

雪崩警報システムの試作について —— SYSTEM OJIYA I ——

広部良輔*・山田 穰*・五十嵐高志*

国立防災科学技術センター雪害実験研究所

Trial Production of a Warning System of Avalanches —— SYSTEM OJIYA I ——

By

R. HIROBE, Y. YAMADA and T. IKARASHI

*Institute of Snow and Ice Studies, National Research
Center for Disaster Prevention, Nagaoka, Niigata-ken 940*

Abstract

It has been studied to establish a warning system for avalanches along roads in Ojiya area, Niigata Prefecture.

The data of avalanches reported from Public Works Management Bureaus in the winter season of 1977 to 1978 and the meteorological data in the Monthly Report of Agricultural Weather at Echigokawaguchi-machi were used to build up the system.

Avalanches often occurs when temperature rises after snowfall has stopped and when the amount of snowfall becomes large during a snowfall term.

The histogram of avalanches at Ojiya area can be classified into three types, each type being related to daily average temperature and daily snowdepth at Echigokawaguchi-machi.

In the proposed system, a thermometer, a rain gauge and a detector of snowfall are to be used as input devices and the signals of these apparatuses are systematized by wired logic method. The indication of warning system is given by light emitting diodes on roads in a relief map of Ojiya area. Red lights indicate most dangerous situation, green lights, dangerous situation, and yellow lights, the danger of surface avalanches, respectively.

The system is to be set in the branch office at Koide-machi of Ojiya Public Works Management Bureau, which is the management center of patrol cars and snow removal machinery.

1. まえがき

大規模経済圏を結ぶ国道は整備がすすみ、冬季除雪が完全に行なわれ、雪崩防御施設も完備してきた。長期にわたる大がかりな交通障害を生じることはいずれである。一方、村や町の規模で点在する住居圏を相互に結ぶ道路は、冬季の住民の生活を維持するために必要な路線だけ除雪が行なわれている。このため県道および市町村道の中、冬季に閉鎖されるものも少

* 第1研究室

なくない。除雪の行なわれている道路も雪崩防御施設の整備は不十分で、車も歩行者も雪崩に遭遇する危険がある。雪崩が発生したという通報があると、県の土木事務所は除雪車を送り、デブリの除去作業を行なって交通障害を取除いている。新潟県内の各土木事務所からの報告によると、毎冬数百件にのぼる雪崩が除雪した道路上に発生し、交通障害を生じている。

除雪作業は雪崩発生の通報を通行者から土木事務所がうけて、除雪車やパトロールを送り行なわれることが多い。あらかじめ雪崩発生予想地点の近くに除雪車を集中しておくわけではなく、除雪車の到着にも時間がかかり交通障害の時間も長くなる。

通行者はいつ雪崩が発生するかわからない危険な道路を、生活を維持するためには止むをえず通行しなければならない。雪崩が発生したことを通行者が発見して通報することが多いのだから、人命をかけて雪崩の検知器の役を引受けているといえよう。したがって、除雪作業の効率化と人命の安全という両面から、雪崩警報システムを開発することは、極めて重要といえることができる。時刻、場所、危険度などを警報することができれば、まことに有益となる。

1976年以後、五十嵐は3冬季にわたり新潟県内の17個所の土木事務所に依頼して、道路交通に支障を生じた雪崩について調査を行ってきた。この中1976～1977年の冬季は542件あったが、1977年3月以後のデータに多少の不備がある。1977～1978年冬季については完全に近いデータがえられ、総計776件におよんでいる。1978～1979年冬季は、暖冬のため総計210件程度の雪崩しか発生していない。1976～1977年については渡辺ら(1978, 9月)により報告され、1977～1978年については五十嵐(1979, 3月)により報告されている。現在のところこれらの調査結果しか統計的に利用できる雪崩のデータはないので、不十分ながらこの調査結果をもとに警報システムの開発を行なうことにした。この中1977～1978年については発生個所、日時、規模などが詳細に調査されており、他の年に比すれば統計データの数も多いので、この年のデータを利用した。

2. 地区の選定

県内の17個所の土木事務所の管内で、豪雪地帯と考えられる地区は、津川、小千谷、安塚、十日町、六日町、上越の6地区である。この中、地理的に長岡から便利で、山地と平

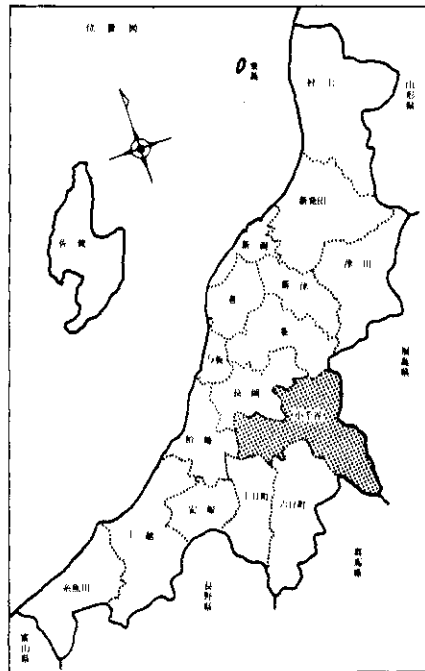


図1 小千谷地区の位置

野の両地形を有し県内の道路総延長の 11 % を管理している小千谷土木事務所管内を選んだ。この地区は図 1 に示すように、長岡市の南方および東方に位置している。東頸城丘陵、魚沼丘陵、越後山脈が南北に走り、その間には魚野川、信濃川が流れている。この川の流域に当る標高 200 m 以下の低地、国鉄只見線に沿った破間（あぶるま）川の流域の山地、奥只見ダムに通じる山地、上越国境に向い六日町に通じる山地などが主たる管理区域である。このため降雪の状況も山雪、里雪などに応じて場所によって大きく異なり、山谷風、気温など局所気候により、雪崩の発生状況も大きく異なっていることが予想できる。

3. 小千谷地区の雪崩多発地点

小千谷土木事務所管内では道路総延長の 54 % が除雪され、残りは冬期間閉鎖されている。道路別に発生地点をみると図 2 に示すように、11 地点以上に達するが、この中比較的近い位置にある個所を同じに地点として扱くと、7 地点に区分することができる。第 1 地点は小千谷市桜町から小国町に通じる道路で桜町トンネル付近、第 2 地点は小千谷市から十日町および川西町に通じる信濃川兩岸で、真人町および市之口付近、第 3 地点は小千谷市の信濃川東岸の南荷頃および川口町から木沢トンネルの間、第 4 地点は小出より大湯温泉に通じる道路および入広瀬村、守門村、広神村の山岳地帯、第五地点は小千谷市船岡町から信濃川沿

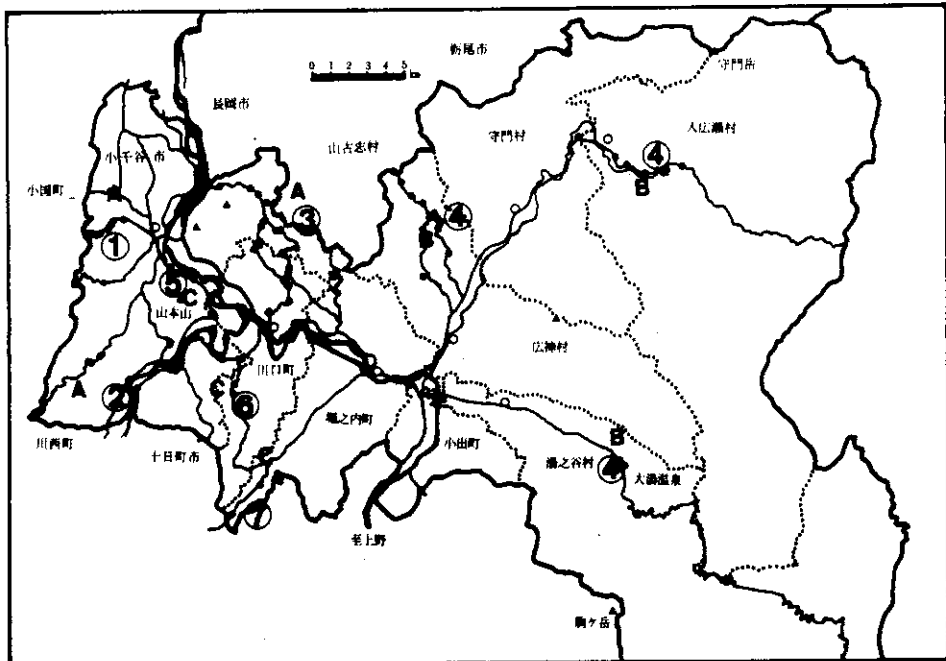


図 2 小千谷地区の雪崩発生箇所

いに山本山の下を上片貝をへて通る道路、第6地点は川口町亀田橋から南に相川川に沿って鷹の巣橋の間、第7地点は堀之内町から十日町に通じる道路で、辻又一号橋付近と三坂トンネル付近である。

4. システム開発

4.1 発想と手法

渡辺ら(1978, 9月 p.41)は十日町におけるグライド速度の変化と新潟県全域の雪崩発生頻度との間に相関があると報告している。新潟県の面積は小さくないので、この相関は精度的に決して高いものではないだろう。この学問的には問題のあるおおざっぱな発想をシステム工学に利用して警報システムを組立てることは、今日の要望にこたえるという意味では価値のあることではないかと考えた。雪崩発生地点はいずれも危険な辺りな個所にあり、ここにセンサーを設置してここから20Km以上離れた小千谷地区の中心までデータ搬送することは容易ではない。また11個所において予知システムを組立てるために必要な気象観測を行なうとしたら、莫大な労力と時間を必要とし、今日の問題の解決には役立たない。このため小千谷地区の中心において1個所気象観測を行ない雪崩発生地点での発生頻度との相関を求めるとする方法をとることは、警報システムを作り上げるため必要不可欠である。この場合、発生地点ごとに気象データとの相関は異なってくる。比較的条件の似た所はよい相関がえられるであろうし、遠い山地などとは相関は悪いであろう。警報の精度が個所によって異なってくるのは止むをえない。警報は安全のための十分条件を知ればよいのだから、充分検討してシステムの設計を行なうならば実用にたえるものとなる。さらにシステム工学の立場から評価 (evaluation)、最適化 (optimization) を毎年くり返し、雪崩の統計データを長年にわたり蓄積していくならば、精度は年々向上して行くであろう。雪崩発生地点の各々にセンサーを設置する方式がよいのは自明であるが、次善の策として1カ所の気象データと発生地点との相関を求めるという発想によることを認めないならば、システムの設計は

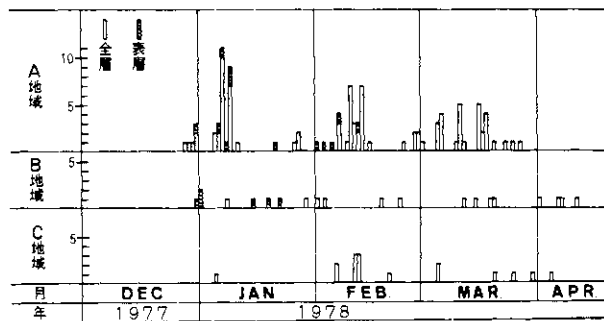


図3 小千谷地区の雪崩発生状況

現状では不可能である。

4.2 雪崩発生頻度の局所性

小千谷土木事務所管内の雪崩発生危険地点7個所について、雪崩の頻度と月日の関係を示してみると、その中いくつかの頻度分布の型が相似している。これらを以下のように統合し、三つの区域に分類することにした。A区域は第1, 第2, 第3地点を統合した。B区域は第4地点のみである。C区域は第5, 第6, 第7地点を統合した。図2にこれらの統合した区域を示してある。図3に月日別の頻度分布の状態を示してある。A区域は雪崩が最も多く発生する地域で、小千谷市と東側と西側の丘陵地帯をこえて周辺の経済圏を結ぶ主要道路が開けた所である。B区域は山岳地帯で件数は少ない。これは除雪道路の延長が短く、冬季閉鎖された道路の多い所である。C区域は信濃川および魚野川沿いの平野部で、件数は少ないが、通行の多い地区といえる。

4.3 気象データと雪崩の発生

4.3.1 雪崩発生の要因 このシステムに利用できる小千谷管内の気象データは、1977～1978年については川口町、入広瀬村の農業気象月報、1978年12月1日以降については小出町、入広瀬村のAMEDASによるデータがある。このため越後川口町における気温と降雪量のデータを利用してシステム設計を行なうことにした。図4に1977～1978年における最高・最低気温の月日変化状況を、図5に平均気温の月日変化状況を、図

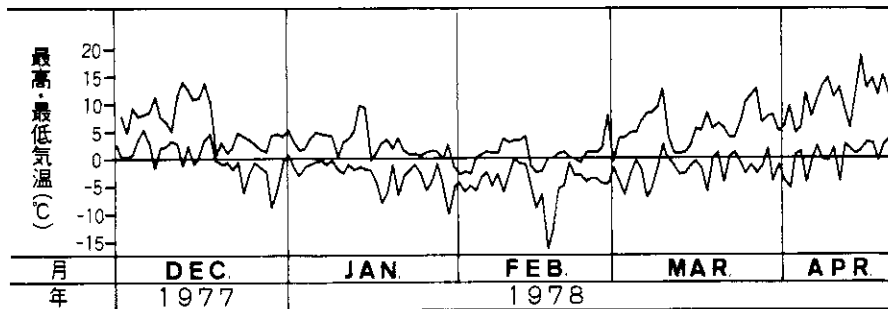


図4 越後川口町における気温の変化状況

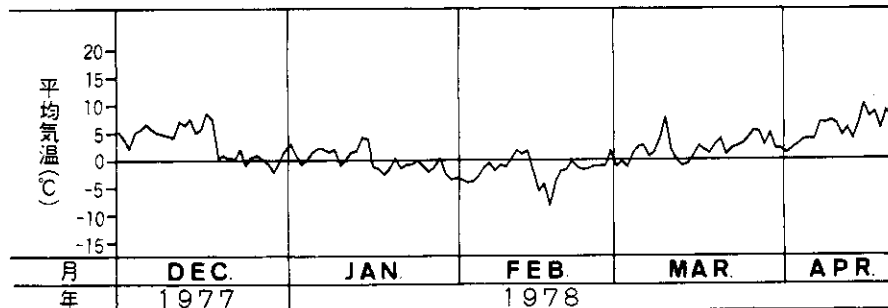


図5 越後川口町における平均気温の推移

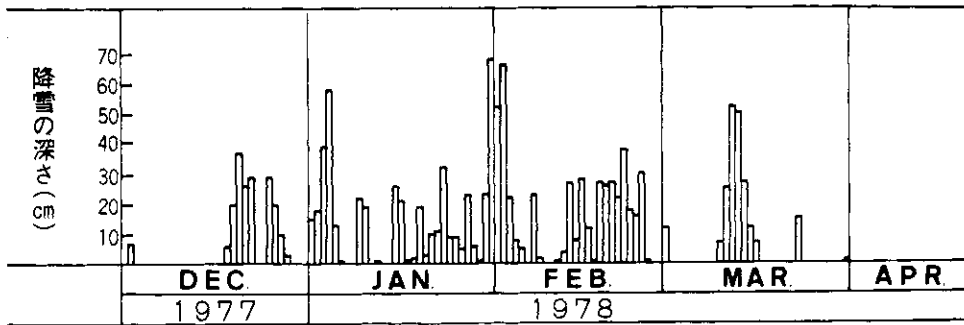


図6 越後川口町における降雪量の推移

6に降雪量の月日変化状況を示す。

雪崩の発生と気象の関係は、局所性の大きいことは自明であるが、これまでの記録によって二つに大別すると、1) 連続した降雪日の後、雪が降り止んで気温が上昇してきた時期に一気に雪崩が発生する。1977~1978年冬季において連続した降雪日数の最大は8日である。2) 連続した降雪期間中にも多量の降雪があると雪崩が発生する。この場合は気温は低く、積雪重量が重要な役割を果たしていると考えられる。雪崩の発生には様々な要因が関係しているが、その中で気温の上昇と、降雪の量は卓越要因と考えられる。高橋喜平(1950)によると晴れた日の全層雪崩は全体の49%，吹雪の中の表層雪崩が32%になるという。このような卓越要因については、中心部の一地点での気象データと雪崩発生頻度との相関を求めることも可能ではなかろうか。

4.3.2 平均気温と雪崩の発生頻度 A地区の雪崩発生件数と平均気温の関係を図7

に示す。-1℃以下の件数は降雪中に発生したものがほとんどで、温度上昇に伴うものではない。-1℃以上に温度が上昇すると雪崩の発生件数は急速に増大することがわかる。最大の発生件数を記録するのは2~3℃の間であるから、中間値をとって-1~+1℃の間を準危険領域、+1℃以上を危険領域と考えることにした。

B地区の平均気温と雪崩発生件数の関係を図8に示す。-1℃以下の発生件数は、温度上昇に伴うものでないので、0℃をこえると雪崩の発生が始まることがわかる。

C地区の平均気温と雪崩発生件数の関係を図9に示す。0℃以下の発生件数は、温度上昇に伴うものでないので、1℃をこえると雪崩が始

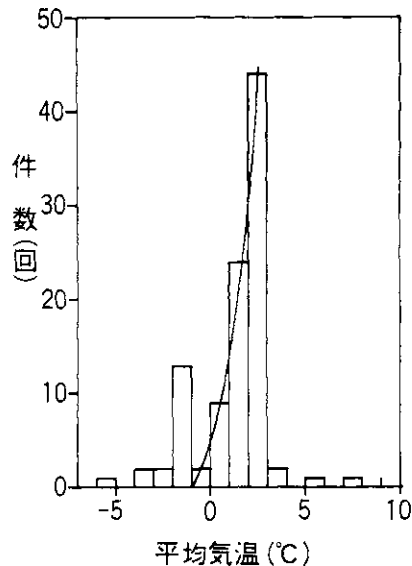


図7 A地区の雪崩発生件数と平均温度

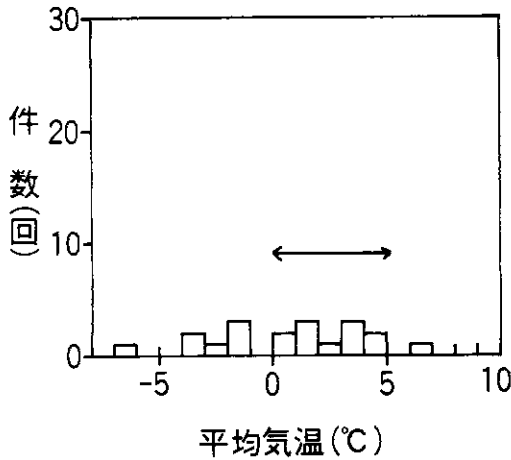


図8 B地区の雪崩発生件数と平均温度

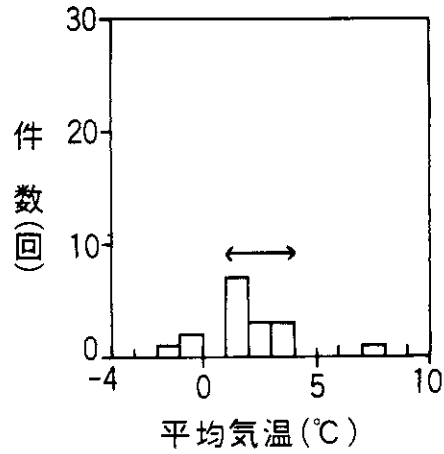


図9 C地区の雪崩発生件数と平均温度

まることがわかる。

4.3.3 降雪量と雪崩の発生件数 小千谷地区全体の雪崩発生件数と48時間の降雪深さとの関係を図10に示す。この場合、48時間降雪深さとは、雪崩発生件数が示す当日の前日と前々日の降雪深さの和である。したがって、降雪が終了日の翌日の雪崩発生件数と降雪終了日とその前日の48時間の降雪量の関係も図10中に表示されているし、降雪の終わった翌々日の発生件数と、降雪の最終日の降雪量の関係も表示されている。図10において降雪深さ0～40cmの間で件数が低下するカーブは、この降雪終了日の近傍の件数に相当している。降雪中の発生件数は降雪量60cm以上の右側の上昇カーブの所に相当している。降雪が終了して発生する雪崩は、温度上昇に起因するものか降雪の末期の降雪量に起因するものかは、議論のあるところである。システム設計の立場からは降雪終了後の雪崩はすべて温度上昇に起因すると考えても支障はない。図10において、48時間に60cm以上の降雪があった場合雪崩の発生が生じてくると考えられる。

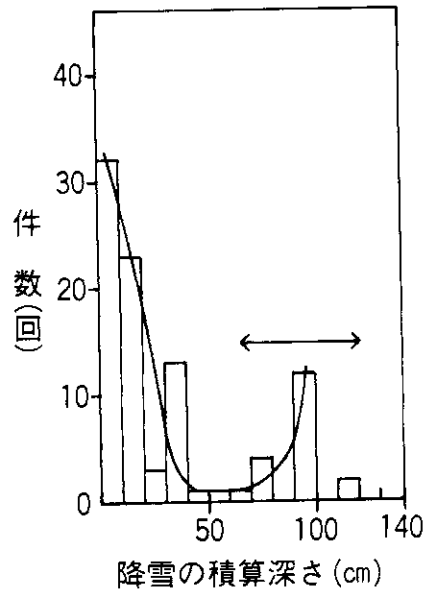


図10 小千谷地区の雪崩発生件数と48時間降雪深さ

4.3.4 降雨と雪崩発生 1977年1月の統計データによると、積雪期間中に降雨があった日は、極端に雪崩発生件数が増大していることがわかる。降雨の日は気温も大巾に増大しているとは思いますが、降雨現象を別扱いにしてシステム化するのが当をえていよう。

4.3.5 表層雪崩と全層雪崩 雪崩期間中、全層雪崩の発生件数が時期によって左右されるという判断資料はない。表層雪崩は全地点において2月中旬までしか発生していない。

4.4 気象測器

4.4.1 温度計 素子互換式サーミスタをセンサーとして使用し、設定精度は+1℃において±0.3℃以内、-1、および+3℃において±0.6℃以内である。調節感度は0.2℃以内となっている。

4.4.2 雨雪量計 写真1に示すように口径200mmのロートにより雨雪を捕集する。ロートの外側にはパイプヒータが取付けられ、ロートを加熱して雪は融かして水量として計測する。ロートの下には転倒ますがあり、転倒ごとにリード・スイッチが作動し、0.1～0.3 secの接点信号が生じる。転倒ますの1回の転倒による計測量は0.5mmの雨量に相当している。



写真1 雨雪量計の内部と外筒

4.4.3 降雪検知器 写真2に示すように240×100mmの矩形面をもつセンサーが、勾配約30度で取付けられている。この矩形面に降水があると、電気的な導通が生じ、センサー上に水があることがわかる。水は間もなく斜面を落下して、表面の導通は失われる。この矩形面の内側にはヒータが取付けられ、表面に残留した水分はただちに蒸発する。降雪はヒータの加熱により融けて導通を生じさせ、ただちに傾斜面を落下するようになっている。雪と雨の区別は、別にセットされた温度計により、2℃以上の導通は雨、以下は雪として判別している。この装置はスノーコンという商品名で長岡市、小千谷市などの道路消雪装置に組み込まれて成果を上げており、長年の経験に



写真2 降雪検知器

より信頼度も高いので今回利用することにした。

4.4.4 表示盤 5万分の1の地形図の長岡、守門岳、小千谷、須原を一面に貼合わせ、200mごとのコンターを単位高さにした立体地形模型を作成した。雪崩の発生地点11カ所以上に発光ダイオードを付けた。写真3にこの模型を示す。赤色発光ダイオードは極めて危険の大きいことを意味



写真3 地形模型上の警報表示灯

し、緑色発光ダイオードは危険のあることを意味する。黄色発光ダイオードは表層雪崩の危険のあることを意味している。また赤色発光ダイオードの点滅は降雨による雪崩の危険が生じたことを意味する。

4.5 システムの設置場所

気象測器の立場からは小千谷地域の標準的データのえられる所がよい。利用できる気象データは越後川口町と入広瀬村しかないが、入広瀬村は辺りな所であるから、越後川口町のデータを利用してシステム設計を行ない、同町に設置するのがよい。



写真4 小千谷土木事務所

土木事務所の道路管理業務の立場からすれば、除雪車やパトロールカーの管理センターがよい。小千谷土木事務所は小千谷市に本所(写真4)、小出町に支所を有しており、小出町が適している。越後川口町と小出町は10kmほど離れており、ともに魚野川沿いの低地である。気象データも相似しているものと考えた。小出支所の敷地内にある北魚沼郡生活圏防



写真5 新潟県小出郷防雪生活圏協議会の防雪総合センター

雪総合センター(写真5)の屋上に雨雪量計, 温度計, 降雪検知器を取付け, コードで2階の室内の表示盤に連絡するようにした。

4.6 システム設計のアルゴリズム (algorithm)

気象センサーからの出力はすべてTTL (transistor-transistor logic)レベルの信号である。この信号をワイヤード・ロジック方式で組立てるか, コンピュータ方式で組立てるか議論のあるところである。ワイヤード・ロジック方式は簡単な論理回路でも複雑な配線を必要とし, 完成後に回路の変更が容易でない, 雪崩警報システムのように, 毎冬季のデータを参照して最適化を繰返さねばならないものには不適當である。コンピュータ方式であれば, その都度プログラムを変更するだけで済む。このシステムにおいては1) 雪崩の発生件数が道路沿いに限られ少ないこと, 2) 気象要素が気温と降雪量だけであること, 3) 気象データが日単位の平均値であること, などから統計的数値計算を行なうほどの水準に達していない。コンピュータを使うほどのデータ数もえられてないし, 精度もうることができない。またワイヤード・ロジック方式で回路を組んでも, この場合はさほど複雑にはならないなどの理由から, ワイヤード・ロジック方式によりシステム設計を行うことにした。

4.7 ワイヤード・ロジック方式

図11に示すような論理回路をICを用いたAND回路, OR回路, EX-OR回路, カウンタ回路の組合せによって作成した。

これにより気象センサーと表示盤上の発光ダイオードが結合された。

温度計からは+1℃, 0℃, -1℃の三つのTTLレベルの出力がある。雨雪量計が作動せず降雪検知器が雪でないことを示し, +1℃の時, A地域は赤, C地域は緑となる。0℃以上の時, B地域は緑となる。-1℃以上の時, A地域が緑となる。

降雪検知器が雪でないことを示し, 雨雪量計が作動した場合は赤点滅を全地域に与える。

降雪検知器が雪であることを示し, 雨雪量計が作動した場合, 2系統の48時間連続カウンターによりカウントする。

48時間ごとにリセットし, 2系統は24時間のずれをもって働くようになってい

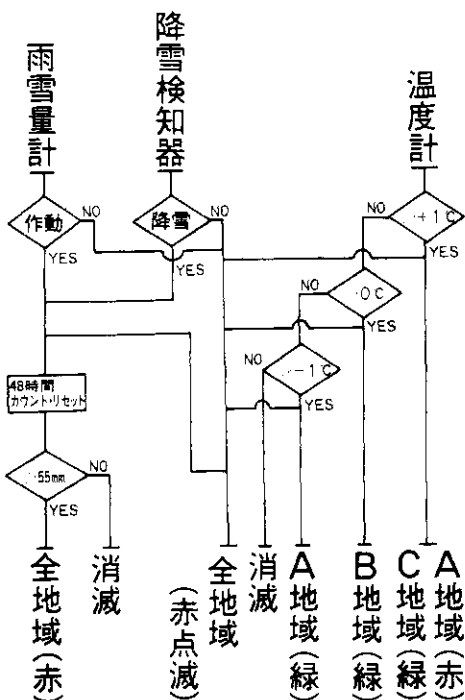


図11 システムの論理設計

る。したがって24時間ごとにどちらかがリセットされるようになっている。五十嵐(1976)によると長岡における新雪の密度は 0.09 g/cm であるから、カウントが降雨量に換算して55 mmをこえた場合、全地域に赤信号が生じるようにしてある。赤信号は24時間点灯して消えるようになっている。表層雪崩を示す黄信号は2月中旬まで緑信号と共に作動するようになっている。

5. あとがき

雪崩発生件数の統計データも1977～1978年に限られており、気象データも農業気象月報から読取る以外に方法はなかった。したがって気象要素は降水、気温、風向風速などに限られており、日平均のデータしかえられなかった。このような限定された条件下で警報システムを作るとしたら、これ以外の方式は考えられないであろう。小出町の1個所に気象センサーを置き、雪崩発生地点との相関を求めるといふ発想も、止むをえずとられたもので最善であろうはずもない。しかしながら災害とは人間との関わり合いの問題である。純学問の領域に抽象するのはよいとしても、いつになったら実際に役立つかわからぬようでは、困るのである。災害は今日の問題であり、今日が解決されないでどうなるというのだろう。現在までにわかっている事象がいかに幼稚であっても、それらを使ってシステムを組むことが今日の最善なのである。その意味でこのシステムは一例を示そうとしたものである。

今後の問題点 このシステムは未だ幼稚な段階にある。雪崩のデータも少ないし、気象データも不十分である。これは年々データを集積することによって、かなり解決できるであろう。今日ではAMEDASのデータも利用できるようになった。またシステムの評価も行なわれていないから、どの程度現状に合致するか不明である。これは今冬の試験により明らかになり、改善のめども立ってくるであろう。さらにデータの搬送などシステム外的要因の不備も大きい。これは行政的努力によらなければどうにも解決しえないものである。このように様々な問題が入組んでいるが、一つ一つ解決していかなければならない。さし当って気象データは日単位でなく時間単位のデータを利用する必要がある。また気象要素も今冬の観測により風向・風速や日射など増やす必要がある。さらに雪崩発生地点のすべてではないにしても若干の個所には気象センサーを設置し、データ搬送も考えるべきであろう。

謝辞 このシステムを作成するに当り、所長栗山弘氏、第2研究室長木村忠志氏、センター第4研究部長渡辺一郎氏には、様々な面で御支援を賜った。厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 五十嵐高志 (1976) : 長岡における12冬期間の積雪観測について. 昭和51年度日本雪氷学会秋季大会講演予稿集, P. 124
- 五十嵐高志 (1979) : 新潟県のなだれ発生頻度に関する研究. 国立防災科学技術センター研究報告, 21号, P. 89
- 高橋 喜平 (1950) : 被害のあった雪崩れに関する統計. 雪氷, 12巻1号, P. 163
- 渡辺興亜 他 (1978) : 1976 ~ 1977年冬期の新潟県を中心とする地方の広域積雪現象について. 国立防災科学技術センター研究速報, 29号

(1979年10月31日 原稿受理)