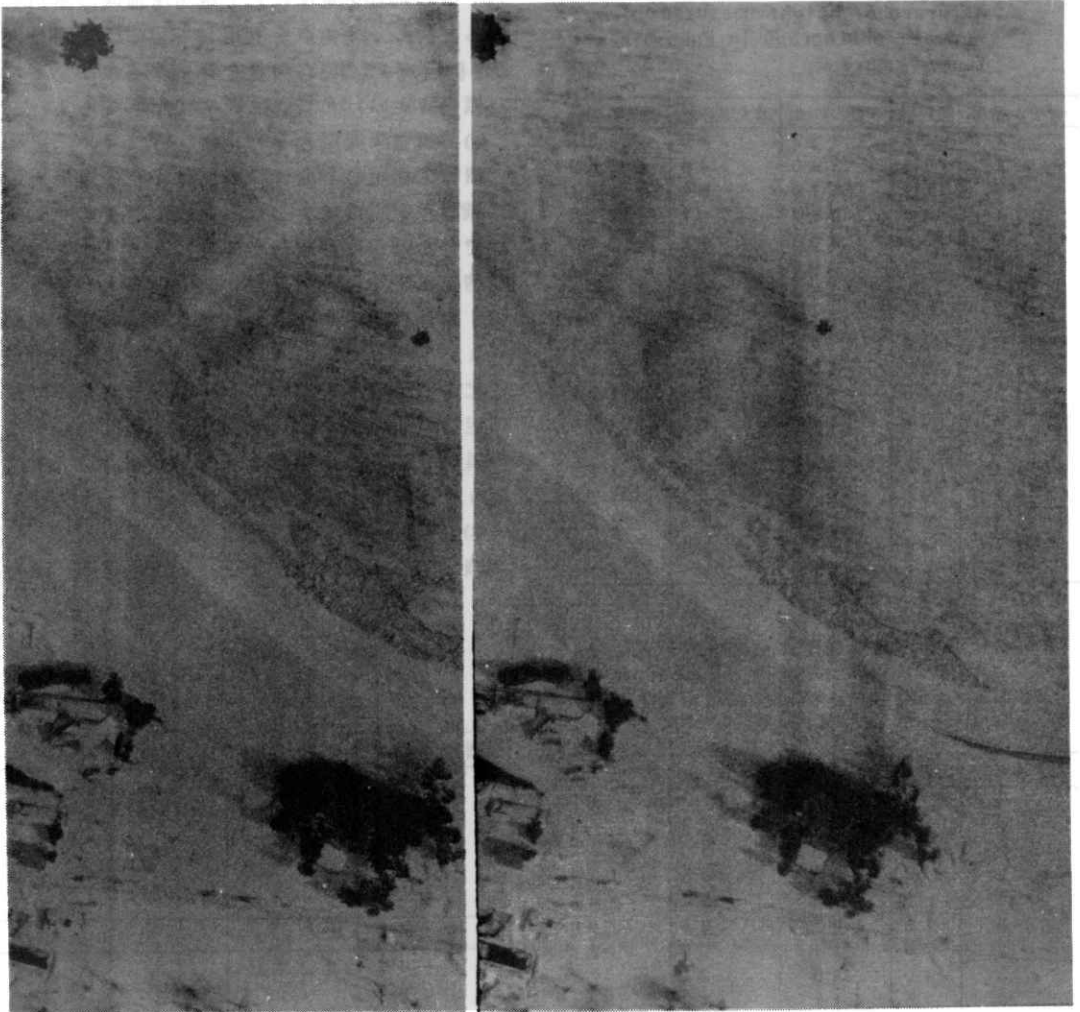


写真3 福島～米沢地区の一部(写真番号 CIA-15,16 縮尺 1/2,000)
A place of Fukushima-Yonezawa area.
(Photograph No CIA-15,16, scale being 1:2,000.)

り上げ、断面測定線の中間にさらに積雪深測定点を設けて、縮尺1/2,500、積雪深等深線間隔50cmで積雪深分布図1面を作成した。図9、図10には積雪深分布図の一部を示し、写真4、写真5は表示した積雪深分布図と同じ部分が実体視できるように配置したものである。この分布図作成に使用した積雪深の値は先に述べたような誤差を含む値であるので、周囲の積雪値との違いが著しく、写真上の判読でも異状な値として表われ

ていると認められるものは除外して作成したが、それでも等深線値にあわない部分が出た。

積雪深分布のほか、なだれ・雪のわれ目・地上卓越風向も空中写真の判読により図示してある。

4.4 積雪深の判読基準について

4.4.1 判読基準の有用性

これまで述べてきた積雪深の測定には時間と経費がかなりかかる。たとえば、異状な豪雪があつて、その状況をすぐに空中写真撮影によりとらえ

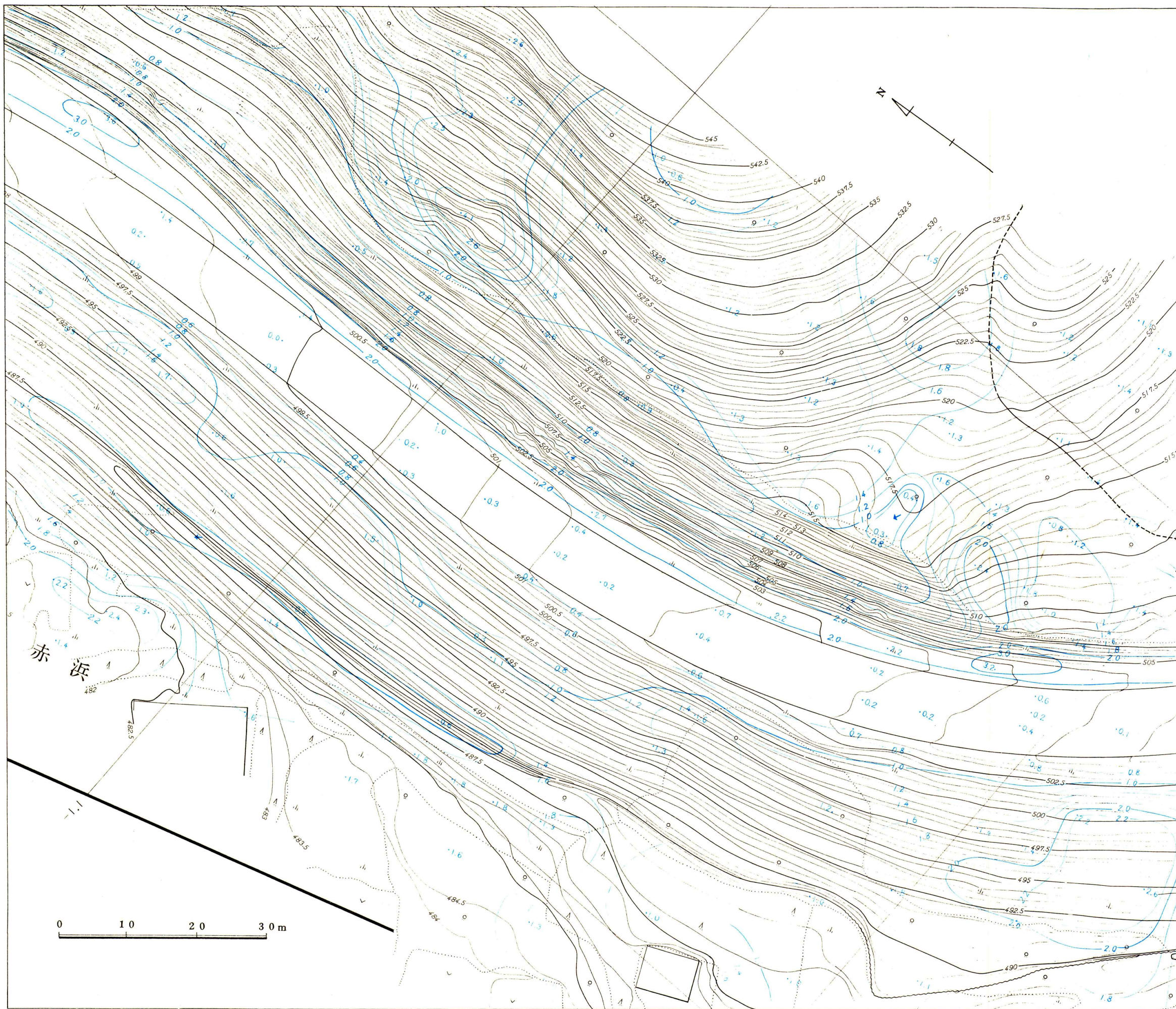


图8 積雪深分布図1 黒線：地形，青線：積雪深
 (福島～米沢地区，写真3と同一区域)

Snow-depth map1. Black lines show the topography, and blue lines the isolines of snow depth. (The same place with photograph No.3 in Fukushima Yonezawa area.)

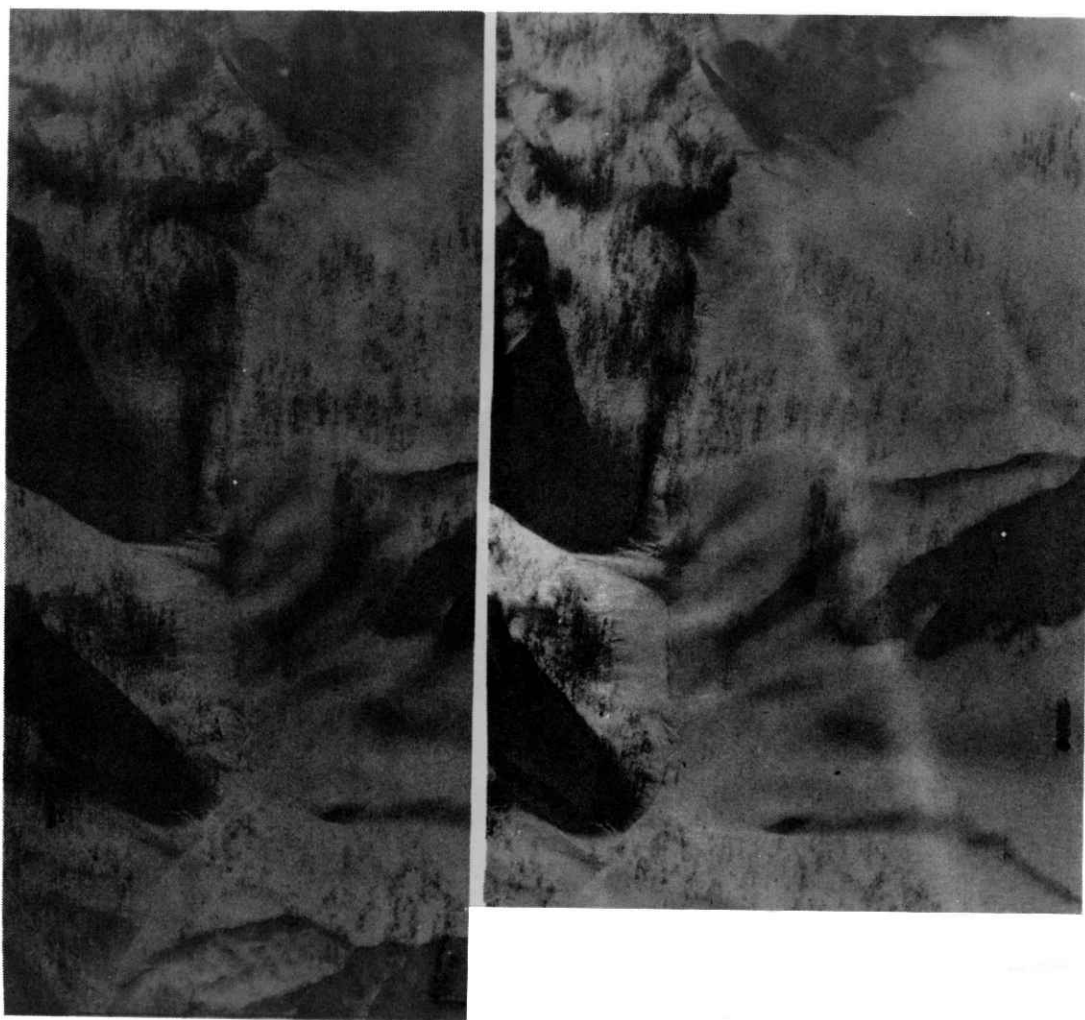


写真4 長岡～柿崎地区の山地部(写真番号 C5-8,9 (縮尺1/4,000)
Mountainous place of Nagaoka-Kakizaki area.
(Photograph No. C5-8, 9, scale being 1:4,000.)

たとしても、広大な地域についての積雪深測定をおこなうには、積雪期空中写真に写るような対空標識があらかじめ建てられていることや、積雪期空中写真と同じ程度の縮尺の無雪期空中写真が必要であるし、無雪期と積雪期空中写真からの測定のみで、標準偏差50 cm以内の積雪深値を求めるには、写真縮尺が $1/6,000$ 、飛行高度900 m程度のもが必要となる。また、積雪期空中写真による積雪深の測定にはかなりの日数を必要とし、急いで雪害の状況を知りたいときには積雪深

の値をすぐに得るのはむずかしい。また、経済的な理由で写真の縮尺が小さくなると、積雪深が比高測定の誤差内に入ってしまうと測定が不可能になる。ここで考えられることは、写真測量の手法によらずに、写真上の何かを指標にして50 cm単位程度に判読できないかということであり、指標をもとに判読の基準が作れば、それをもとにすみやかに積雪深の値を求めることができる。

4.4.2 判読基準について

積雪期写真上で指標として使える可能性のある

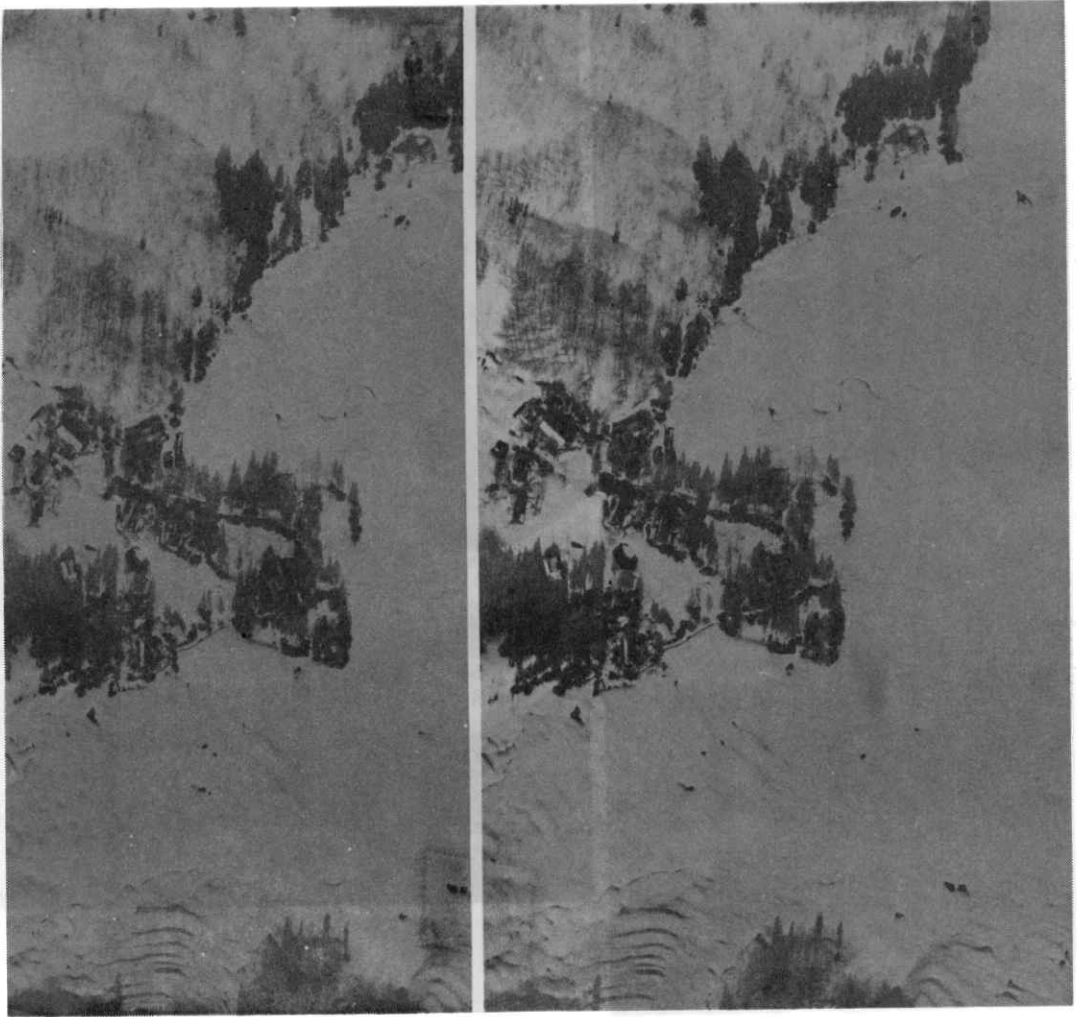


写真5 長岡～柿崎地区の山麓部(写真番号 C5-11, 12 縮尺 1/4,000)
Mountain foot of Nagaoka-Kakizaki area.
(Photograph No. C5-11, 12, scale being 1:4,000.)

ものとしては水田のあぜと家屋がある。このほかに電柱、送電線なども考えられるが、これらは縮尺の小さな写真では使うのが困難となる。このうち、家屋は積雪深が多くなると雪おろしや自然崩落などによって家のまわりに人工的な雪がたまってしまふので積雪深判読の指標としては、積雪初期を除いては使いにくい。

ここでは写真撮影時と同時の地上の積雪深データのある水田をとりあげ、水田のあぜが積雪深判読の基準として使えるかを検討した。この検討に

使用した空中写真の縮尺は福島～米沢地区1/2,000、長岡～柿崎地区1/4,000、東海北陸道地区1/7,500、1/25,000で、いずれも降雪後2～7日を経たものである。作業は積雪深と地表傾斜のわかっている水田約50カ所についてまず無雪期写真でコンター方向および傾斜方向(コンターに直角の方向)のあぜを25ずつ選び、そのおのおのが、積雪期空中写真上でいくつ判読できるかを数えて、あぜの判読率を算定した。図11では、あぜの判読率、水田の平均傾斜と積雪深と

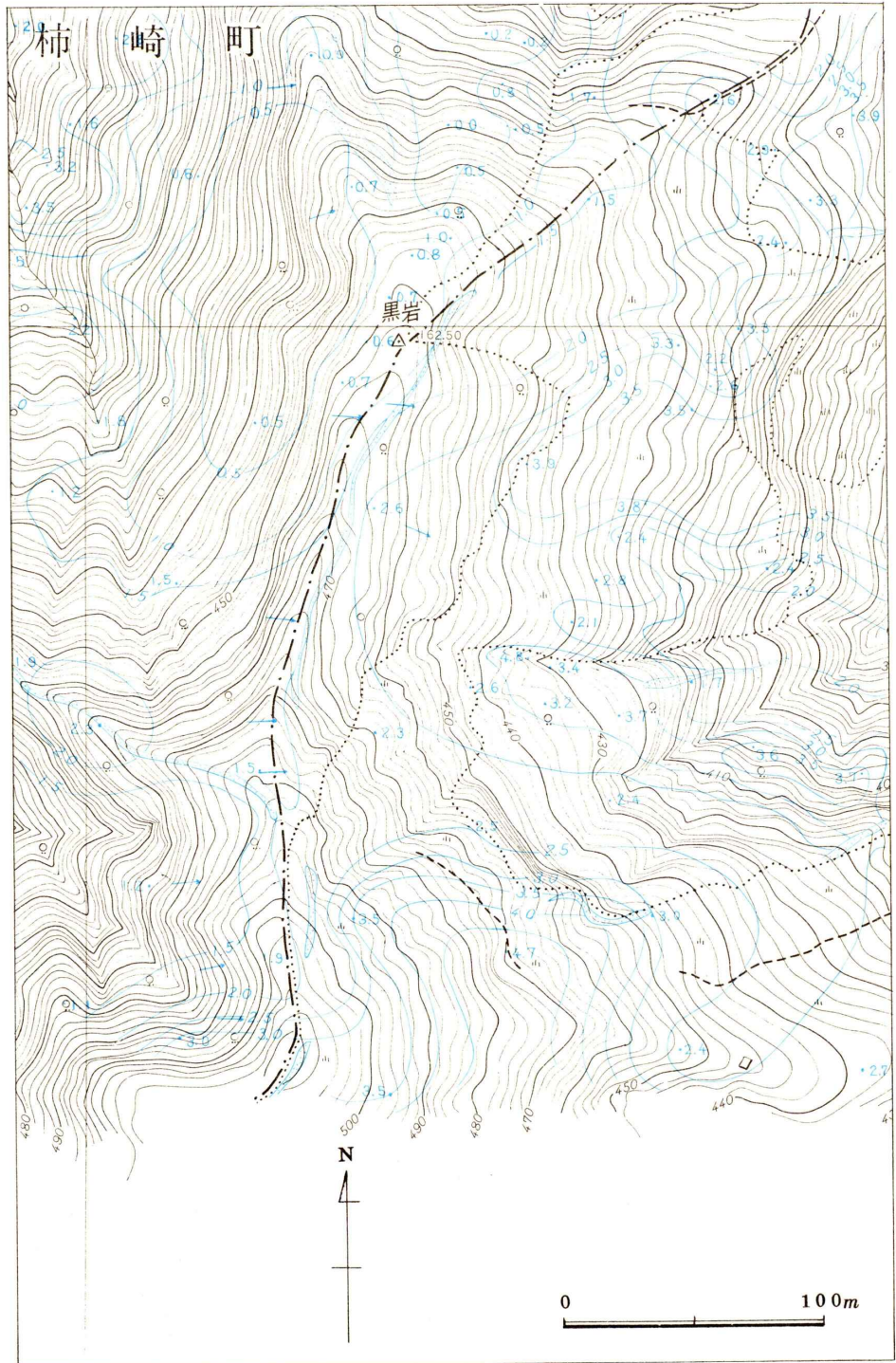


図9 積雪深分布図2
 黒線：地形，青線：積雪深
 (長岡～柿崎地区の山地部，
 写真4 と同一区域)

Snow-depth map 2. Black lines
 show the topography, and blue
 lines the isolines of snow
 depth.
 (The same place with photograph
 No.4 of mountainous place in
 Nagaoka-Kakizaki area.)

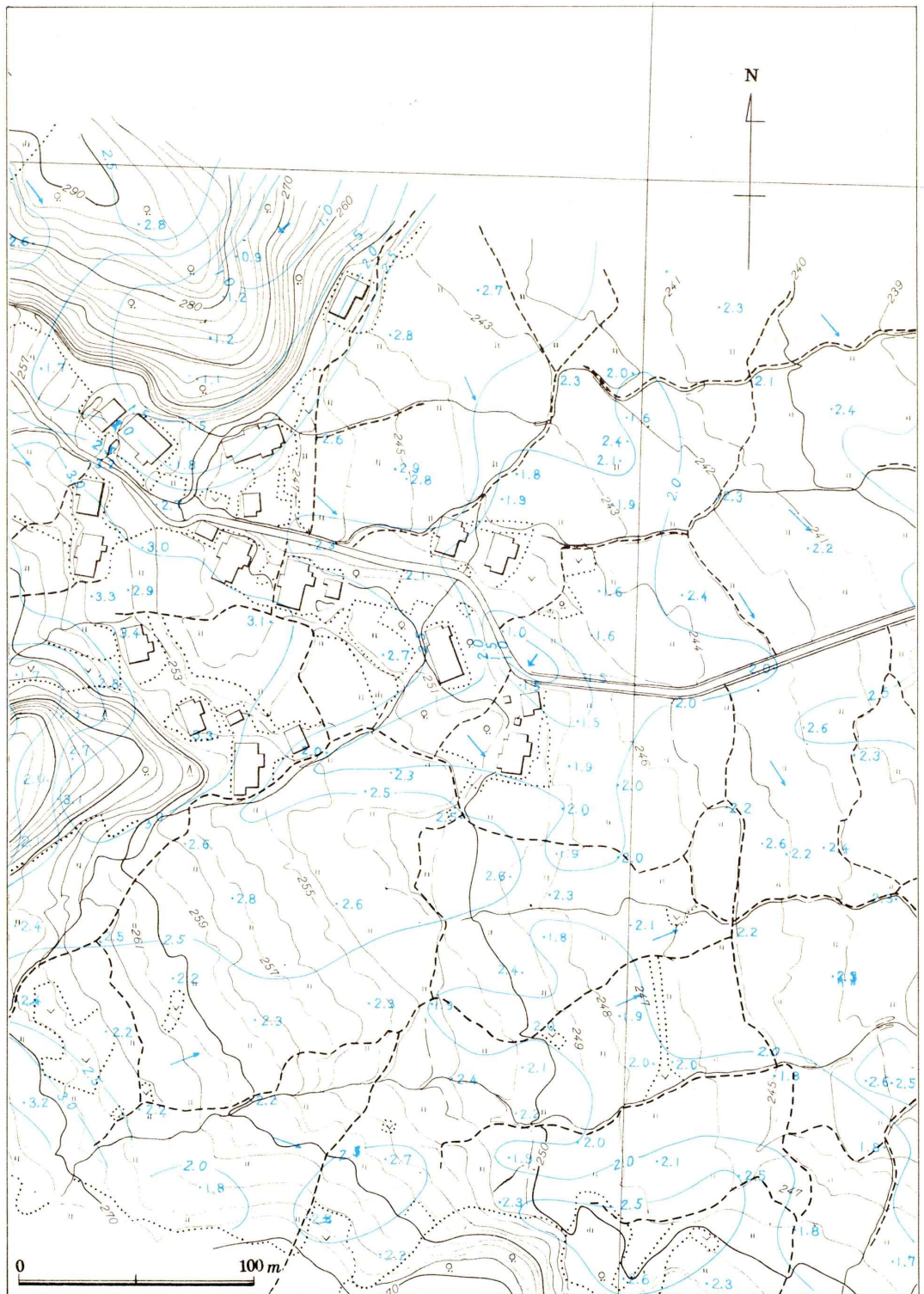


図10 積雪深分布図3
 黒線：地形，青線：積雪深
 （長岡～柿崎地区の山麓部，
 写真5と同一区域）

Snow-depth map 3. Black lines show
 the topography, and blue lines the
 isolines of snow depth.
 (The same place with photograph
 No.5 of mountain foot in Nagaoka-
 Kakizaki area.)

の関係が示してあるが、これを見ると、水田の平均傾斜、あぜの判読率と積雪深との間にはいくつかの例外を除いて相関関係が認められる。この相関は、水田の傾斜方向よりもコンター方向のあぜの方が相関がよい。この原因としては傾斜方向のあぜが、コンター方向のあぜにくらべて積雪深が増大すると共に急速に判読率が減小するためと考えられる。なお、いくつかの例外が出た原因については、斜面の方向に起因するものや降雪時の風速に起因するものなどが考えられる。また、写真の縮尺による判読率の差は使用した写真縮尺の範囲内ではあまり認められない。

測定点数が約50点と少ないが、あぜの判読率と水田傾斜から、水田傾斜が2°未満であれば積雪深が0.6~1mになると判読率が20%以下となり、水田傾斜が2°~5°未満であれば、積雪深が1.5~2mで判読率が30~50%程度であることなど、積雪深のおおよその検討をつける手がかりにはなりそうである。(図11)

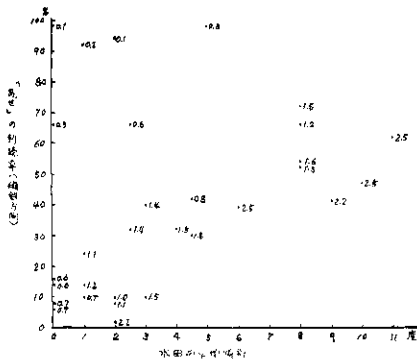


図11 あぜの判読率と積雪深
Relation between the photo interpretation percentage of footpath in paddy field and the snow depth.

5. 今後の問題点

(1) 積雪深対空標識について

空中三角測量用の対空標識として作成したアルミ製O A Y型対空標識は1/10,000空中写真を対象にしたものであるが、全体の重量が108kgとかなり重く、五つに分解された各部分でも、山頂に持ち上げるのは容易でなく、さらに軽量化する必要がある。対空標識頭部(地上5m)の部

分には25.8kgの3枚羽根が取り付けられて上方が特に重く不安定となっており、岩がちの山岳地で重量・風圧に十分耐えるように基部を埋設し建標するのが難しい。また、対空標識が不要となった場合、木製のものであれば、そのまま放置しておくことも可能であるが、アルミ製の場合にはそのようなわけにはいかない。

(2) ヘリコプター撮影による垂直写真

ヘリコプター撮影による垂直写真は測定・図化に十分使えることがこの研究で明らかになったが、ヘリコプター写真の性能は表2に示すようにまだ飛行機による空中写真におよばない。この点については、今後ヘリコプターの直進性能が向上することやヘリコプター振動の低減とカメラを装置する場合のさらに改良された耐震装置の開発が問題となる。

(3) 積雪深の測定とその意義

空中写真から積雪深を知ろうとする場合には、二つの方法がある。第1は家屋・橋梁・鉄塔・道路・鉄道などの構造物の対地比高を現地であらかじめ測定しておき、それらの雪による埋没深を積雪期空中写真の視差測定から得る方法であり、第2は無雪期および積雪期空中写真について空中三角測量をおこなない、それぞれを同じように標定した後、同一地点の絶対高度の差から積雪深を求める方法である。

これらの方法は、道路の予定線のような現地踏査のしにくい地域については非常に有効な手段であるが、国道13号線のように道路があり常に除雪のおこなわれている区間では、道路周辺に積雪深測定用ポールをおき、定期的に雪の深さを記録の方が経済的であり、データも豊富となる。ただし、大縮尺写真の撮影を反復しておこなえば、一回あるいは複数回の降雪で積雪分布がどのようになるかを空中写真から測定して、その後の除雪計画のデータとすることができるし、除雪がおこなわれた場合の効果の測定などもおこなうことができる。また、国道があってもまだ改良がおこなわれておらず、積雪期には交通が途絶してしまうような区間では、国道の改修計画、除雪計画をたてる場合の積雪深データを得ることができる。

(4) 積雪深判読基準

その有用性についてはすでに述べたが、垂直写真を利用し0.5m単位で積雪深を判読する基準を作成するにはまだ未解決の点が多い。判読基準設

定のためには空中写真撮影時の積雪深測定データが豊富にあることが必要であるし、水田を指標とする場合を例にとればあぜの判読率を写真濃度測定装置で正確にとらえるなどの手法も有効である。また、積雪深の記録されている積雪期空中写真の代表的なものを集め、基準的な判読カードを作成することが必要である。

参 考 文 献

1. 高崎正義ら：積雪分布の測量に関する研究、防災科学技術総合研究報告、第2号、p. 5~33、昭和40年3月。
2. 高崎正義ら：積雪分布の測量に関する研究 (II)、防災科学技術総合研究報告、第10号、p. 3~19、昭和41年3月。
3. 篠滋彦：ヘリコプターによる航空写真測量、測量、1966年8月号、p. 15~18。
4. 高崎正義ら：積雪深の分布と地形 — 空中写真の利用による —、地学雑誌、Vol. 73, 61, p. 23~40, 1964年。
5. 高崎正義ら：空中写真による積雪深調査、雪氷、26巻1号、p. 13~18。
6. Cooper, Charles F.: Snow Cover Measurement. *Photogrammetric Engineering*, 1964, p. 611~619.