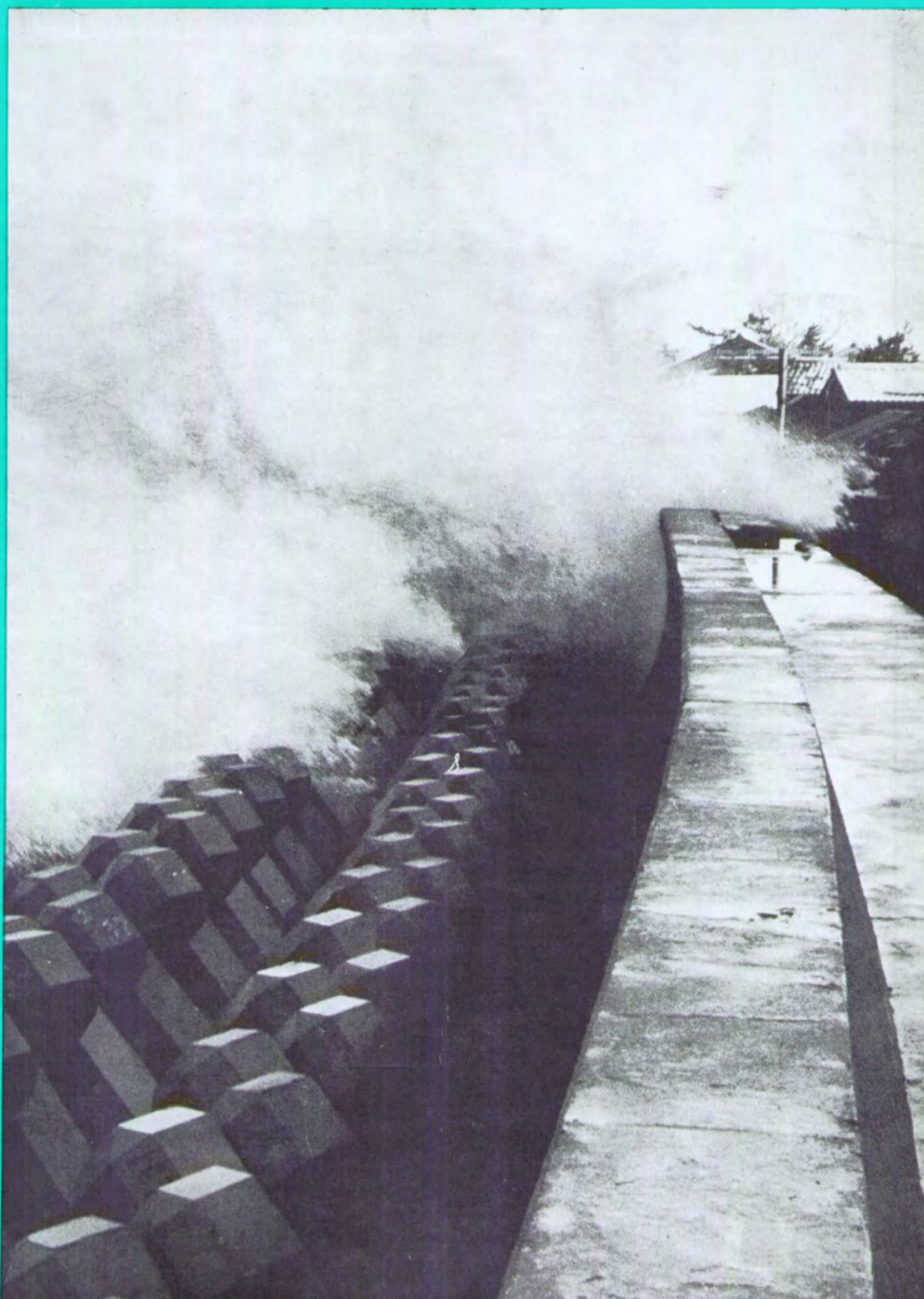


防災科学技術

NO. 13

1970
May.

科学技術庁 国立防災科学技術センター



も く じ

米国の気象調節	小元 敬男	1
氷 晶	八木 鶴平	6
古文書からみた富山湾の海岸浸食(その2)	滝内 俊郎	8
松代ボーリングその後と水の圧入実験	高橋 博	10
おもなニュース		5



写 真 説 明

1月31日静岡付近に上陸した台湾坊主は、中心気圧 974 mb、半径 1,400 km 以内は風速 15~30 m と小型台風なみの勢力をもって関東—東北南部—北海道南部を通りぬけた。このため関東、東北各地で突風や浸水や土砂くずれなどの被害があった。新潟県から富山県にかけての日本海岸でも強風による高潮で護岸がくずれ、海水が浸入し、住宅その他多くの建物が倒壊した。表紙の写真は富山県滑川市高月海岸をおそう高波。左の写真は新潟県境に近い宮崎漁港に打寄せる高波の状況である。(富山県提供)

米国の気象調節

流動研究官 小元敬男

日本には、天気や気候の人工変換の研究というと、非常に遠い先のことを考えたものであると思っている人が多いようである。確かに、問題の中には、21世紀を待たなければ実現が難しい夢のようなものもある。だがそういった問題ばかりではない。米国やソ連は、目下、莫大な金を投じて、気象調節研究の推進に力を入れているのである。

すでに、ソ連は積乱雲の人工制御によってひょう害を著しく軽減することに成功した。米国でもハリケーンに大量の沃化銀の種まきを行なって、中心付近の最大風速を弱めることに成功したという明るいニュースがある。

近年、大気汚染による気候変換が次第に世界的スケールになりつつあるという。最近の異常気象をこのせいにする気象学者すら出てきた。SSTが成層圏を飛ぶ日も近いと伝えられているが、便利になるといって手放しで喜んでばかりもいられない。これが空の交通機関の仲間入りをすれば、成層圏内に排出される大量の排気ガスのため、世界の気候に著しい変化が起こる危険性があると警告している科学者も少なくない。だが、一体どんな変化が起こるのだろうか。今のところ、全く予想がついていない。心配する必要はないという人もいるが、それを信用してよいものだろうか。気候の人工変換の研究は、こういった疑問に解答を与えてくれるものとして、大いに期待されている。

米国では、気象調節に対する関心が極めて高い。決して基礎研究が疎かにされているわけではないのだが、「気象調節研究が優先しすぎる」と不満をもち研究者がいる程である。

注目されている研究

米国で現在、気象調節の諸問題の中で最も注目されているのは、何ととっても降ひょう抑制であ

ろう。ソ連の成功（実用化）が刺激になっていることはほぼ疑いない。

気象調節関係の予算の半分以上は降水量の人工増加の研究に使われている。日本では異常乾燥による水不足の対策として、この問題が取り上げられているようだが、米国では災害防止ではなく、むしろ乾燥地域の開発といった環境改良を目的として、研究を進めている。



写真-1 人工降雪実験用の発煙炉

米国はハリケーン制御にもかなり力を入れている。これについては、後に少し詳しく述べることにする。

気候の人工変換の研究は今のところ、まだ理論的研究だけに重点がおかれている。米国のこの分野の研究では、日本からの流出頭脳が大いに活躍している。人工変換による気候の改良と10日ぐらい先までの天気予報の可能性を求めてスタートした数値シミュレーションによる大循環の研究は、現在、大気汚染による気候変換を調べるためにも最も有力な手段と見做されている。

今の気象調節研究の主流は、雲物理学と数値シミュレーションを主な手段とする力学的研究である。米国では、これ等の分野の基礎研究はすべて気象調節の進歩に欠くことの出来ない重要なもの

であるという認識が、広く関係者の間にゆきわたっている。氷晶核の観測や人工発生、数値計算上の基礎的問題の解決といった研究にも気象調節の予算が配分されている事実は、これを裏書きするものである。

降ひょう抑制

米国が Seeding* による降ひょう抑制の実験を始めたのは早く、1948年であった。この年以來、毎年のように国内のどこかで実験をやってきたのに、ソ連に先を越されてしまう結果になってしまった。ひょうの研究者の多くは米国での実用化はかなり先のことと見ている。ひょうや降ひょう系 (hail storm) の研究で世界の気象界をリードしている米国がなぜ、抑制の面でこのように遅れを取ったのか。理由は幾つか考えられる。

米国では個人や民間企業の利益を重んじる。従って、国家が重要とみなせば、一部の国民の不満を押えてでも野外実験が可能な国とは、大分事情が異なる。昨年は計画していたロケットによる種まきが出来なくなったが、その遠因はここにある。

人件費が高いのも悩みの種となっている。研究上必要だからとか将来災害の防止に役立つとかいっても、ただ同様に多人数を動員することは米国ではまず不可能である。高射砲を何十台も据えつけてといったような野外実験はなかなか出来ない。

大平原には、長さ数百キロにもわたって大被害を与えるような大きな降ひょう系が発生する。この種の系の制御はまだ大分先のことになる。ロッキー山脈の麓に近い所では、小さなひょう雲も発生するが、降ひょう抑制を盛んにやっている。ソ連やケニアのひょう害多発地域に較べると、その回数はずっと少ない。

基礎研究が重んじられていることも見逃せない。ひょうの形成やひょう雲の構造が良く分かっていない状態で抑制に進むということに対し、抵抗する向きが強い。研究者として良心的には違いないが、もっと積極的に進めていくべきであるとの声が高まっている。ソ連の方法は、ひょう雲中のひょうの芽を人工的に増やしてやればひょうの数が増え、平均して径が小さくなるという考えに基づいている。大体においてこの通りにいくよう

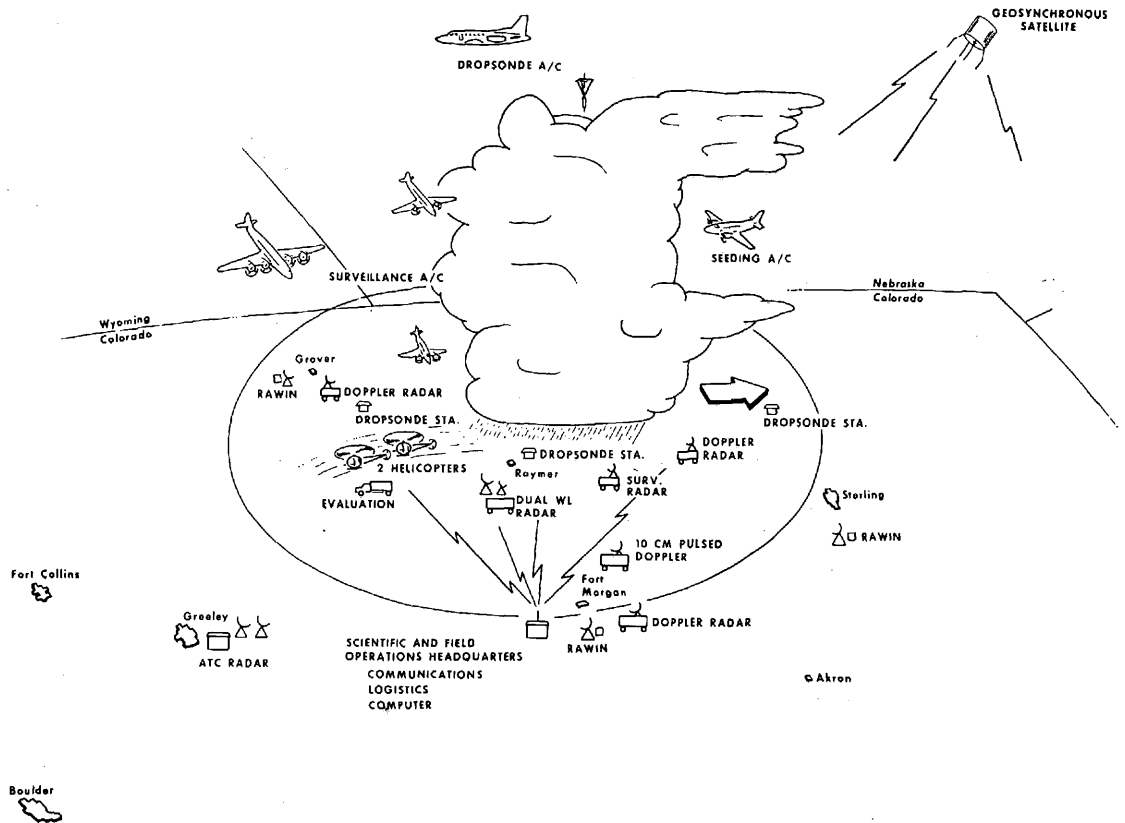


図-1 NECHE の観測プラン

* Seeding: 雲の種まき、降水の核になる物質を雲に散布すること。

だが、細かい点になると、あいまいな所が沢山でて来る。抑制の目標に向って最短距離をまい進すべきか、あるいはもっとしっかり基礎固めをすべきかについて、米国内でもまだ意見が統一されていないようである。

昨年、NSF は、1972年から始まる5ヶ年計画の降ひょう実験プロジェクト NECH (Northeast Colorado Hail Experiment) に約1,350万ドル(50億円弱)を用意することを決めた。観測には(図1)既成のレーダーや航空機を動員するので、支出の殆んどは運営費である。ロケットによる Seeding もやることになっているが、計画案を読んだところでは、抑制の基礎作りの色彩が濃い。

ハリケーンのコントロール

ハリケーン制御の野外実験はよほど慎重にやらなければならない。実験の対象となったハリケーンが上陸し、陸上に被害が発生すると、大変やっかいな問題が起こる。現在の実験は影響が間もなく消えるといった程度のものであるが、それでも実験後そのハリケーンが上陸しては困る。そうかといって、陸上から余り離れた所でやると、オペレーションが難しくなる。結局、実験が出来る海域は限られてしまうから、その中にハリケーンが進入する確率は小さくなってしまふ。過去に実験が出来たハリケーンは1965年の Beulah, 昨年の Debbie の二つにすぎない。

ハリケーン制御の方法は幾つも考えられているが、本格的な野外実験に採用されたものは、ハリケーンの眼を取り巻く雲の壁(図-2)に大量の沃

化銀を散布して、中心付近の最大風速を弱めようという方法だけである。昨年の実験については共同で Project Stormfury をやっている 商務省と海軍省の長官が合同記者会見の席上、将来に希望が持てる成果を得たと発表した。8月18日と20日の両日、5回ずつ大量の沃化銀の Seeding を行なったところ*、一時的ではあるが、中心付近の風が弱まったというのである。プロジェクトの科学者達の発言はやや控え目であったようだが、実

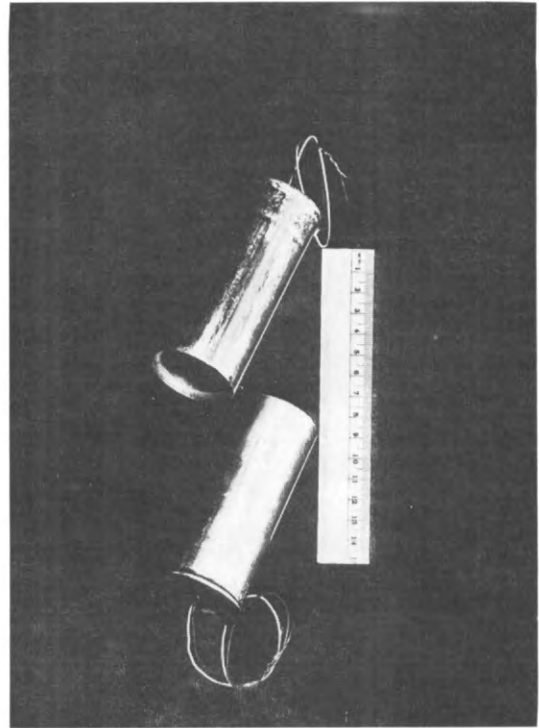


写真-2 Project Stormfury 使用の Cannister

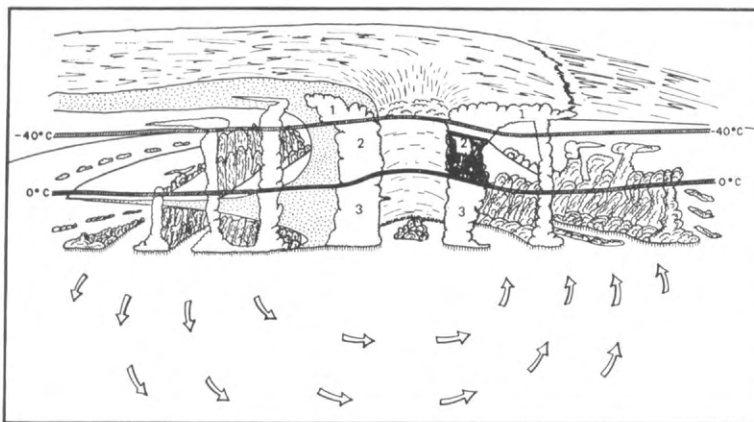


図-2 ハリケーンの構造黒くぬりつぶした所が AgI 微粒子の散布場所

験は一応成功したとみてよい。

この野外実験には、ESSA(観測機4);空軍(観測機3);海軍(観測と Seeding に6機)と所属も発進基地も異なる十数機が動員された。入れ替わり立ち替わり飛びたつわけであるが基地を離れている航空機は最も多い時で10機にもものぼったそうである。Seeding は海面上 33,000 フィート(約1万米)で行なわれるが、そ

* Cannister と呼ばれる容器に沃化銀と燃焼剤の混合物を充填しておき、目標地点で点火して、燃焼する混合物を落下させる。

の効果やハリケーンの構造を調べるために、海面上 1,000 ft, 6,000 ft, 10,000 ft, 20,000 ft, 25,000 ft, 40,000 ft, の各高度でも観測を行なう。昨年の実験では、このように計画されたオペレーションがほぼ予定通りに行なわれたというから、集まった資料はぼう大な量になるだろう。これがまとめられれば、ハリケーンに対する理解が一層深まることは間違いない。1969年は Project Stormfury にとって記念すべき年になるであろう。

野外実験施設

筆者は昨夏、米国の降ひょう抑制研究のための野外実験場を視察する機会を得たが、正直なところ、我が国と米国の差は非常に大きいという印象を受けた。

最初に訪れた Rapid City の南ダコタ州立鉱山工業学校の大気科学研究所を例にとってみよう。ここは研究所といっても、スタッフの数からいうと、大学の気象教室の中では中ぐらいの所である。昨夏は北ダコタ、南ダコタ (2)、ネブラスカの3州に計4ヶ所の野外実験場を持っていた。筆者は全部を廻って見たのであるが、それぞれ、北関東の3県を合わせた程の面積で、100~180ヶ所に降ひょう記録台と雨量計のセットが配置されていた。Seeding 用と観測用に計8機を民間の気象会社からチャーターしていたが、他にもワイオミング州立大学の気象研究グループが自家用機持参で参加していた。

Rapid City を中心とするプロジェクトの実験本部には、6台のレーダーが備えつけられていた。この内3台は、10 cm の波長と 3 cm 波長用にそれぞれアンテナを2本ずつ持っており、アンテナの数だけで9台である。受信機は大型トレーラーにあり、これも日本ではちょっと想像もつかないほど大きなものである。各アンテナに対し、監視用と連続写真記録用の二つの受信機がついている。それにも拘わらずトレーラーの中はそう狭苦しくない。レーダーの1部はプロジェクトの航空機の追跡用である。これは指令を出したり、航路を定めて後で解析するのに役立つ。コンピューターに直結しており、刻々と量的観測が出来るようになっている。

他の3つの野外実験場のいずれにも、2波長のレーダーと観測機が備えつけられていた。当セン

ターの降ひょう抑制プロジェクトではやっと 3 cm のレーダーがついたところだというのに、何と差の大きいことか。

コロラド州北東部の降ひょう研究プロジェクトにも行って見たが、ここでもレーダー数台でひょう雲を追跡していた。ハリケーン制御のプロジェクトが十数機を使って観測を行なっていることについては既に述べた。Boulder にある大気科学研究所 (National Center for Atmospheric Research) は大学の共用研究施設を提供する機関であるが、その中には観測機3機が含まれている。いずれも中型機である。特に Buffalo と呼ばれている観測機 (写真3) は、観測専用で造られているといってもよいほど変型しており、相当大きな観測器械やコンピューターを積み込めるようになっている。



写真-3 NCAR の Buffalo 機

米国の大学のプロジェクトが多数の Seeding 機や観測機を使用できるわけは、こういった共用施設を利用できるばかりでなく、民間気象会社からチャーターすることも出来るからである。民間会社の中には十数機も持っている所がある。種まきの場合は、自社で開発した薬品を使い、その成分を公にしたがらないため、科学的でないといって不満を漏らす研究者もいないわけではない。

観測機を持っている大学もあるが、あればあったで年中観測に飛びまわるか、航空機を遊ばせておくかのどちらかになってしまう。前者を選んだ場合、せっかく集めた資料を詳しく調べる時間がなくなってしまう。それよりは、必要な時にチャーターするほうが能率的であり、費用もかからない。先に来日し、当センターにも立ち寄られた、人工降雨の実験で有名な、Schaefer 博士は、日本にはどうして観測機を提供する会社がないのかと不思議がっておられた。たとえば気象協会のよ

うなところに1機あれば、おそらく大学や研究所から引っぱりだこで、非常に効果的に利用されるだろうと筆者は考えるのだが……。

むすび

研究者層の厚さ、研究施設、プロジェクト当りの研究費のどの一つを取ってみても、米国とわが国の差はどうにもならないほど大きい。国の経済力からいって、米国ほどの研究費がでないのは仕方がないとしても、それが研究施設の貧弱さとなってあらわれ、研究者を失望させ、頭脳流出の原因となっていることを思うと、もう少しなんとかならぬものかと考えさせられる。

気象調節に対する見方は、米国内でも、非常に個人差がある。特定の問題に限ってみても、楽観論から悲観論に至るまで、実に様々である。NECHE 計画案についても、これは基礎研究の偏重であるという人もあれば、先を急ぎすぎるといふ人もある。米国には気象調節研究の推進にあたっている政府機関が幾つもあって、それぞれ、独自の方針を持っている。こういった体制を嘆く人も少なからずいるが、このために大混乱が起こって進歩にブレーキをかけているという程ではない。気象調節研究の全般にわたって、米国はやはり他国に先んじている。大胆な提案が認められ野外実験が実施される一方において、基礎研究も進められている。これは研究費を配分する立場にある人達が、基礎研究の重要性を十分に理解しているからでもある。

1968年5月、米国気象学会の主催で、第1回気象調節会議が開かれた。この会議には当センターの寺田所長も出席された。所長のこの折の気象調節研究機関の視察報告などは防災科学技術第5号(1968年 Aug.)に記載されているので、この報告とあわせて読んでいただきたい。第2回目の会議は今年4月に開かれた筈である。

会議は米国気象学界の主催といっても国際的色彩が濃く、第1回には九州大学の武田教授が招へいされたし、世界各国からもかなりの報告が発表されている。筆者にも知人から第2回に出席する気はないのかと手紙がきていたが、やっとなリーダーが動きはじめたばかりで、まだ観測も実験もやっていないので、残念ながら無理であった。大いに頑張って、第3回には成果をもってゆけるようにしたいものである。

おもなニュース

◇明神礁の爆発続く

1月29日午後2時頃、海底火山の明神礁が、昭和27年の測量船第5海洋丸の遭難以来、18年ぶりにまた爆発しました。その後も2月7日、2月16日、2月17日と爆発が続いています。

◇魔の海域で海難相次ぐ

千葉県野島崎沖東方海上で、2月10日、鉱石運搬船かりふおるにあ丸、6万2千トンが沈没しました。この海域では、2月7日にリベリアの貨物船アントニオス・デマデス号(2万4千トン)、1月6日にリベリアのタンカーソフィアP号(1万9千トン)が相続いて沈没し、昨年1月5日にも鉱石運搬船ぼりばあ丸(5万4千トン)が沈没しています。いずれの場合も、北海道沖の発達した低気圧から大きく南にのびた寒冷前線の通過前後で、強い向かい風を受けたときにおこっており、海況、船体構造などと共に、海難の原因究明が強く望まれています。

◇松代深層試錐孔で加圧水注入試験を実施

松代群発地震研究の一環として、深さ1,900mのボーリング孔に加圧水を注入し、それによって、人工的に地震を起こさせる実験が行なわれました。実験は地震予知研究グループの協力のもとに1月15日から2月13日まで数回にわたって行なわれました。結果の詳細については記録の解析をまって報告される予定です。

◇昭和45年度予算政府案きまる。

昭和45年度予算案は1月31日の閣議で決定されました。防災センター関係の予算は総額601,704千円(前年度659,182千円)で、要求額の99.5%に達しました。

主な事項については次のとおりです。

1. 筑波共用施設(大型耐震実験施設、大型降雨実験施設)の整備運営——251,654円
2. 深層試錐による東京付近の地震活動に関する研究——87,995円
3. 気象調節に関する研究——20,875円
3. 新庄支所の整備——30,054円

なお、人員は筑波の耐震実験室に7名、新庄支所に1名の新規増員がみとめられました。



写真-1 上 絹雲；1965年7月，札幌
下 積乱雲；1964年7月，Boulder，
Colorado（小元博士提供）

海面や地表から蒸発した水蒸気は上空に運ばれて凝結や昇華，凍結，融解などの相変化を経て，様々な降水要素の形で再び地上にもどってくる。それらは雨であり雪でありみぞれであったりする。時には非常に小さい落下速度のため，雲粒としてただ空に浮びあるいは霧粒として地表や海面を包む。また大きな氷の塊として高速で落下し農作物等に被害を及ぼすひょうは危険な降水要素として恐れられている。そしてこれらはみな姿，形，大きさこそ違え，それぞれ大気中で生れ育つ過程でたがいに密接なつながりを持っている。ここで述べる“氷晶”もこの因果関係の重要な立役者である。

天然の氷晶

氷晶は大気中にできる非常に小さな氷の結晶で雪の初期結晶に分類される。雲粒の付着していないきれいな雪だと，その中心部分に氷晶がみられる。雪は氷晶が大きく成長して落ちてきたものである。

澄みきった空に刷毛でかいたような絹雲（写真

—1上）はこの氷晶できている典型的な雲である。天の羽衣を連想させる陰影のない輝く様はいかにも氷の雲らしく，清々しい。夏の雄大な積乱雲のかなとこ雲（写真-1下）も氷晶である。温度の低い高空ばかりでなく地上近くでも氷晶はみられる。冬季，シベリアの奥地では，高気圧圏内の星空の下で冷え，はく息の水蒸気は耳もとでただちに凍り，氷晶となって“星のささやき”と呼ばれる音をたてるそうである。それほど寒く，それほど静かでもあるということであろう。北海道でも旭川などの内陸では夜間， -20°C から -30°C ぐらいまで気温が下り，過冷却霧の中に混って氷晶ができる。明方近くになると過冷却した霧粒はなくなり一面に氷晶だけが浮遊するようになる。細氷とかダイヤモンドダストと言われる現象で，写真-2はこのような氷晶をスライドグラスに受けて撮った顕微鏡写真である。初期核晶が主で，無垢の小角柱も混っている。大きさはだいたい 20μ から 80μ ぐらいである。通常肉眼ではガラスの上白い粉をばらまいた程度にしか識別できない。雪の結晶ほど大きくないので気がつかない場合が多いが，よく注意していると，あまり気温の低い本州のスキー場などでも急に霧が晴れた時に現われることがある。青い空を背景に太陽の光をキラキラ反射する様は印象的である。

氷晶の発生と成長

こうして，意識的に自然に注意をはらうと，案外身近に降水の生成に密接に関連する出来事が起っているのに気がつく。大気中では，たとえそれが地上付近であっても，過冷却した霧がごく普通に発生し，その霧粒は容易に -20°C ぐらいの低温まで過冷却した状態であることができる。この霧粒は大体 10μ 内外の大きさであるが，数ミクロンのもっと小さい微水滴は -40°C ぐらいまで過冷却することもできる。しかし，もしこの霧の中に氷晶が生れると，その氷晶は急速に成長する。これは過冷却した霧粒の表面付近の飽和水蒸気圧が氷晶のそれより大きいためである。一般に飽和水蒸気圧は，平衡状態にある水面の温度により決り，温度が低くなると小さくなる。 100°C で1気

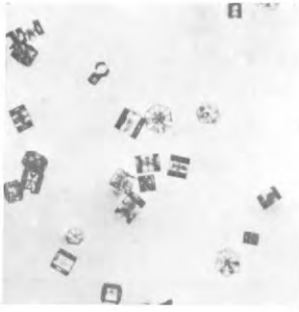


写真-2 過冷却霧に生まれた自然の氷晶；1967年2月13日午前4時6分，旭川（×44．北海道教育大学桜井講師提供）



写真-3 冷凍庫の中で作った，沃化銀による氷晶（×75）

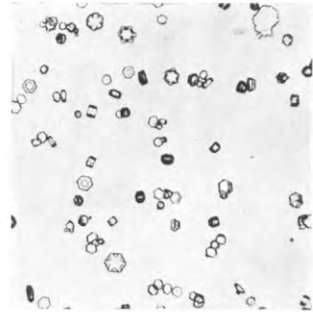


写真-4 冷凍庫の中で作った，液体窒素で冷した銅の棒による氷晶（×70）

圧、 0°C で大体 6.1 mb である。この関係は水面が 0°C 以下になっても、すなわち過冷却しても連続的に下り、 -15°C で 1.9 mb 、 -30°C で 0.51 mb である。一方、氷の表面に平衡する蒸気圧はやはり温度と共に小さくなるが、その値は過冷却した水面より小さく、 0°C で水と同じ 6.1 mb 、 -15°C では 1.7 mb 、 -30°C で 0.38 mb である。したがって氷晶の周りを過冷却した霧粒が多数とり囲んでいると霧粒にとっては空気中の水蒸気と平衡していても、氷晶にとっては過飽和の状態にあり、水蒸気は氷晶の方へおる。足りなくなった水蒸気は霧粒が蒸発して補い、このような水蒸気の霧粒から氷晶への移動は通常霧粒が蒸発し尽すまで行なわれるだろう。また水と氷の上の飽和水蒸気圧の差は -15°C よりやや高めで最も大きい。このことは、この近辺で結晶の成長が最も激しいことを示している。

ここで、このように霧粒が食われて氷晶が成長するには、最初に水霧の中に氷晶が生れなければならない。この発生は霧粒の凍結によることが多いだろう。純粋な水ほど、また体積が小さいほど水は凍結しにくい、通常空気中の微水滴に含まれている小さい固体粒子はその微水滴の凍結を早める働きをする。この微粒子は水滴の凍結の芯核になるという意味で凍結核といわれる。このほか、空気中の水蒸気が液相を経ないで直接芯核において氷晶を作る場合が考えられ、昇華核と呼ばれる。両者をまとめて氷晶核という。

身近な過冷却霧にみられる氷晶の発生と成長の過程が上空の十分厚い雲の中で行なわれると、氷晶は雪の結晶にまで成長して大きな落下速度を得て降雪になる。途中で融解すれば雨である。これが基本的な降水理論の一つである。実際には自然の

降水はさらに複雑な過程によるのが普通で降水が起るか否かは雲の運動に強く左右される。初期の氷晶の存在も、一つの雲で起る必要は必ずしもなく、十分氷化した高層雲に発達した水雲が過冷却した頭をつっこんだり、絹雲から落ちてきた氷晶が蒸発しきらないで生き残り下層の積雲に到達しても良い。また雪の結晶同志の併合や落下速度の違いによる機械的な雲粒の捕捉も地上に達する降水には必要である。事実教科書にあるような美しい樹枝状六花や六角板はむしろ稀で、雲粒の付着凍結した汚ない雪やあらが普通である。 0°C レベルが上空にあればそこで融解し、衝突した雲粒を捉えてさらに成長して地上に至る雨滴となる。

人工の氷晶

人為的に雨の量を増したり、ひょうを抑制したりするのに使われる沃化銀の微粒子は氷晶核として非常によく働く。写真-3 は冷凍庫の中で作った、 -14°C の過冷却霧に沃化銀を燃やした煙を注入した時に出来た氷晶である。角柱の両端に六花が成長したつづみが多い。人工的に氷晶を作るには氷晶核を導入する代りに、 -40°C より低い温度に過冷却霧を部分的に冷やしてやっても良い。微小な水滴は氷晶核が無くても、この温度で自発的に凍結氷化する。過冷却の閾値が -40°C であるのはこのためである。写真-4 は、液体窒素に浸してあった銅の棒で過冷却霧をかきまわした時に出来た氷晶である。小角板や初期骸晶、小角柱が多数生れた。自然の雲にはドライアイスがよく使われる。

このような“種まき”による降水機構への人為的な働きかけが、自然の霧や雲に対して初めて試みられたのは1940年代初頭である。以来、数限りない試行錯誤が行なわれ、雲物理学の発展を促してきた。そして今、降ひょう抑制や人工降雨、台風制御といった大規模で本格的な気象調節への胎動が世界各国でうかがえる。

古文書からみた富山湾の海岸浸食 (その2)

富山県土木部 滝内俊郎

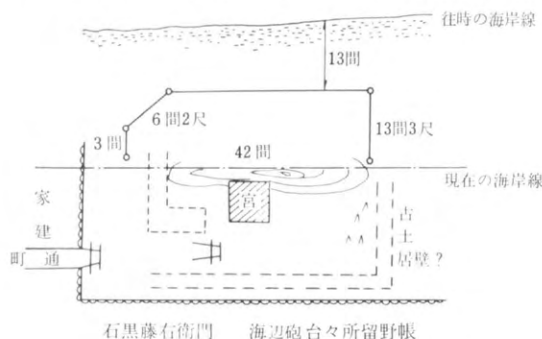
台場と浜けいこ

嘉永年間には、海防上海岸に台場(砲台)を築き、海浜では弓矢、鉄砲、大砲の演習を行なったことが記録されている。往時の海岸砂浜は広く、演習場に適していたことを示している。

◇放生津の台場

嘉永3年(1850)には放生津(現在の新湊市)に砲台場が設置されたことが、石黒藤右エ門の「海辺砲台々所留野帳」に記されている。放生津八幡宮の裏の海岸より13間離れ、幅42間半、奥行13間半の砲台であって、現在、八幡宮境内に土盛の跡が見られるのがこれである。しかし、現在は汀線がすぐせまり、護岸工も常に波に洗われている。

また、「海岸御廻道留帳柴屋旧記」、「竹脇家旧記」



石黒藤右衛門 海辺砲台々所留野帳



写真-3 現在の新湊台場跡(八幡宮境内)

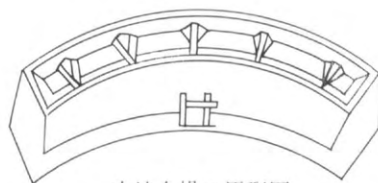
には、嘉永3年4月22日には藩主前田齊奉ら168人と随従53人の一行が参勤の帰途放生津台場を見分し、自から海防の実地を巡検したということである。

◇生地 の 台 場

生地の台場は現在の黒部市生地にあり、当時は越湖浜の西南隅の突出したところにあり、天槍が崎と呼ばれていた。ここは能登半島と相対する重要な地点であるので、嘉永4年(1851)、幕府の命により加賀藩がここに台場を築いた。外国奉行堀織部正、目付駒井左京、勘定方日下部友之丞等137人、馬5頭、長持5本の一行が海岸上使として日本海岸を測量した際にここを視察している。その後元治元年(1864)10月に幅6間乃至7間、



1:5000 富山県海岸地形図



生地台場の原形図



生地台場盛土の跡

長さは80間余にわたって修築が加えられた。この台場の詰所の在番の任務は海防であって、常時、海岸を巡視し警戒することにあつたが、それとともに、海岸および沿岸海域の測量をすることにあつた。この台場は現在生地浜の一隅にその跡を止めている。



写真-4 生地台場、大正13年頃の砲台場



写真-5 昭和44年現在の砲台場跡

在番の浜けいこ

新潟県境に近い宮崎，入善付近の海浜は，弓鉄砲，大筒の訓練のための適地として選ばれ，泊在藩の奥村善九郎等3人は，藩に対し浜けいこを願っている。それに対し，藩は十村に対し浜けいこによる浦方村々の支障の有無を調査し報告するよう命じている。これに答えて，最も影響の大きい宮崎，泊，横尾，大屋，東草野，赤川の各村々では，肝煎組合頭の連名で，「泊在番が私共の在所の浜で浜けいこをされるについて，大筒を海の方に向けて放つのは一向差支えないが，横に向けて放たれては浜が狭くかつ人家があるので困る」という趣旨の陳情をしている。

この海岸は，現在，砂浜はなく，護岸直前まで



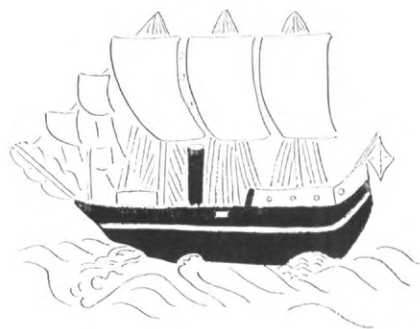
写真-6 新湊市海岸

波が打寄せ，護岸直前の水深も0.5~1.0mもあって住時のおもかげはない。

また「諸事学書留帳」には現在の新湊市の打出本江地内でも，当時は浜地で鉄砲，大筒の特別教習や大筒の競射が行なわれている。この浜も現在ではなく，護岸等によりかろうじて海岸線が保持されている。

伏木浦黒船渡来

安政6年(1859)4月24日，伏木浦に黒船が現われ，沿岸の測量を行なったことが，「伏木浦黒船渡来一件」と題する郡奉行所への報告書に記録されている。これによると，24日未頃，射水郡海老江浦沖合に異国船が一隻現われ，段々西方へ移り，申の中頃には伏木浦沖合に達し，湊尻より十丁ほどの所に停泊し，小船を一艘下ろして異国人が十人程乗組み，湊川の中へ漕入れ，辻繩を使って川の浅深を調べた後，直ちに元船に帰り，申下刻には立ち去ったということである。この異国船は×印のついた旗を立てていたことから，ロシア国の船であったといわれている。



松代の深層ボーリング その後と 水の圧入実験

地震防災研究室長
高橋 博

経 過

松代群発地震の震源性状を調べるための深層ボーリングは、前に述べたように（本誌 No. 10, 1969年11月）ボーリングにより地震のおこっているところを、直接調べたいという地震学者と地震学の進歩をひたすら願う地元とのかねてからの要望にこたえ、地震探査（松代地震特別研究第5次, 1967年）の結果、地震の発生していると思われる基盤（6 km/sec 層）の深さが浅く（2 km 以浅）、実際に浅い地震も多くて、地割れや湧水活動も活発であったところとして国民宿舎松代荘をえらび、昨年3月以来、予定深度 1,800 m で行なってきた。掘進は地層がいたる所破砕されており、温泉が強く噴出したりして、深さ 1,330 m までは困難との斗いであったが、その後は岩質もかたくなり、順調に深さ 1,800 m まで掘進した。はじめ深さ 1,000 m までに基盤（6 km/sec）に達すると予想していた人もいたが、後に述べるように

ボーリングの掘さく孔径とケーシング

深 度	孔 径	ケーシング
0～ 117m	7 ⁵ / ₈ "	6"
117～ 399	136mm	127mm
399～1,072	88	86
1,072～1,334	78	73
1,334～1,934	64	なし

第三紀の地質がつづいており、また、この地点は 2 km より浅い地震がいくつも発生していた所であるのに、地震の“ツメあと”が確認できなかった。そこで、さらに深さ 1,934 m までほった（昨年11月）。ボーリングの孔径などを表に示すが、0～400mのケーシングは、強い噴出圧をもつ温泉からボーリング孔を守るため、孔壁との間を全部セメントで固めた。ボーリングの方向は鉛直であるが、地層の影響をうけ、孔は次第に曲り、特に 1,000m より下が著しく、終りの部分では 39° も傾むいた（図 1）。掘進のあとの検層で、弾性波速度の測定の際、孔内用地震計の落下があり、その除去作業を行なったが、速度検層も本年早々には全部終わった。そして、今回のボーリングのもうひとつの目的であった水の圧入実験を合計15昼夜行

でつづいている。この石英せん緑岩は上述の第三紀層の中に貫入したもので、松代群発地震の発生域では、倉科や保科およびその北東方に広く分布し、松代盆地内でも牧内付近に露出し、その風化した所が第3活動期に多量の湧水によって、地すべりを起した。

岩質の特色は深さ1,330mを境として、その上と下で異なっている。浅い方は全般に破砕された所が多く、その下半部はケイ化作用(SiO_2 に富む)をかなりうけ、割れた所では手が切れるくらいである。前にも示したように、電気検層の記録はクンの歯のように低抵抗がずい所あらわれ、これらの割れ目がClイオンの濃い地下水(温泉)でたっぷりみだされていることがわかる。また、りゅう化金属鉱物(りゅう化鉄鉱、黄銅鉱、方鉛鉱、せん亜鉛鉱)や方解石、緑れん石などの鉱物脈があみの目状に発達しており、特に方解石脈の発達が著しく、方鉛鉱、せん亜鉛鉱がよくみられることや下部では高温性の磁硫鉄鉱のあることが目立つ。1330mより下は全体にかたく、ちみつな岩石である。割れ目はよくみられるが、浅い方のように鉱物脈は発達していない。Clイオンの濃い地下水は、電気検層によると、割れ目に薄く入っているようである。

温泉は深さ250~400mで強く自噴したほかは、深さ1,320mで150 l/minほど自噴したが、浅い方に比べ単純食塩泉に近いようである。孔底の地温は98°C位である。

地震の“ツメあと”

このような地質であるため、いわゆる基盤(第三紀層をのせている岩盤)は、もっと深いことが明らかとなった。従って、地震は第三紀に生成された岩石の中でも発生していることも明らかになった。

コアの弾性波速度は、保科玄武岩類と石英せん緑岩はほぼ同程度で、平均6.3 km/secである。地層中の速度はこれより、1~2割低いはずで、速度検層の結果など考慮すると、6 km/secの速度層は、現在のところ堅くてちみつな保科玄武岩類とその下を示したものと考えている。



写真-1 石英せん緑岩中の新鮮な slicken side

次に、今回の地震の“ツメあと”がこのかたい岩石の中から、主としてその増し掘りした所から見いだされた。それは図2に新しい slicken side と記した所のもので、slicken side とは断層面に生じた、こすりキズのことである。コアには slicken side がしばしばみられるが、その多くは方解石などの鉱物でおおわれているが、昔の地震でできたものであることを示しているが、若干は、まったく新鮮で、時には粉碎された岩石粉をつけていたりなどする(写真)、それで、この新鮮な slicken side を示すものは、今回の地震で形成されたものと考えている。

水の圧入実験

ことのおこりは、アメリカのデンバーで、毒ガスの廃液を処分するため、4 km 近くの井戸をほり、その下底の破砕帯にこれを圧入した所、何十年となかったこの付近に、地震がひんぱつした

ことにある。松代地震でもその第3活動期に1,000万tぐらいの水が湧出したので、水の浸入により岩盤強度が下って、地震が発生しやすくなったのではないかと疑われた。そこで、深層ボーリング孔を利用して地震の発生した付近の岩盤に水を圧入し、地震活動の変化を観測することとなった。これは人間が地震にはじめて干渉する実験であり、そんなことはとてもできまいとこれまでおもわれていたことを、規模もミニミニであるが、ほんの一寸やってみることである。もし、こんなことがうまくできるのであれば、地震のエネルギーがうんとたまってしまわないうちに、水を使って、散らしてしまいうことができないかもしれないという、夢をも含んだおはなしである。実験に先だち、地下水(含有ガスとも)の採取や揚水試験など予備な実験を行ない、まず1,334mより深い部分について、1月15日から3昼夜にわたって50 kg/cm²の圧力で水を圧入した。この間は上にのべたように堅い岩盤で、わずかな割れ目からおしこむのであるから、多量の水の入ることは期待できず、地震の生じたと思われる岩盤中に割れ目を通じて、ボーリング孔のごく近くに水圧を加えてみたという程度のものである。それでも32tの水が入った。第2回目は一番内側のケーシングを抜き(深さ1,301~1,334mの間は地中に残った)、1,072mより下の岩盤に水を入れた。新しく裸孔となった所は破碎された地層であるので、1月31日から12昼夜(実質)で2,849tの水が入った。圧入の圧力はごく初めは23 kg/cm²位あったが、圧入とともに入りやすくなり、後半では13~15 kg/cm²で200~300 l/min位入り、入れる水がこれ以上とれない状態となった。

観測体制は、当所が皆神山(200m観測井、松代地震特別研究第1次、1966年)、大室、象山と何れもボーリング孔から1~2km位の所で、気象研究所、地震観測所、東大理学部などが地震観測所坑道内で、地震研究所がやや離れた保科、大峰山、上室賀などで地震観測をし、国土地理院がボーリング孔付近の水準測量を、地震研究所が地磁気(皆神山)や断層変動(東条)を松代地震センター・防災センターが付近の温泉や湧水の水質と水温、地震観測所が地殻歪などと各種の観測が

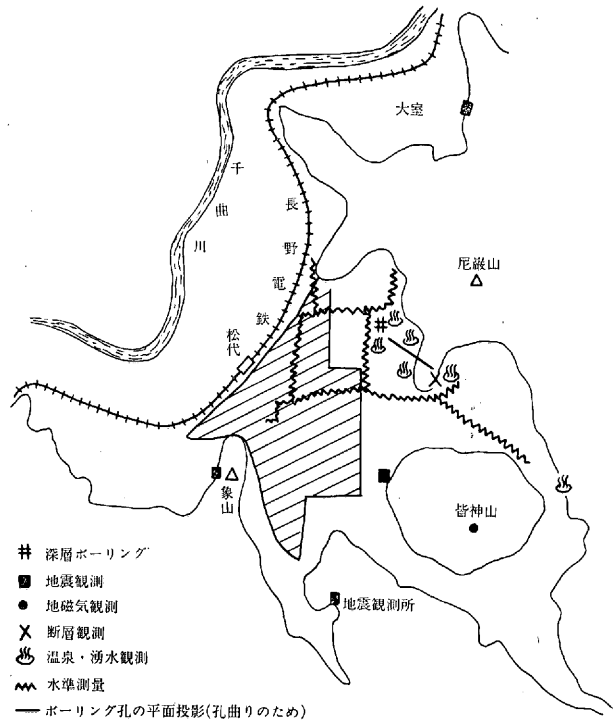


図-3 水圧入実験の観測点の配置
(松代町内のみ)

行なわれ(図-3)、圧入後もその多くはつづけられている。

圧入の影響についてであるが、時間的なおくれのあること、観測資料の整理に手数を要することなどから、2月末現在でははっきりしたことは何も明らかになってないが、極微小地震の総回数は圧入とともにみかけ上ふえているが、圧入の影響は、その前後を含めてボーリング孔付近の地震だけ抽出して、検討しなければならないので、圧入後3カ月ぐらい観測をつづけてからでなければ明らかにならないものと思う。

* 沢村、大沢：松代一須坂地域の地質と地質構造、防災科学技術総合研究報告 No. 18 (1969)



NATIONAL RESEARCH CENTER FOR DISASTER PREVENTION

No. 15-1, GINZA 6-CHOME, CHUO-KU TOKYO

防 災 科 学 技 術 No. 13 1970 May

昭和45年4月20日 印刷
昭和45年5月1日 発行

編集兼 国立防災科学技術センター
発行人 東京都中央区銀座6丁目15番1号
TEL (541) 4721

印 刷 株式会社 小葉印刷所
