

科学技術庁 国立防災科学技術センター



も く じ

気象レーダーと電子計算機との結合により
洪水予報や大雨警報を出す話

菅原正巳 1

道路雪害の問題点

田中康之 6

屋上積雪について

斎藤博英 9

No. 7 1969 Feb.

表紙写真：積雪地帯の街路風景



これは雪国でしばしばみられる街路の一風景である。大雪の直後ではなく、青空となり、降雪も一休みといった、束の間のおんびりした光景ではある。道路脇の見上げるばかりの雪の壁に開削されたすき間は、各住宅から街路へでる通路である。こ

こから子供が飛び出してくることがあり、車の運転には特別の慎重さが要求される。もし、この状況下に1m程度の降雪がくればどのようなか想像に難くない。

雪害防止事業の根幹ともいべき道路の消除雪において、市街地では郊外の幹線道路（ここでは、道路外側に除かれた雪を置くことができる。）とは異なった悩みがあるのである。消雪パイプや流雪溝等、芸の細かい道路消除雪技術の開発、普及が望まれるところである。参考までに道路消雪施設の威力が発揮されている写真を左に掲載しておく。この写真の中央にみられる消雪パイプから噴水せしめ、路面の雪は筋になって消えている。

気象レーダーと電子計算機との結合により

洪水予報や大雨警報を出す話

第3研究部長 菅原正巳

1. 話の発端と当初のもくろみ

1.1 発端

九州の人吉に人工降雨研究のための気象レーダーがあったが、その研究終了に伴い昭和42年の春に当センターの所管に移ることになった。そこでプロセス・モデル研究の一環として、第3研究部で気象レーダーと電子計算機との結合の可能性を研究することになった。

1.2 技術的可能性

私はこの注文を出されたとき、人吉にあるレーダーと東京にある計算機とをどうやって結びつけるのか、無理なことを言うものだと思ったが、ビデオ・テープ・レコーダ（以下VTRと記す）を使えばレーダーの記録を東京に持ち帰れるであろう、そうすれば後は何とかなる、仕事はむしろ容易であると思いついた。

レーダーと電子計算機との結合は、国防上の目的

から他の国では盛んに行なわれて居るに違いないことであり、我国でも超音速旅客機が発着することになると空港の管理を計算機に任せることになるので、目下計算機メーカーがその開発に夢中であると言う話も聞いて居る。つまり、レーダーと電子計算機の結合はすでにでき上がったこととみてよからうと考えた。

1.3 最初の見通し

レーダーはサーチライトの光の代りに短波長の電波を使うもので、短いパルス電波を発射し、それが物に当たって反射して来るのを受信する。その物の遠さは、反射波の時間遅れから測られる。光は1秒間に 3×10^{10} cm 走り、物に当たって帰って来るのだから、往復になる。そこで反射波が帰って来るまでの時間が $10 \mu\text{sec}$ であれば、距離が1.5km と言うことになる。反射波は図-1のようなもので、パルスが繰り返し発射されるから、図-1のような電波がくり返し現れる。

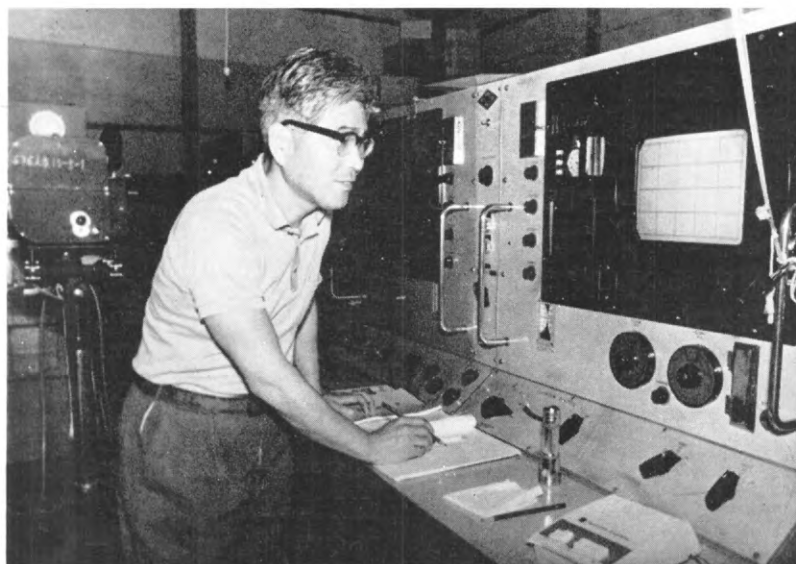
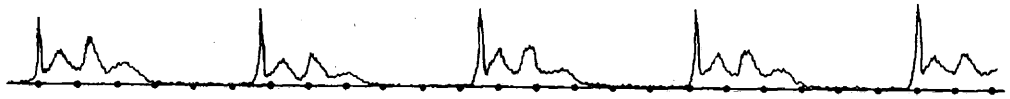
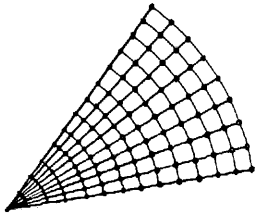


写真-1 昭和43年7月10日 GARP 観測中の筆者

この日の朝、時間雨量45mmという人吉測候所開設以来の豪雨があり、洪水を心配する報道記者が多数、レーダー観測所を訪れた。



図一 レーダー・エコー信号。下の黒点はサンプリング位置がずれて行くことを示す模式図



図二 極座標メッシュ

変換して行けば極座標メッシュの格子点上で、レーダー・エコーの強さが数値化される。

人吉のレーダーでエコーを数値化できるのは距離 60km までである。エコーはもっと遠くまでうつるが、遠い所のはノイズが多くなって計算には適しない。半径 60km の円の面積は約 1 万 km² で、これを仮りに間隔 2 km の直交メッシュで蔽うと、格子点の数は 2,500 である。これはコア・メモリー 16,000 語の我々の計算機 TOSBAC-3400 で取り扱うのに、丁度手頃な大きさである。

一方、貯水池の流域には 100km² の程度のもが多い。これを一辺 2 km のメッシュで蔽えば、流域には格子点の数が 25 程度含まれる訳で、流域雨量算出のためのサンプリングの大きさとして、ほぼ適当であろう。

この方法により任意の領域の面積雨量を算出できるばかりでなく、実測の地点雨量を、レーダーから出したその近傍の格子点雨量と比較することにより補正が可能である。面積雨量が出れば洪水予報は容易であるし、レーダーで測れる範囲内の格子点雨量は計算機中に入っているのだから、大雨警報を計算機に出させるのも容易である。

1.4 アナログ機構に対する優位性

人吉のレーダーにはアナログ演算機がついて居て、等雨量曲線をブラウン管上に出し、ある指定された地点の積算雨量を算出し、ある指定された領域の面積雨量およびその積算値を算出する。しかしアナログ計算機の性質として、計算は並列で進行するから、地点雨量の積分、流域面積雨量の算出、およびその積分にはそれぞれ個別に演算機が必要である。したがって幾つかの貯水池に対し、その流域面積雨量を出そうとすれば、流域の

数だけ演算機が必要になる。ましてアナログ計算機には事後の補正は不可能である。これらの点でデジタル計算機の利用ははるかに優っている。

1.5 経済的、行政的に見た実現性

以上、技術的に見てレーダーと電子計算機を結合する効果、可能性は十分であると見たが、それだけではこの結合は実現しない。それが実現するためには、経済性や、行政的意義がなければならぬまい。

人吉を中心とした半径 60km の円の中には 10 の貯水池がある。レーダーと計算機との結合により、洪水予報の精度が向上して、大雨警報が速かに出せ、ダムゲート操作に資する所があれば、1 億円の計算機をレーダーの所に設置しても、元がとれるのではなからうか。

2. 技術的な難しさ

2.1 思いつきから現実へ

書いてみると長くなったが、レーダーと計算機との結合の注文を受け、VTR を使えば何とかなるだろうと思いつくのになんか手間がかかっただけで、そう思いついてからはいわば一瞬に浮かび上がった青写真が以上のもくろみであった。

2.2 航空機用レーダーとの違い

我々の電子計算機は TOSBAC-3400 であるから、東芝中央研究所に居る親しい電子計算機屋に電話をして、航空機レーダーと電子計算機との連動を研究して居る人、VTR の専門家に加わって貰って、相談をした。

その結果判ったことは、同じレーダーと電子計算機との結合でも、雨が相手の場合と飛行機が相手の場合とでは目的が異なるために、技術的には相互にあまり参考にならないと言うことであった。飛行機の場合は、グランド・エコーの中から飛行機のエコーを動く点として探し出すこと、つまり微分により飛行機を探し出すことが目的で、ほしいのは点の座標である。一方、雨の方でほしいのは、積分値であり平面的に拡がるスカラー場である。

2.3 VTRについて

VTRについては回転ヘッドは使いにくいからおよしなさいと忠告された。私はVTRのことを何も知らなかったので、回転ヘッドと言われても何のことが判らず、使い難ければやめようと思った。後に、VTRを使わざるを得ないことになり、その使い難さに苦勞することになった。

2.4 レコーダに必要とされる高周波性能

先にもくろみの段階で、レーダー信号をA/D変換し、2km程度の間隔でサンプリングすることを考えた。私は防災センターのA/D変換器の能力を信じて居たので、そのようなサンプリングは容易だと思い込んで居た。この時まで、A/D変換器はその高周波性能を使い切れず、いわばあたり高性能を持って余して居たのである。

我々のA/D変換器は機械自体としては30kcのサンプリング能力を持つが計算機と連結して使うときは、信号の受授を必要とするため、最高18kcの能力を持って居る。時間間隔55 μ secごとのサンプリングである。ところが55 μ secのサンプリングはレーダー信号については、距離にして8kmおきのサンプリングになる。ここで始めてA/D変換器は能力の不足を示した(後にテレビ画像の数値化を試みたとき、完全に能力不足を示すことになった)。

しかしこの問題はレーダーのパルス発射周期と、A/D変換器のサンプリング周期との調節により逃げることができる。たとえばレーダーのパルス周期をA/Dの周期の(整数+ $\frac{1}{4}$)倍にとって置けば、サンプリングの位置はパルス発射ごとに $\frac{1}{4}$ ずつずれ、4回でもとに戻る。したがって4パルスかかって、2kmごとのサンプリングが完了する(図-1参照)。

現在の我々は、レーダーと計算機とを同一の時計の下に置けないが、A/D変換器のサイクルとレーダーのパルス周期とが自然にずれるのを利用すればよからうと考えた。

ところでレーダー信号を2kmおきにサンプリングすることは13.3 μ secごとにサンプルすることで、それは周波数帯域にしておよそ50kcまでを要求することになる。国産のデータ・レコーダにはこの要求に合うものはなかった(後にアメリカのカatalogを見ると、この条件に適するものが出て居る)。

私はこのような計算なしに莫然と高周波性能が

必要であるからVTRを使えばよいと思って居たが、VTRはメガサイクルの性能のもので、50kcのために、何もメガサイクルのVTRを使うこともあるまい、高性能の音声用テープ・レコーダで十分だろうと教えられた。人間の耳は2万サイクルまでを聞けるが、高音部の波形をよくするためにはもう少し高い所までの忠実度が要求されるらしく、テープ・レコーダの広告を見ると4万サイクルまでの性能がうたってあったりする。元来我々がほしいのはサンプリング点におけるレーダー信号の値ではなく、その点あたりの平均値、つまり積分的な値である。その点で高周波はなくてもよいのではなく、ない方がよい。レコーダを通すことにより、高周波性分が落ちることは、かえって利益であろうと内心期待した。

2.5 VTRを使って成功するまで

音声用テープ・レコーダの使用はうまく行かなかった。高周波でゲインが落ちるのは、積分的効果をあげる点でむしろプラスであると考えたが、現実には高周波でゲインの落ちるのを防ぐために、高周波部分にゲインのピークが作ってあって、それに邪魔されたのである。

そこでやむをえず、VTRを使うことになった。そうってみて、使わない方がよいと先に教えられた意味がよく判った。VTRでは高周波までを記録するためにヘッドとテープとの相対速度を上げる必要がある。テープ速度だけでは上げ切れないからヘッドを回転し、テレビの一面をテープ上の斜線上に記録するようになって居る。これをデータ・レコーダとして使えば、データはバラバラに切れてしまう。

一方、レーダーの時計、記録時のVTRの時計、再生時のVTRの時計、計算機の時計は全部独立であるし、テレビから切り離されたVTRは制御のないまま勝手に動くし、まして家庭用のVTRは安価なだけに精密には作られて居ないから、バラバラに切れたデータを再編成するのは容易なことではないと予想された。

このVTRはデータ記録用に作ったものでないから、どのようなことになっても責任は負えないと、メーカーからは釘をさされるし(ただし、いろいろと技術的に協力してくれた)、後になって、「NHKに納めて居るVTRなら狂わないように作ってあるが、よくこの家庭用で結果が出たものですね」と、メーカーの技術者から感心された。



図-3 レーダー・エコー信号に台形の波形をのせたもの

伸縮の多い紙に何色かの色刷りをするとき、それがずれないようにトンボとよばれる印が一緒に印刷される。レーダー信号にもこのトンボに当たるものを入れればよい。一種のテストパターンである。

そのためにレーダー信号の後半の空所に台形の電圧波形を置いた。この台形の上の辺がカリブレーション電圧を与え、前の斜めの辺（立ち上がり）が時計の役目をする。

この台形を利用して、バラバラになったデータを再編成し、レーダー・エコーを数値化することに成功した。それは計算機のプログラムの仕事であった。

我々は昭和42年9月、約1ヵ月間人吉で雨を待ったが、あいにくの異常渇水で、雨らしい雨はなく、帰京寸前、僅かに宮崎方面の雨を記録し得ただけであった。

図-4はこれを数値化した結果である。なお今回の実験では、方角の信号を記録するのに失敗したので、図-4では、数値化されたエコーを眺め、グランド・エコーの形から後で方角を書き入れた。この図で中央近くにあるのは山のエコー、南方にあるのが雨のエコーである。

以上の研究経過については、当センターの研究報告第1号を参照していただきたい。

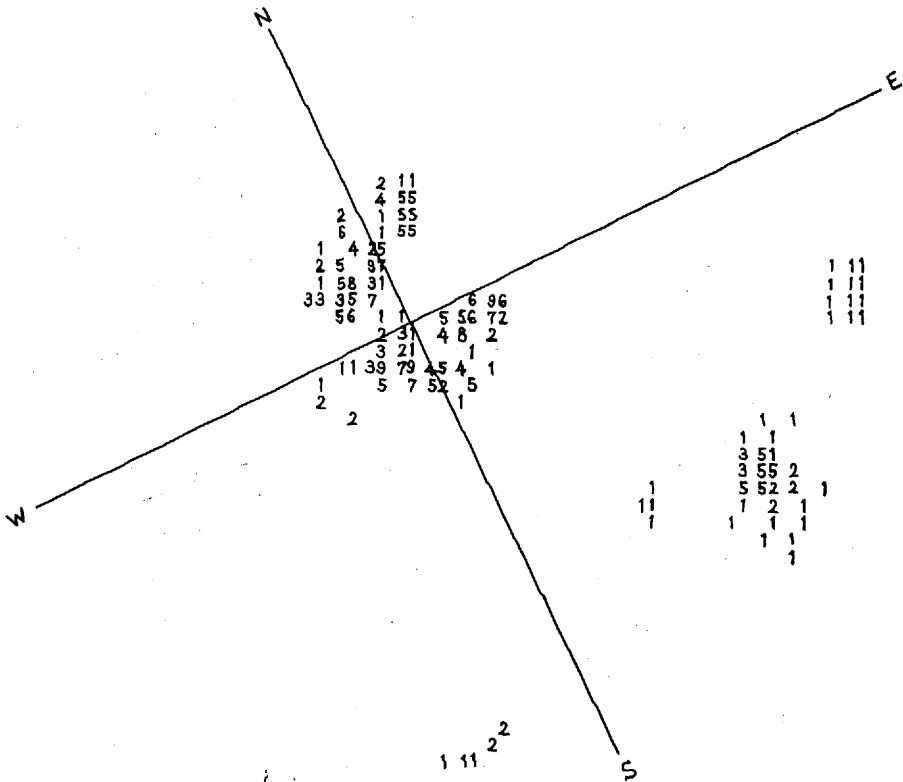


図-4 レーダー・エコーの濃さを数値化した結果、中央に近いのは山のエコー、南方のが雨のエコー

3. アナログ演算機を並用する方式

3.1 電子計算機を直結する不利

VTRを用いた実験に一応成功し、報告を書き上げてしまってから考え直してみると、レーダーの所に電子計算機を置くのが無理であると言う気になって来た。

第一、電子計算機は高価である。それを置くためには建物が要るしオペレータや保守員が要る。山の中に技術者を常駐させるのは難しかろう。高速の小型機を使いたいと思っても、国産機の中には役に立つものが見当たらない。一方、レーダー信号を計算機の所まで伝送しようと考え、周波数帯域が広いために、計算機が買えるほどの金が伝送のために掛かる。富士山レーダーのように既に東京にレーダー信号が伝送されて来て居る場合は別として、レーダー信号を計算機の所を持って来るのも難しい。

3.2 レーダー信号を伝送する必要があるか

レーダーやテレビはメガサイクル (10^6 c/s) 級の高周波現象である。一方洪水とか大雨は、1時間、短い場合でも10分~15分を単位にして考えればよい低周波現象で 10^{-3} c/s程度のものである。 10^{-3} c/sの低周波のために、 10^6 c/sの高周波そのままを伝送するのは、どこかに重大な無駄をして居るに違いない。レーダーの所に簡単なアナログ機構を置き、不要の高周波成分を落とし、マイクロ

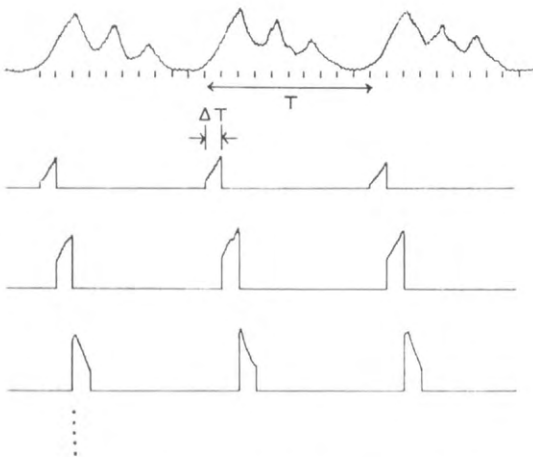


図-5 レーダー・エコー信号をゲート回路により分割する様子を示す模式図
Tはパルス間隔、 ΔT はゲート間隔

回線またはテレタイプで送れるほどの情報密度にして、計算機の所に送ることができるはずである。

3.3 アナログ機構の試作

この目的のために、レーダー信号をゲート回路によりパルス状波に分解し(図-5)、分解された波を積分器で積分し、その積分値を順次サンプリングして伝送する方式を考えた。

この場合、邪魔になるのはレーダー・アンテナが速く回転することである。レーダー・アンテナを速く回転させるのは、多分それが航空機探索用の兵器から出発したものであるからだろう。雨のようにゆっくり変化するものは、もっとゆっくりアンテナを回転しても十分であるし、ある方向に向けて停止し、少し廻してまた停止すると言うように段階的に動かしてもよい。

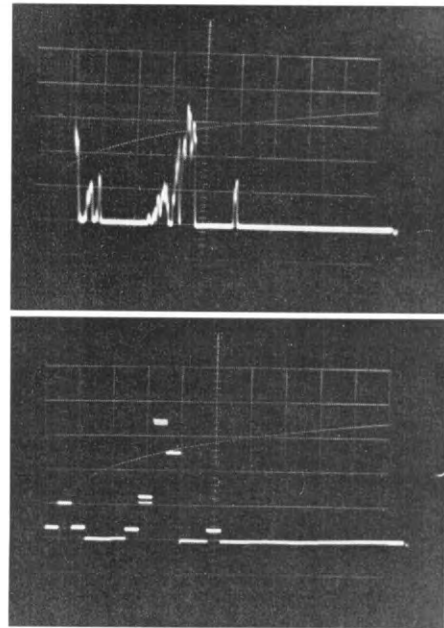


写真-2 シンクロスコープで見たレーダー信号(上)、およびそれをゲート回路と積分器で区間的に積分したものの(下)

しかし我々の人吉レーダーは1回転6秒でこれを改造する訳にも行かないので、一応これに合わせて、ゲート回路、積分回路、サンプリング回路から成る演算機構を試作し、本年(昭和43年)9月人吉に設置し、雨のエコーの観測を行なった。今回は出力がすでに低周波になって居るから、データ・レコーダで記録をとることができる。

データ・レコーダの記録は目下解析中であって、いずれ報告を出す予定である。

道路雪害の問題点

建設省土木研究所機械研究室長 田中康之*

1. 3種類の道路雪害

道路のうける雪害は、3種類のパターンに分けることができる。第1種は積雪による道路の閉鎖で、現在尚多雪地帯では多く見られる。第2種は雪による道路機能の低下で、現在除雪されている道路の殆んどはこの範囲に入る。第3種は道路が雪のために高速で走れないという雪害で、マクロ的には第2種の分類に近いが、将来高速道路が雪国に延びて来た時点で問題となるものである。

これら3種類の雪害の間にはステップがなく、一見連続して存在する様に見えるが、道路利用者には、これらの間には質的にステップがあると受けとられ、雪害が同種の範囲内にとどまっている限りはそれは災害とは受けとめられないが、同一道路で雪害の種類間の移動が生ずると、雪害が災害として認識されるようになる。次にその実例を示したい。

昭和43年1～2月に、新潟県の山間部はかなりの雪に見舞われて、小千谷市と長野市を結ぶ国鉄飯山線はかなりの長期間にわたって運休止、それとほぼ平行して走る国道117号線も雪に閉ざされた。その沿道近い或る部落では、長期の交通途絶に困窮して、ついに新潟県当局にSOSを発した。県では直ちに雪上車に不足した物資を積んで救援に向ったが、この時運ばれた物資の大半はプロパンガスボンベであった。かつての雪国では、住民はひと冬に使うマキを秋に貯えておいたもので、現にそれを実行している人々も今尚少なくない。雪国の住民が生活改善のために新しい利器を導入する場合、第一に考えることはそれらの雪に閉ざされた姿である。自動車を求める人は、車庫証明を思案する前に、冬期の運行や保管について心配し、カラーテレビを求める人は放送局との契約より先にアンテナの耐雪性を心配する。恐らくその部落の人々もマキのカマドをプロパンガスコンロに切替える時、ガスの補給について十分に検討した結果踏み切ったに違いない。それがこういう災害としての問題になったのは、何か特別の事情があったにせよ、道路に対して第2種の雪害パターンを期待したところ、現実には第1種の雪害が生

じたために、災害としてとり上げられるようになったと考えられる。

第2種と第3種の雪害の間にも全く同様な問題が考えられる。幸か不幸か、雪国にはまだ第3種の雪害の発生するような道路が完成していないこともあって、現実の問題にはなっていないが、高速道路という名前から一般の人が持つイメージと現実とがくい違いを見せた場合に、どんなトラブルが発生するかは、数年前開通直後の霧の名神高速道路で生じた多重追突事故を思い浮かべれば、十分想像されるところである。

こうした問題の発生する原因の1つには、道路管理者と道路利用者との間のコミュニケーションの不足が挙げられるが、根本的には道路利用者の期待する道路除雪と現実の間に差のあることが問題であろう。これら3つの型の雪害は、歴史的には第1種→第2種→第3種と進んだものであるが勿論第1種や第2種の型が完全になくなることは当分望めそうもなく、ここしばらくは共存して行くことであろう。以下それぞれの型の道路雪害について問題点を考えてみたい。

2. 雪による道路の閉鎖

わが国の道路除雪の歴史は戦後に始っている。戦前においても、試験的に農業用トラクタとして輸入されたブルドーザを用いて除雪した例もあるようであるが、実用的な道路除雪は、昭和20年末頃、占領軍の命令で、札幌市内の軍用道路の除雪を始めたのが最初とされている。当時はロクな機械もなく、人力と軍が使い残した飛行場用の除雪トラックを用いて作業したと報告されている。その後徐々に道路除雪態勢は強化され、特に北海道では比較的多くの道路が除雪されるようになり、一方除雪機械の製作も始められた。特に昭和31年に成立したいわゆる雪寒法（積雪寒冷特別地域における道路交通の確保に関する特別措置法）と昭和38年に発生した豪雪災害は道路除雪の進歩に大きい効果をもたらした。それ迄の道路除雪の主体は県とバス会社であったが、雪国の国道が改良されるに従って国がその維持管理を実施し始めて、道路除雪が一般化し、更に市町村も道路除雪に力を入れ始めるに及んで、道路除雪は住民の身近か

* 前雪害実験研究所第3研究室長

なものとなって来た。

中でも38豪雪は人々に道路雪害を認識させる重要な働きをした。38年以前の道路は大半が積雪による閉鎖を当然と考え、自動車交通への依存度も少なかったせいもあって、特に雪害といった印象を与えていなかった。現在も尚冬期交通不能となる道路延長はかなりあるが、その利用者はそれを災害として感ずる意識は少ないようである。然し前にのべた例のように一度除雪が行なわれると以降はそれが当然のこととして受けとられ、結局雪害をうける道路に昇格して行くわけである。

同じく昭和43年2月、新潟県Y村でも長期間の交通不能にネを上げた人々が県に援助を依頼した。雪の合間を見て自衛隊のヘリコプターが山村に飛び、物資輸送を行なった事が、テレビで報じられると、似た様な条件下にあった近くの部落から次々に非難の声が出た。この程度の雪に耐えられないような越冬準備ではない筈だ、政治的すぎる、売名ではないか等々。その当否は別として人々の中には、雪中の越冬に対する心構えが少しずつ変化していることは事実のようで、冬期自動車交通確保についての要望は高まる一方である。

雪害が他の災害と異なる点は、直接的なダメージが少ないことで、その損失はいわば質的なものであって量的に表示することが困難なために、投資効果がハッキリつかめないもどかしさがある。冬の間のことを考えるとプロパンガスに切り換えることがちゅうちょされる人々、3ヶ月以上にもわたる自動車交通の途絶に耐える越冬準備を必要とする人々は、一体雪害を受けているといえるのか、その損失の計量法は——といった科学技術以前の問題の研究の進展が望まれる所である。

こうした孤立部落の解消には、政治的には予算の問題も大きい、技術的には除雪機械ないしは工法の開発も考えられなければならない。孤立した部落を結ぶ長い延長の狭い多雪道路に対する有効な機械が見当らず、除雪コストが高いことも大きい理由であろう。現在多くの場合除雪ドーザがその目的のために使われているが、より小型で高速・高能率な機械の出現を期待したい。

このほか、市街地内の道路においても閉鎖道路と除雪道路のバランスがくずれがちで、住民の要望から人家の密集した狭い道路迄除雪する様な傾向になりつつある。除雪道路の増加は望ましい所であるが、効率的な面から考えた除雪道路の基準

を確立する必要があると思われる。

3. 最近の道路除雪

現在行なわれている道路除雪は、道路条件、積雪条件、配置機械、除雪機械などによって色々なバリエーションが見られ、これを画一的に論ずることは困難である。然し概して道路管理者が誰であるかによって類似の形態を示すようで、ここでは主として、最も完備し、利用者も多い、国が管理する道路の除雪について考えたい。国が本格的な除雪を行なうようになったのは、各地の国道整備が進んだ昭和39年頃からで、その後経験を重ねるに従ってトラブルも減り、国道に関しては安定した冬季交通が得られるようになって来ている。

現在国道除雪の難所といわれる所は、殆んどが道路幅5.5m以下で、カーブが多い様な場所で、特に人家が両側に軒をつらねていると致命的な悪条件となる。除雪というのは申すまでもなく道路面から雪を排除することであるが、多くの場合問題となるのは排除の方法ではなくて、排除した雪の置場をどこに求めるかという事である。特に人家の多い場合、雪置場として路側が使えないばかりか、逆に習慣的に屋根から降ろした雪を路上に置かれるので、その処置が問題となる。車がすれちがいうる幅として最小5.5mは必要であるから、狭い場所では雪処理をひとたび誤ると大渋滞が発生する。この様な条件の場所では、除雪機械は補助手段とし、消雪パイプや流雪溝にその処理をまかせる事が最も良い方法である。その他バイパスの造成によってその道路の交通量が減りトラブルを解消した例もある。

近年の交通量の急増により、新しく積った雪が除雪車により処理される以前に通行車両に踏まれて路面にこびりつき、圧雪とかアイスバーンとか呼ばれる硬い層を形成するようになった。圧雪層は丁度氷と雪の中間程度のもので時には厚さが30cm以上にも発達する。圧雪は気温の低い間は硬く表面を平らに維持できるので、交通に支障を及ぼさないが、気温上昇や日照に会うとたちまち強度が低下し、部分的に融解してワダチが深く生ずるようになって交通の障害となる。これを防ぐためには圧雪層の厚みが5cmどまりになるようにたえず表面を削り取る必要があるが、硬い圧雪層を有効に削り取る機械が得られていない。一方圧雪層についてもまだ殆んど研究されておらず従ってその発生メカニズムや物理的性質もよく知ら

れていない。為にその発生防止法は勿論、有効な処置方法も見出されていない。幸い昭和43年度から特別研究促進調整費による研究が計画されているので、その成果が期待される。

圧雪と並んで交通障害の横綱となっているのは吹雪による吹きだまりである。これは、殆んどの場合路上又は路側にある構造物が原因で発生しているが、鉄道などに比べると、人家、建造物、ガードレール等多くの構造物を持つ道路はこの点不利であり、その対策に苦慮している。特に激しい吹雪の中では運転者が危険感から車を止めそれが原因で吹きだまりを作り障害になるといった例も見られ、交通規制も考慮する必要がある。道路構造的に吹きだまり対策を考えると、スノーフェンスの設置、ガードレールのガードロープ化、道路地盤全体を高める等の対策が考えられるが、そうした対策についての研究はまだ不十分である。

なだれに関しては幸いまだ大きい事故の発生を聞かないが、山間道路の整備と共に問題となって来ている。発生したなだれから道路を守るスノーセット等については以前から人工なだれ実験などを通じてデータが得られているが、発生防止や発生予知の面ではまだ研究途上にある。これらに関しては古い経験と実績をもつ国鉄のデータが有効に利用できる分野であるので、その吸収を計ると共に、特に発生予知の研究が必要であろう。

4. 高速道路の除雪

雪国の人々の期待を集めた高速道路の建設計画が進められている。然し多雪地帯を通る高速道路に於て、どんな雪害が待ちうけているかは実の所明確には分っていない。然しそれらを現在の道路除雪の経験から類推すると次のようになる。

先ず通過車両に課すべき条件で、車速をどう考えるかという問題である。これは更に分けるとタイヤと視距の問題になる。

多雪地帯に於ては、恐らく現在の技術ではあの降雪強度に対して路面を出すという完全除雪は望めない。一時的な圧雪の発生はまぬがれず、従ってスノータイヤやタイヤチェーンの必要性は打消せない。それらを使用した場合の高速走行時の操向性や制動能力についてはまだ十分な解析がなされておらず、どの程度の速度迄許容しうるかの解答を得ることは難しい。気温・密度などによって微妙に変化する圧雪層の表層の物理的性質が問題を一層複雑にする。現在の所薬剤を散布して表層

を軟化させ良い走行性を得る方法が考えられているが、誤まると薬剤によって軟化した雪が逆に大きなブレーキとなって走行性を悪くする事も考えられ、又経済的な面での制約も大きいであろう。

視程に関しても未知の問題が多い。吹雪の下での視距低下は、昼間と夜間で多少条件が異なる。昼間に発生する視距の低下は、雪の中のシロサギと同じ原理に基づくもので、フロントガラスを通して見るものは白一色、道路と路側の雪の山が判別できずに雪の中につつまんだり路肩に寄りすぎて車輪を踏み外したりする例は案外多い。その対策としてはスノーポール間隔の短縮、標識の完備以外に特に有効なものはなく、運転者が自覚して速度を下げる以外仕方がない。これに対しては今後オーバブリッジ式のスノーポールの研究や自動車ワイパーの改良などが懸案事項となるであろう。夜間の視距低下は、自動車の前照灯の不備によることが多い。フォグランプは文字通り霧用として作られていて、光の色(波長)、強さ、取付位置等に問題があると見られ、その雪用としての改良が望まれる。一方道路側の対策としては道路照明の拡充やスノーポールの反射性能の向上などが考えられる。現在こうした問題に共通した悩みは、視距の測定方法で吹雪の中の視距を計測できる基準が早急に確立される必要がある。

高速道路を除雪するに当って生ずる問題は、作業する車両が一般交通を妨げないような高速性をもつことで、スノープラウをつけたトラックも、ロータリー除雪車も一応20km/h以上の速度で作業しうる機械が作られているが、高速道路用としては、50km/h以上の作業速度が望ましいと考えられる。圧雪処理機械についても同様であるが、これに関しては、まだ高速化の研究は計画にも乗せられていない。何れの場合でも高速化に伴い大型化することが予想されるが、こうした大型で高価な機械の開発は誰がするのも問題であろう。

高速道路の除雪費用は、降雪量や質的な問題もあるが多い所では1シーズンにkm当り100万円を越すことも予想される。他方通行料をkm当り10円強とすると、通行料で除雪費をまかなうことすら困難な所も生ずるであろう。この様な条件下で、十分な高速性を維持することも困難と予想される高速道路を確保する必要性の問題、これは第1種として2の所で述べた道路閉鎖の問題に帰すことになるが、検討を要する所ではなからうか。

屋上積雪について

雪害実験研究所長 斎藤博英



写真一 雪おろし

1. はじめに

屋上積雪の問題点はいろいろある。その根本原因は雪の重さによるのであるが、雪はすべったり、変形したり、融けたりするので、問題が複雑になるのである。この対策には、その雪の性質を利用するように考えることが大切である。それには、いろいろの条件で現われる雪の行動を、よく調べることが必要である。

ここでは、屋上の雪が見せてくれるいろいろの状況を、写真で概観的に眺めてみよう。

2. 雪おろし

屋上の積雪は、1回に積るときは、1mの深さで1m²当り大体150~170kgの重さであるが、次の降雪までに、半分以下の厚さに締ってしまう。それで、次に降って1mに達する頃には1m²当り200~250kgにもなる。こうして25坪の家でも、屋根の上に20トンを超す荷重が載ると、戸や窓の開閉が難かしくなり、家の危険を感じるようになるので、雪おろしをしなければならない。事実、そのまま放置すると、次の降雪で、家が潰れるかも知れない。十日町市では、市で“雪おろし警報”を出して、雪で潰れる家のないよう、気を配っている。

屋根の雪おろしは、実は大変な労力を必要とする。20トンの雪をスコップで投げおろすのは、およそ、1人1日の分量である。勿論、屋根の勾配により、足もとの不安定さが異なるし、屋根幅の広さや、下の地物の条件によって異なるわけである。この作業は、2回目には雪を遠くに投げねばならなかったり、下の雪が高くなるので、それを片付けたりで、初回の2倍の労力が必要になる。こうして、3回目には初回の3倍半から4倍、4回目には同じく6倍、というように、加速度的に労力が増加する。

屋根の雪おろしは、1冬期間に何回必要なのかというと、それは家の造り、古さなどによって異なるばかりでなく、住む人の性質にもよる。何故なら、豪雪地帯では、1夜の中に1mも積もることがあるので、家の耐荷能力に相当の余裕をみて

おかないと、眠っている中に潰れるかも知れないから、神経質の人や、他人の手を必要とする家では、早目に行なわねばならない。

大体の標準を求めると、積雪1mないし1.5mくらいまでの所で1回、積雪2mの地方では2回という程度であるが、積雪3mを越す地方では4~5回に増える。多雪地では、1回に降る雪量も多くなるので、余裕を多くみておかねばならないし、回数が増すと、労力が大きくなるので、いざ必要となった時では、間に合わなくなるので、回数が増加することになる。

雪が自然に落ちるように、屋根勾配を急にすることが、鉄板葺きになって考えられた。北海道では急勾配のトタン屋根が見られるが、北陸地方では殆んど見られない。屋根からの落雪は軒下に積もる。その高さは屋根幅の広さに関係するが、もし、屋根幅を5mとすると、2mの積雪で軒先の雪の高さは5mに達し、3mの積雪では6mを越えることになる。このため、雪の多い地方では自然落方式だけでは解決しない。

個人の家の場合は上述のようであるが、学校、集会所など、大きな建物の雪おろしは大変な行事になる。大雪の際には、各人が自分の家を守らねばならないので、除雪の要員を集め難い。このため、除雪に来てくれる人を予め決めて、約束しておかなければならないし、また、相当の余裕を見て、除雪作業をしておかねばならない。近頃でも、学校の体育館が大雪で潰れたニュースを聞く。

3. まきだれ

湿った雪は粘着力が強いので、電線着雪や冠雪の被害を生ずるが、屋根の雪も、湿性の場合には、柔らかく変形しやすいが、切断し難いので、写真一2のように、軒先に巻きつくように垂れ下る。

写真一2(a)は曲率半径が大きいので、雨樋の位置が適当であれば、破損しないが、(b)のようになると、雨樋がこわれる。この違いは、雪のすべり速度と柔らかさの関係による。

少し気温が低いと(c)のように、曲率の小さい、平面に近い形で、軒先に伸び出す。これも相当伸

びてから、軒先のところで折れ、そこを中心にして廻転すると、窓を打ち破ったりすることがある。このような雪は“もち雪”と呼ばれ、屏や門柱

のような狭い面積にも、容易に深く積もり、それがどちらかへ傾き始めると、どんどん曲ってたれ下る。写真-3は門柱上の例である。



写真-2(a) まきだれ

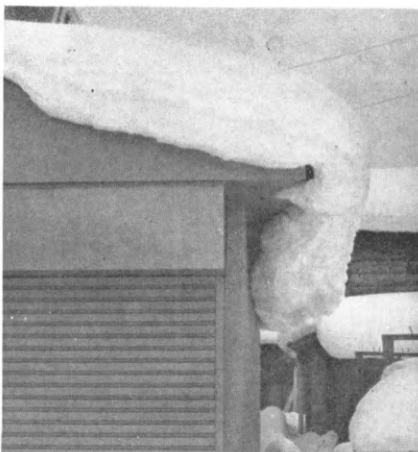


写真-2(b) まきだれ



写真-2(c) まきだれにならない例

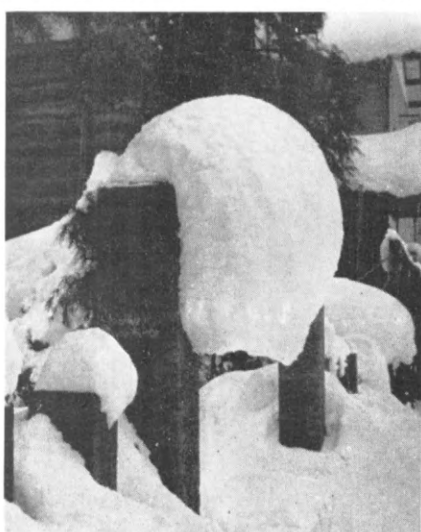


写真-3 門柱の雪

で、軒の上に氷の堤ができる。そして、室内から天井裏への熱の補給が続く限り、屋上の融雪は続く。融雪水は、軒先上の水堤で止められるので水溜りができる。雪の下のこの水溜りが発達すると、“すがもり”として、家の中へ入って来る。



写真-4 つらら

4. つらら

平均気温が -2°C 以下になると、つららが発達する。長岡あたりでは、つららの発達するような条件は、そう何日も続かないので、大きなつららは見られない。しかし、写真-4でわかるように、つららを支えている雪が曲ると、つららは窓の方へ向って斜めになるので、うっかりしていると、窓ガラスの破損を招くことになる。

条件の悪い日が続くと、つららはどんどん発達し、数日の中に、直径 10cm 以上になり、何本も連結し、雄大なものに生長する。こうなると、窓はおろか、壁も安全でない。

平均気温が -4°C 以下になると、屋上で融けた雪水が軒の上で凍るので、つららが成長しない

つららの生長や“すがもり”を防ぐには、北海道では、天井の断熱能力を大きくし、屋根裏へ外気を入れて、屋根裏の温度を下げる方法を行なっている例もある。また、軒先に袋を作り、室内の暖かい空気を、軒先を通してから屋根裏へ出す案も実施された例がある。いづれも難点があるので、近頃は、軒先の鉄板の裏に電熱装置を施して、融かし落とす方法が試みられている。

5. 急傾斜の屋根

傾斜を急にすると、雪はすべり落ちて、深く積らないし、屋根を圧する力は小さくなる。建築基準法施行令には、荷重は積雪1mにつき2kg/m²以上と見積もり、積雪深はその地方の過去の最大値を採用することになっている。ただし、雪おろしを行なう習慣のある地方では、積雪深は1mでおさえてよいことになっている。屋根の勾配30°以上の場合には、次表の補正係数を掛けることになっている。

積雪荷重に掛ける係数

勾配 係数	30° < θ ≤ 40°	40° < θ ≤ 50°	50° < θ ≤ 60°	60° < θ
	0.75	0.5	0.25	0



写真5(a) 急傾斜屋根

写真5(a)は45°勾配のトタン屋根の積雪であり、そろそろすべり落ちようとしているところ。

写真5(b)は60°勾配のトタン屋根でも、このように雪が相当量積もることがあるのを示す。

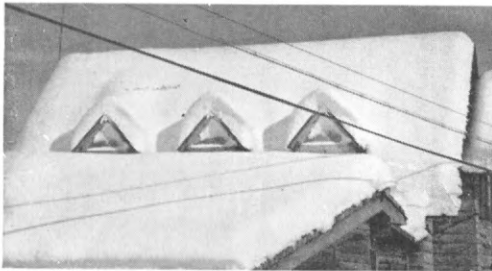


写真5(b) 急傾斜屋根

屋根面から飛び出した窓は、積雪のすべり落ちるのを邪魔している。

このような雪は、何時落ちるかわからないので、下を歩くことは危険であり、行動を妨げる。

6. 緩傾斜の屋根

写真6の建物は車庫で、屋根の勾配は17.5°である。(a)は雪が張力により次第に伸びて、軒先では“まきだれ”ができています。しかし、抗張力の限界に達すると、どこかに切れ目ができてすべり始める。(b)はすべって半分落ちたところである。

ただし、この雪は同じものではない。

写真7(a)は傾斜12°の屋根であり、雪はすべっているが、下部に雪止めがついているので落ちない。近頃のカラートタンでは、傾斜が緩くても、雪はよくすべる。写真7(b)は、下の屋根はカラートタンで、雪止めがついている。雪はすべっているため、最上部で右と左へ分れて動いている。上の屋根は傾斜が少し急(20°)であるが、雪はすべっていない。これは瓦屋根である。



写真6(a)



写真6(b)



写真7(a)

孤立した家では、15°以上の傾斜にして、下から熱して、屋根と接触している部分の雪を融かしさえすれば雪はすべり落ちる。1.5m程度までの積雪地帯であれば、こういう方法で大体しのげる筈である。このようにすると、屋根は急にしないでもよく、自分の好きな時に落とせるのがよい。

市内の家の混んでいる所では、すべり落とす方



写真—7(b)

法は不可能である。写真—8は長岡の市内の1風景である。こういう状態では、もう少し積もると大変なことになる。

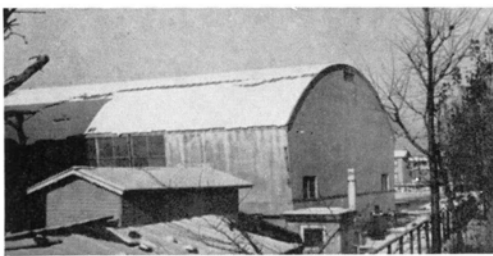


写真—8

前にある“がん木”の上の雪は一応道路へ下ろしたところである。こういう所では、屋根から道路へ下ろさねばならず、道路へ下ろした雪は、何処か邪魔にならない所へ運ぶか、または融かして流してしまわなければならない。この第2段の作業が大変である。

7. 大きな建物の屋根雪

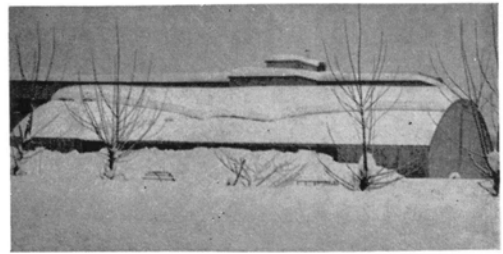
学校の体育館などのような大きな建物は、曲線形の断面を持つ屋根が多い。このような屋根では下部は傾斜が大きいが、頂上部では傾斜が緩くなり、中央は水平になっていることが多い。



写真—9(a)

写真—9の(a)(b)はその例であり、下部の急傾斜の部分は比較的早く落下するが、頂上部には雪が残る。この雪は何時落ちるかわからないので、軒下の雪を片付ける作業を安心して行なえない。また、生徒の死傷の例がある。

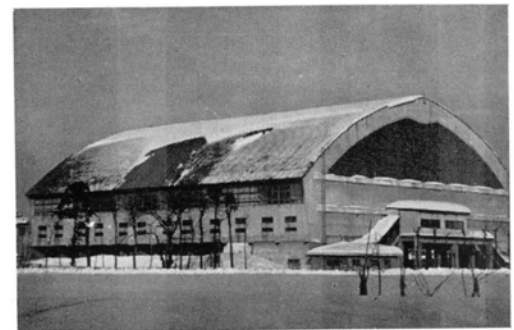
平面屋根の場合、丸屋根と異なり、頂上まで大体うまく落ちる。写真—9(c)はその例である。傾斜は緩いが、このような僅かな雪でもすべる。



写真—9(b)



写真—9(c)



写真—10(a)

丸屋根の頂上部を水平にしないで、 20° くらいの傾斜を頂上まで持たせると、頂上部に雪が残る欠点を除くことができる。しかし、それでも上部の傾斜が緩いとその部分に雪が残ることがある。写真—10の(a)(b)はその例である。両者では幾分の違いがあるが、いずれも、あまり深い積雪は残らない。頂上部の勾配をもう少し急にすると、もっと落ちやすくなるが、形の美しさと経費の問題も存在する。写真—10(c)は平面屋根で、勾配が 27° の例である。このくらい勾配があれば、長岡あたりでは、大体自然に落ちる。しかし、 $2\sim 3\text{cm}$ の薄い積雪では、極めてゆっくりすべるので、その後気温が下ると、屋根面に凍りつく。その上に雪が降ると、深い積雪を見ることがある。

写真—10(a)の体育館は2階建てになっており、地階は土間である。運動具の保管や、雨天や積雪期の体操くらいはできる。窓が高いため、積雪が相当深くなっても、光の不足は生じない。多雪地



写真—10 (b)

方の体育館では、このような配慮は非常に有効である。

8. むすび

屋上の積雪はいろいろの形をとる。雪国に住む人でも、対策を考えるとときに、必ずしも十分な想像はできない。ここでは、その大要を写真で示したいと思ったが、雪の少ない地方に住む人々に理解して貰うには、この紙面ではとても無理であることを知った。

最近“まちなだれ”という言葉が新造された。それは、屋根から落ちる雪が人を殺したり、隣の家の窓や屋根を破って浸入したりする現象が、毎冬、何回か新聞に報じられるためである。

“まちなだれ”が生じないためには、屋上の雪を動かないように支えるか、または融かして水にして流すかすればよい。第1の方法では“雪おろし”が必要であり、第2の方法では経費の問題がある。第3の方法としては、落雪が“なだれ”の猛威をふるわないように、少しずつ人為的に落とす方法が考えられる。

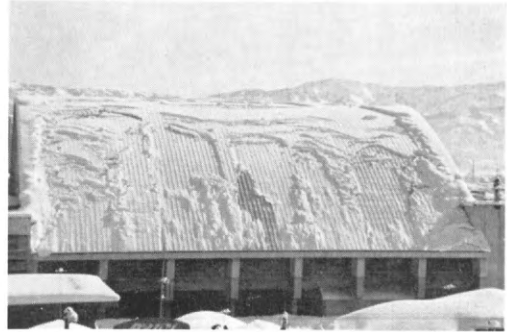
写真—11の例は、かなり急勾配で、雪の大部分は降りつつある間に、少しずつ落ちる場合である。1降雪が終わった時は、このように複雑な形でその経過が残っている。この残った雪が煩わしい。

屋根の電熱融雪装置は、3年ばかり前から関心と呼んでいる。現在の所、降雪が積らないで融けるように設計すると、積雪にしてから下面を融かしてすべり落とすのと、2種類が考えられている。しかし、第3の半融雪による無被害落下または半融雪による軽量化の方法こそ実用への道であろう。

地下水が豊富で、排水の便がよい所では、地下水を棟から流して、降雪を融かし流して、積らさない方式もある。



写真—10(c)



写真—11

写真—12は長岡市内の消雪道路と消雪屋根の見える風景である。他の屋根と路の外には積雪があるが、右側の屋根と道路には雪がまったくない。

山村の農家では冬期間出かせぎに出る。都市近郊の農家は都市に冬の仕事を見つける。こうして屋根の雪おろしに必要な労力は年々少なくなる。都市の屋根雪は路上におろされると交通障害の原因となる。また、都市内の家が建て込むにつれ“まちなだれ”の問題も頭が痛い。これらの問題に対して、屋根雪処理の科学技術的対策の要望は、年毎に切実になって来つつある。



写真—12

NATIONAL RESEARCH CENTER FOR DISASTER PREVENTION
No. 1, GINZAHIGASHI 6-CHOME, CHUO-KU, TOKYO

防 災 科 学 技 術 No.7 1969 Feb.

昭 和 44 年 2 月 15 日 印 刷

昭 和 44 年 2 月 20 日 発 行

編 集 兼 東 京 都 中 央 区 銀 座 東 6 の 1

発 行 人 国 立 防 災 科 学 技 術 セ ン タ ー

Tel. 03 (541) 4721

印 刷 奥 村 印 刷 株 式 会 社
