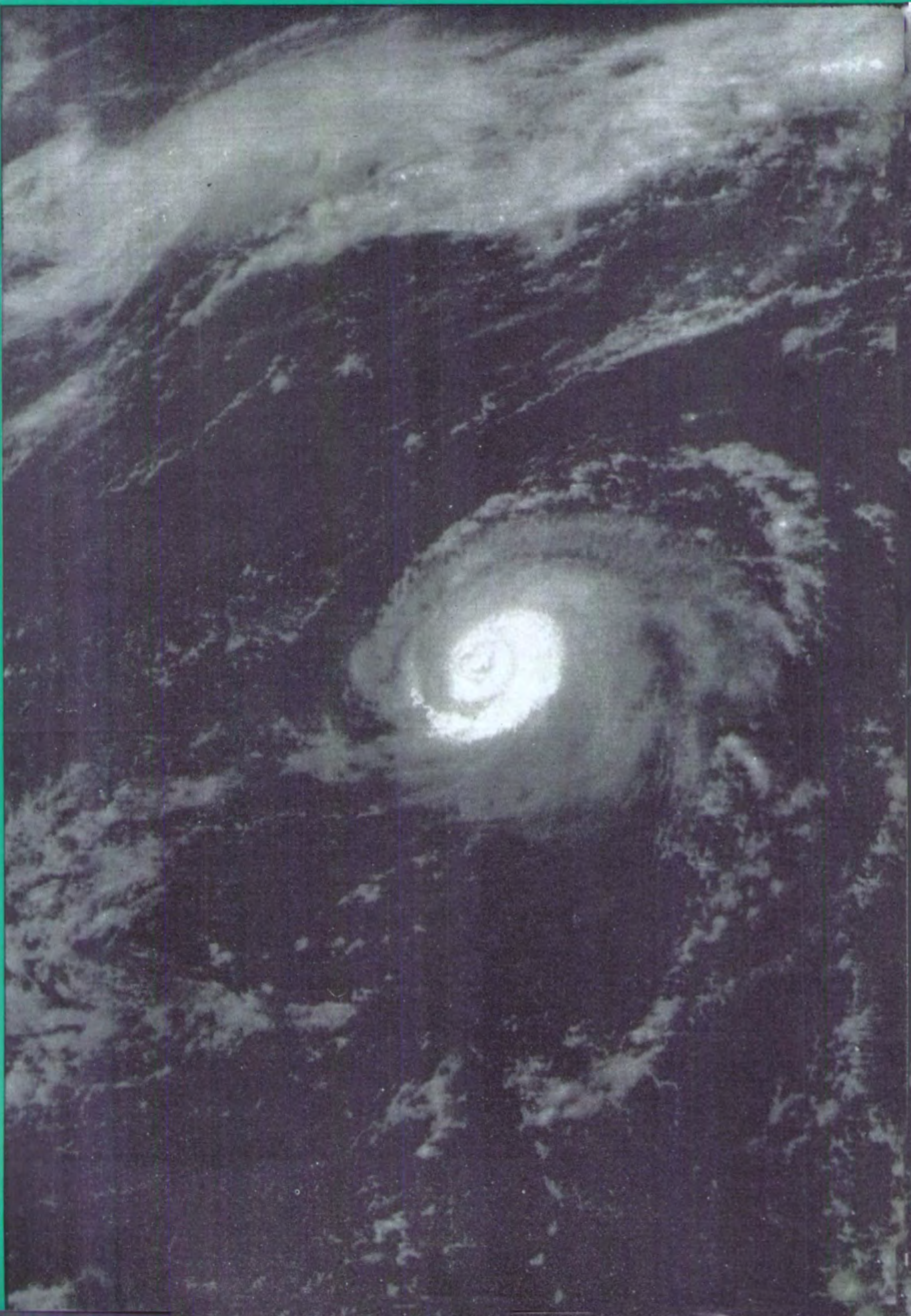
防災科学技術 NO. 19 1971 May

科学技術庁　国立防災科学技術センター



No. 19 1971 May

もくじ

日米科学協力セミナー 熱帯性積乱雲の気象調節 ……………………………小元敬男・1

ローム台地のがけくずれ ……………………………………………………………大石道夫・6

地すべりの島 生月島 ………………………………………………………………大八木規夫・10

おもなニュース …………………………………………………………………………………・5

表紙写真

1969年8月18・19の両日，フロリダ沖を北西進行中のハリケーンデビイに，それぞれ5回づつ沃化銀の種まきが行なわれた。種まき終了後，数時間にわたって中心付近の風速が著しく弱まったと報告された。表紙写真は静止衛星 ATS-III から写したデビイで，20日の第2回目の種まきから約1時間後の姿である。特種の映像再生法を使って，雲の反射のコントラストを強めている。この方法は人工制御実験の影響を観測するために開発された。

——日米科学協力セミナー——

熱帯性積乱雲の気象調節

小　元　敬　男*[1]

写真-1 会場となったコロンバスホテル

「熱帯性積乱雲の気象調節」についての日米科学協力セミナーは，2月15日から4日間，米国フロリダ州のマイアミ市で開催された。当センターの寺田一彦所長を団長に，気象研の北岡龍海所長，藤原美幸・小野晃両博士，北大の孫野長治教授，九大の武田京一教授それに筆者の7名からなる日本代表団は13日正午，日航機で羽田を出発した。

現地時間の13日朝，ロスアンゼルスでマイアミ行きの便を待つあいだ，一行は3日前の地震の情報あつめにかかった。空港の売店や coffee shop のウェイトレスに当時の模様をきいたが，想像していた程のショックはうけていなかった。待ち時間がかなりあったのでタクシーに分乗して被害の大きかった場所まで行ってみようとしたところ，そのような所の交通事情は悪いからどの位で往復できるか分からないと言われ，あきらめた。

昼にロスアンゼルスをたち，午後8時頃，マイアミに着いた。国立ハリケーン研究所（NHRL）の Gentry 所長が急病のため，代わって秘書官の Mallinger 氏が出迎えてくれた。疲れていたので，空港から我々の宿舎でもあり会議場でもあるコロンバスホテル（写真 1）に直行した。

マイアミといえば避寒地として有名なマイアミビーチを連想するが，この二つは全く別の都市である。両市のあいだにはビスケーン湾があり，ここでも海が汚されていると騒いでいた。我々の部屋からマイアミビーチ市のホテル群が豆粒のようにみえた。寺田所長等5人はマイアミビーチで半日をすごしたが，私と藤原博士とは見物する機会を失った。マイアミビーチ市ではホテルがたちすぎて過当競争とのこと。とはいえ安い所でも一泊50～75ドルもするそうで，やはり大金持だけの行く所らしい。

マイアミ市はダウンタウンの中心部にもみすぼらしい建物があり，あまり柄のよくない人達が歩いていた。驚ろいたのは寒いことで，これには閉口した。気候表から日本の初夏を予想していったところ，ついた日の翌朝などは通りをいく人達は外套を着こみ，肩をすぼめているではないか。その後，日ごとに気温は上がり，会議の最終日には真夏のような暑さとなった。

セミナー成立のいきさつ

一昨年の暮れ，わが国の気象調節研究の実情を調べる目的で Denver 大学の福田教授が来日した。このとき当センターにも立ち寄り，気象調節研究のすすめ方について我々と話し合った。帰米後，彼は寺田所長にハリケーンと台風の人工制御についての日米協力セミナーの開催を提案してきた。センターでは早速，気象調節専門委員会のメンバーや気象研究所の関係者も交えて相談した。その結果，日本の研究者層の現状と過去における関連問題の研究実績からいって，台風制御を掲げたセミナーを開催するのは無理であるとの結論に達した。そこで，「積乱雲の人工制御」あるいは「気象調節」というテーマはどうであろうかと解答した。これに対して米国側は，このセミナーは将来ハリケーンや台風の人工制御の足がかりになるべきものであるから，何らかの形でそれを明示したいと主張し，結局，「熱帯性積乱雲のモディフィケーション」*[2] という案が採択されたわけである。日米協力セミナーは，日本学術振興会と米国科学財団

*[1] 流動研究官

*[2] 英語の modification に対し気象調節あるいは人工制御という訳語が使われている。しかし modification には本来，［変える］という意味あいがあり，厳密にいうと調節（adjustment）とか制御（control）とちがうのである。従って筆者はこのままモディフィーケーションと書くことにする。

写真-2　マイアミについてからも提案を再検討する日本側代表団

(NSF) のあいだで行なわれている日米科学協力事業の一つである。正式にセミナー開催の提案がだされたのが昨秋，提案が承認されたのが12月なかばすぎであった。参加者が決まったのは1月に入ってからである。

このセミナーに期待するところは日米間で少々の差があったようだ。米国側はセミナーである以上，あくまで学術的な発表と報告の場と考え，日本側はこの問題に関しての今後の日米協力体制の討議に期待した。そこでわれわれは研究発表とは別に，「今後の日米協力についての提案」をあらかじめ用意し，これにも充分に時間をとってくれるよう申し入れた。なにぶん日本側代表団のメンバーが決定してから出発までの期間があまりにも短く，持参した英文の提案書はわずかの時間に限られたメンバーによって作成されたものであった。こういう事情もあって，マイアミに到着した翌朝，全員でもういちど提案を検討した (写真 2)。ここで手直しした案を NHRL の人に頼んでタイプしてもらい，配布用のコピーも作らせた。会議2日目の歓迎夕食パーティのあと，Chicago 大学の藤田教授，Denver 大学の福田教授，New York 大学の大山教授，それに筆者の4人で雑談していたところ，日本側の提案にと話が進み，彼等は考え方や表現の点で原案に問題があることを指摘してくれた。そこで，すでに部屋に引き取っておられた寺田・北岡両所長等にも集まってもらい，真夜中までかかって日本側の提案を検討しなおした。米国でプロジェクトを長年運営して来られた藤田・大山・福田の3教授は，米国の研究システムあるいは研究提案 (proposal) の仕方に精通しておられ，彼等の助言は非常に有益であった。最終日の日米協力の今後のありかたについての話し合いがうまくいったのも，米国側代表として参加された3氏の助力によるところが大きかった。

会議の内容

会議のプログラムは次のようであった。

2月15日—午前：日米代表者の挨拶，積雲および他の小スケール現象のモデル，16日—午前：積雲の野外実験，午後：熱帯性暴風雨の野外実験，17日—午前：海洋研究所および水族館の見学，午後：国立ハリケーン研究所　ハリケーンセンター，実験気象研究所訪問，18日—午前：測器および観測技術，午後：雲の微物理と雲力学の相互作用，セミナー終了の挨拶，午後→夕：今後の日米協力についての協議，19日—Evergrade 国立公園の見物。

19日に予定されていた協議は先方の都合で，18日に繰り上げられた。

初日の日米代表のスピーチには4名が予定されていたのであるが，Gentry 博士が病気で欠席，NSF の日米協力事業課長も日本側から自分と同じ立場の人が出席していないということで辞退したので，福田教授（米国側）と寺田所長（日本側）が挨拶された。

さて，セミナーの一番手として登場したのは南ダコタ州立鉱山工業大学の Orville 教授であった。彼の発表は冒頭から日本代表団に強い印象を与えるものであった。彼は雲粒，降水粒子，更にはひょうの成長までとり入れて，積乱雲の二次元数値モデルを計算した。その結果はブラウン管に写しだされ，さらにフィルムに納められる。会場で彼はそのフィルムを写してみせた。画面に雲が発生，成長する。やがて雨足がみえ，地上に達する。雲の頂上はカナトコ状に拡がりだす，といった状態があたかも雲の駒どり写真をみるごとくに写し出される。彼のモデルは今ある雲の数値モデルの中でもっとも複雑で，実際に近い (realistic) という定評があるが，まさしくその通りだとおもう。残念ながら，同じ仕事を日本にいてやることはまず不可能であろう。彼の話では，一つの雲が発生してからカナトコが出来るまで，実際の雲の30分～1時間のプロセスを計算するのに，CDC-6600 で十数時間かかるという。計算機の借料は莫大であり，日本の研究者の持っている予算ではとてもこのような計算はできない。

同じ日の午後，孫野教授は「雪雲の垂直構造」について発表した。セミナーの名称からいって，この論文のタイトルは一見，場ちがいにみえるよ

うではあるが，ハリケーン制御研究においては，雲の中での氷晶核数に対して氷晶あるいは雪の数を調べることは非常に大切なのである。事実，このセミナーでは他にも雪雲や氷晶に関する報告が幾つかあった。この日，寺田所長，近藤室長共著の「台風に対する海面からのエネルギー補給」も発表された。面白いアプローチだと評価をうけたが，大型計算機を駆使できる人達とのハンディキャップを感じさせられた。

2日目のテーマは野外実験であった。武田教授の「散水による積雲のモディフィケーション実験」や，Woodley 博士の「熱帯性積雲への力学的種まきの結果」，Gentry 博士のハリケーン デビィの種まき実験の結果の報告など，実際の実験結果の科学的検討の報告もあったが，他方では実験計画に関するものもあった。とくに後者では日米の差を痛感させられる点が大きかったので，このうちからネバダ大学の Berry 博士の「積雲系の雲の野外実験」という報告を紹介してみたい。彼の話は大風呂敷をひろげすぎていると思われるふしもあるが，とにかく現在ある，または開発中の観測器械およびデータ処理システムについてであった。ひょう雲の観測システムを一例にとると，観測機がひょう雲のまわりを飛んで戻ってくる頃にはすでに，ひょう雲中の含水量（レーダー反射強度）の分布，観測機の飛跡およびこれに沿った風向，風速の分布を収めたフィルムが出来上っているというのである。一昔まえまでは，この一駒に収められた成果を得るのに，数十枚ものレーダー写真と飛行機の位置を正確に追跡するのに必要なデータを解析しなければならなかった。さらに観測資料は全く人手を経ないで，コンピューターの出力として，三次元的見取り図がでてくるというのである。これはホラではないのであって，現在，幾つかの研究グループが共同で開発している。この発表にたいし，「ひょう雲一つを観測するたびに何百万ドル（何億円）使うつもりか」という皮肉めいた発言もあった。

午後の会議では藤田博士が被害の程度から作った新しい風のスケールを発表した。「このような研究は防災センターがやるにふさわしいものと思う」と，あとで寺田所長は感心されていた。この日，最終日に予定されていた北岡龍海・渡辺和夫による「大型台風の気候学」が繰りあげ発表された。太平洋上で台風の種まき実験が行なわれる場合を考慮して調べられたものであるが，グアム島付近から北上して日本にはあまり近寄らずに東方洋上に去る台風だけを取りあげたため，発生回数が少ない。これではわざわざ太平洋に出かける必要もないと，NHRL の人達はがっかりしていた。

写真-3　海洋研究所にて。観測ブイをみる一行

17日は見学日であった。早朝，ホテル前に集合，3台の車に分乗してまず NOAA の海洋研究所（写真 3）にいく。今は仮住いで，新庁舎は水族館のすぐそばに建築中であった。水族館では，よく訓練されたイルカやクジラのショーを見ただけで時間となってしまった。午後は，マイアミ大学構内にある NOAA のハリケーン研究所（NHRL），ハリケーンセンター（NHC）（写真 4），実験気象研究所（ERL）を見学した。これらは皆，同じ建物に収まっている。見学時間のほとんどをセミナー室で過ごし，スライドを使っての研究紹介に聞きいった。どこでも時間がオーバーして，後のスケジュールを気にする案内者はやきもきしていたようだ。研究者層の厚さとすばらしい設備に感心しているうちに，早や6時となった。

この夜，参加者全員は Dr. Gentry 宅のディナーに招かれた。彼の邸宅はマイアミ市郊外にあり，大きな自家用プールもあった。食前のひととき，彼はさまざまの果樹が植えられている御自慢の庭

写真-4　ハリケーンセンター見学

を案内してくれた(写真5)。年中なにかしら食べられる果実がなっていて楽しみとのこと。黄昏の庭で，各人すすめられるままにオレンジや金柑をもぎとって賞味しながら，歓談した。Dr. Gentryは禁酒家で，30名ほどの招待客が幾つかのテーブルにわかれてはじまったディナーパーティでの飲み物はジュースだけ。珍らしくアルコール分のまったくないパーティーであった。

最終日の午前中は，福田教授の司会で藤原博士と筆者が発表，コーヒー休み後，福田教授と小野博士が発表を行った。福田教授は午後にも発表し，まるで日本人研究者の日の感があった。この日発表した日本人は在外経験3年以上という者ばかりで，英語の討論もほとんど不自由なくできる。あとで閉会の挨拶のとき，Gentry博士は「日本からの客人が流暢に英語を話すのに驚ろきながらも，また当然のようにわれわれは思っている。しかし我々が日本にいっても日本語で発表することは全く不可能である。このことをあらためて考えなければならない。」と述べていた。

この日の午後のセミナーではGentry博士が，もし太平洋で台風の種まきをする場合，グアム島と沖縄を基地とすると仮定して，計画案を出した。これはセミナー終了後の日米間の折衝のときに問題になったが，結局「グアム島を出発して台風に種まきをした航空機がもとの基地に引返すよりは，沖縄に着陸したほうが良い場合がある」ということであった。

午後3時にセミナーは終了した。散会宣言のあと米国側からの参加者の大部分は帰途についた。日本側は代表団7名全員，米国側からはNHRLとNSFの関係者，それに福田・大山両教授が残って，ひきつづき3時半から今後の協力体制についての協議にはいった。藤田教授は用事があって前日にマイアミを立たれていたが，協力研究が発足したばあいの援助方法について，かなり具体的にDr. Gentryに話していって下さった。

日米協力の今後のあり方をめぐって

今回のセミナーは，日米科学協力によるハリケーン・台風のモディフィケーション研究の出発点である。研究成果の発表だけにおわるならば，何も日本側から7名もがはるばる出かけていく必要はない。かんじんかなめの今後の協力のあり方をめぐっての話し合いは，最終日の3時半に始まり，

写真-5　Dr. Gentry 宅にて。庭を案内する博士

病みあがりのDr. Gentryには気の毒であったが，夜の7時まで続けられた。

討議は日本側があらかじめ用意していた「日米科学協力の将来計画案」に沿って進められた。まず，「熱帯性低気圧をふくむ積雲および積雲系のモディフィケーション」に関する日米協力研究を，出来れば本年度からスタートさせるため努力するということが決められた。両国の研究事情を考慮し，おたがいに掲げたテーマとかけ離れた仕事をしないですむということで，ちょっと長いけれどもこの題名が選ばれたわけである。

次に問題になったのは，米国側が1972年の夏か秋にやりたいと希望している西太平洋における台風実験をどうするかということであった。数年まえ，マニラでのECAFE会議で米国がこの計画を提案したとき，日本側の代表の猛反対にあい，このため極東諸国の中には賛意を表する国もあったのに実施できないできたという事情がある。なぜ太平洋上でやりたいかというと，実験対象となり得る台風の発生回数がハリケーンに比べて非常に多いことがあげられる。ハリケーンへの種まきの実験計画は1962年以降，毎年たてられているけれども，一昨年のハリケーン デビィでやっと2度目という状態である。NHRLが調べたところ，グアム島を基地にすれば1年に2・3度のチャンスがあるという。ただしこれは，米国がハリケーン実験に対して決めた安全基準を採用したばあいのことである。台風のばあいは当然，ハリケーンにたいするものとは違った基準を定めなければならない。気象学者がきめた安全基準を世間がすなおに納得してくれるかどうか。種まきをした台風が接近したり上陸して，災害が発生した場合，実験のせいにされる恐れがある。世の中にはいいがかりをつけて儲けようとしたり，トラブルをおこした

がる人種もいる。米国でも気象調節プロジェクトがこうした人達に悩まされることが時々あるという。これが政治に利用されると大問題である。とはいえ，こうしたことを恐れて絶対反対の態度をとり続けていたのでは，いつまでたっても台風制御の研究は進歩しない。

わが国の気象災害をみると，何といっても台風による風水害がいちばん大きい。ところが，その対策となると経済大国とはおもえないほど貧弱で，台風研究への投資は微々たるものである。南方洋上に発生する台風の観測にしても，いまだに米軍や米国の気象衛星に依存している。米軍機による台風観測の目的は，台風の中心の位置と示度，最大風速の観測にあり，台風の構造を調べるための資料は得られない。米国にはそれができる気象観測機が何機もあって，ハリケーンの研究に使用されている。もし太平洋での実験が実現すれば，当然こういった飛行機がやってくることになる。そうなれば，今だかつておこなわれたことがないような詳細な台風観測が実施されるであろう。台風モディフィケーション実験を拒否することによってこのチャンスは失われる。

台風に沃化銀の種まきをしても果して大丈夫なのだろうか。筆者の考えるところでは，1969年にハリケーン デビィに行なった程度なら，人工変化の影響が消えるのに24時間とはかからないと思われる。従って，上陸の3日も前にやれば，実験の影響はまず残らないといってよいだろう。熱帯性低気圧の理論も非常に進歩している。人工制御の研究は，野外実験を必要とする段階にきている。かつて日本が猛反対した時点とは事情がかなりちがってきた。今回の話し合いでは，米国が台風モディフィケーションの実験を太平洋上でやるとしたら，日本はそれをどのような条件で認めるかについて，われわれが帰国後に関係者と相談して決めるという取りきめがなされた。

会議を振り返ってみて

この会議は学術的報告の発表，討論の場としても成功であった。このことは寺田所長宛の Gentry 博士の書簡からもあきらかで，彼は「出席した人達から未だかつてなかったほど有益なセミナーであったといわれる」と書きしるしている。今後の協力体制についても気持よく話し合いがすすめられ，前節で述べたような満足できる成果を得た。

毎度のことながら，このセミナーでも日米間の差をいやというほど見せつけられた。研究費の額，施設や設備，研究者層の厚さなどにみられる差は大変なものである。この差が頭脳流出の原因になっていることを見逃してはなるまい。これからやろうとしている事にしても，日本とアメリカではスケールが全然ちがう。実現性の薄い大風呂敷として日本ではまだまともに取り上げられないようなことに，米国は根拠をあたえ，着々とその実現をめざしている。このままでは，日米の差はひらく一方であろう。

米国側からは研究所の長といった立場にある人も勿論のこと，日米科学協力事業課長の O'Connel 気象調節プログラム課長の Wyckoff も出席した。会議のあいだ終始，熱心に聞き入っていた両氏の姿が印象的であった。こうして科学技術庁あるいは文部省に相当する NSF から，研究費を支出する責任的地位にある人達も会議に出席して，研究者と接触し，その能力を把握しようと努めているのである。

謝辞　この会議を成立させるにあたり学術振興会との折衝，連絡に奔走され，準備に御尽力くださった当センターの小沢行雄異常気候防災研究室長に深く感謝の意を表したい。

おもなニュース

◇　大型降雨実験施設の建設はじまる。

筑波研究学園都市に大型降雨実験施設を建設することになり，その起工式が1月20日におこなわれた。本施設は斜面の豪雨による侵食・崩壊等の機構を実験的に解明するためのものである。

◇　新庄支所庁舎完成

かねて建設中の新庄支所庁舎が完成し，2月6日落成式を行なった。

◇　ロスアンゼルス地震おこる

2月9日，ロスアンゼルス北郊にマグニチュード 6.5～6.6 の地震がおこり，かなりの被害が発生した。寺田所長は日米協力気象調節会議終了後，被害地域を視察した。

◇　地震予知のための深層試錐を開始

深層試錐による東京付近の地震活動に関する研究のため，埼玉県岩槻市に 3,500 m の深井戸の掘さくを開始し，3月8日その開坑式を行なった。

ローム台地のがけくずれ

大石道夫*

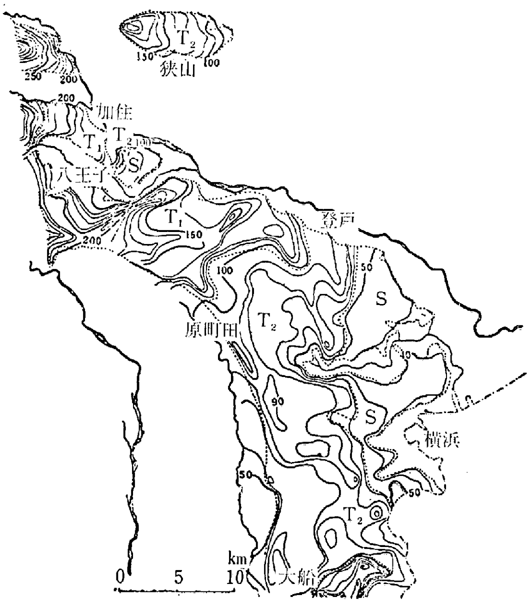


図-1　多摩丘陵及び周辺丘陵の高度分布図（羽鳥・寿円，1958）
点線は地形面境界　T_1：多摩上位面　T_2：多摩下位面
S：下末吉面

横浜市のがけくずれ

もう古い話になるが昭和41年6月28日の台風4号による豪雨のため，神奈川県下に1200個所に及ぶがけくずれが発生し，とくに横浜市南部の磯子区，南区一帯では多数の犠牲者がでた。同市では昭和31年10月末の低気圧による豪雨，昭和33年の狩野川台風に伴う豪雨などによって繰り返しがけくずれの被害を蒙ってきたが，がけくずれによる被害は単に横浜市のみでなく，横浜市から川崎市北西部，東京都西南部にかけて広く広がる多摩丘陵のがけ線沿いにもしばしば発生している。

この多摩丘陵地帯では，最近の市街地周辺の丘陵開発と土木技術の進歩により大規模な開発が進められている。東西14 km，南北2～4 km，30km²に及ぶ多摩ニュータウン計画地域は最も大きなもので，一部の工事はすでに完成し入居もはじまった。このような公共団体や大企業による大がかりな開発のみでなく，中小企業による宅地造成も盛んに行なわれていて，ここ数年来の多摩丘陵の変容ぶりにはおどろかざるを得ない。

関東平野の西部には丘陵地帯が沢山ある。これらの丘陵は境川，多摩川，荒川とその支流によって分けられているが，そのうち多摩丘陵が最も大きい。多摩丘陵は図1の接峯面によれば，高度100 m あたりを境として北西の標高 100～130 m の多摩 I 面（T_1 面）と，南東の標高 70～90 m の多摩 II 面（T_2 面）とに分けられ，また多摩丘陵の縁辺部に下末吉台地（S 面）が分布している。本文でローム台地とよんでいるのはこの3面を指していることをおことわりしておく。

ローム台地のおいたち

図2に T_1 面，T_2 面，S 面の模式断面を示した。このような地質構造は以下に述べるようにローム台地のがけくずれと密接に関係しているので，少々くどいようだがその生いたちを紹介しておこう。

多摩丘陵の主体をなすものは，いわゆる三浦層群で鮮新世から洪積世初期にかけての堆積層である。この地層は，堆積時の傾斜に加えて関東造盆地運動の影響により東に緩斜し，相対的に上昇した西側は長く侵食の場となっていた。この侵食面上に古桂川渓口から扇状にはん濫した砂礫が御殿峠礫層である。またその頃，横浜以南では屛風ケ浦層が堆積しつつあった。一方，西方の火山からはすでに火山灰の供給が始まっていた。

屛風ケ浦層を堆積した海はその後上昇し，横浜北西部はおぼれ谷となり，多摩丘陵東部は波食を受けた。この海進の極盛期に海域周縁部に堆積したのがおし沼砂礫層である。すでに活動していた西方諸火山は，その後の海退によって露出した屛風ケ浦層，おし沼砂礫層の上に厚い多摩ローム層を堆積した。

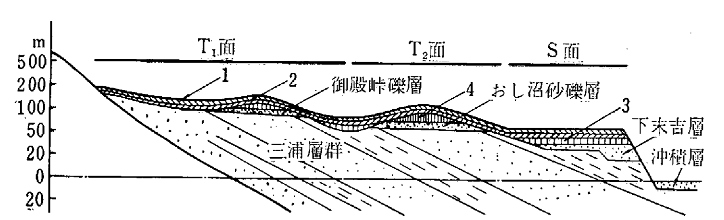


図-2　多摩丘陵の地質断面模式図（日本の第四系より）
1．立川ローム　2．武蔵野ローム　3．下末吉ローム　4．多摩ローム

* 地表変動防災研究室長

海面はますます低下して，古多摩川その他の諸川の延長川が多摩ロームの堆積面を下刻分断し，分断された各丘陵には小侵食谷も発達してほぼ現在の地形に近い状態になった。

いったん海退した海は下末吉期に再び海進に転じ，古多摩川その他諸川の谷づたいに入りこみ，また多摩丘陵東部の三浦層群またはさきに堆積した屏風ケ浦層をけずって波食台をつくり，この上に厚さ 1m 前後の砂礫を堆積した（下末吉層)。図1にみられる標高 40m 前後のがけ線はこのときの汀線である。その後下末吉の海退に伴い波食台上に下末吉ローム層が堆積した。武蔵野面，立川面はその後の海退と，降灰によってできたものである。

地質構造とがけくずれ

さて，前述の昭和41年6月に横浜市磯子区森町に発生したがけくずれは，図3に示すような地質構造の個所に発生している。がけの下部は三浦層群中里シルト岩層で，その上部に前述した未固結の屏風ケ浦層が堆積し，さらにその上に多摩ローム層，新規ローム層（武蔵野ローム層，立川ローム層）が載っている。この屏風ケ浦層の基底には直径 2～5cm の円礫が含まれていて，くずれはこの基底部の不整合面付近から発生し，この付近に堆積していた崖錐性堆積物が主として崩れ落ちた。磯子区，南区に発生したがけくずれのほとんどはこのような難透水性の三浦層群と，透水性の砂礫層との不整合面付近から崩れたものであった。このことから，多摩丘陵とその縁辺部で発生するがけくずれは，その重要な要因の一つとして，地表からせいぜい 10～20m 程度の地質構造（その発達史を含めて）――各関東ローム層とその下の礫層，たとえば屏風ケ浦層，おし沼砂礫層等の砂礫層とさらにその基盤の三浦層群の分布，重なり具合――を考えなければならない。

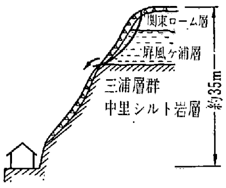


図-3　磯子区森町がけくずれ個所模式断面図

基盤地形と地下水

三浦層群の中里シルト岩や飯室泥岩とそれぞれの上部の屏風ケ浦層やおし沼砂礫層の不整合面に湧水を認める例は数多い（図 2 参照)。これはローム層に貯留された水が徐々に砂礫層に供給され，難透水性のシルト岩あるいは泥岩の埋積谷に沿って流動していることを示すものである。梅雨期あるいは台風期にこの水量が増加し，この時期に豪雨があると，地下水圧が水を噴出するまで高まり，表面の砂を洗い流してパイピングによるくずれを発生するものと考えられる。これはいわゆる地下水型がけくずれとよばれるものである。

これに対して表層の崩壊も数多くみられるが，この地域では一般に地下水型のがけくずれの方が規模が大きく，従って被害も大きくなる傾向があり，その意味で防災的には地下水型がけくずれに，より注目する必要があろう。

関東ローム台地の基盤地形については，最近第四紀学の研究によって次第に明らかになりつつあるので，その成果は地下水型がけくずれの危険地域の設定に基本的な資料として役立つものと思われる。しかし，昭和44年度から始まったローム台地のがけくずれについての総合研究で，川崎市生田の市立北部公園内に設定したがけくずれ実験斜面での試錐の結果によれば，基盤である飯室泥岩の表面には 50cm 前後の微起伏がみられ，これとおし沼砂礫層中の地下水位の観測結果とを対照すると，地下水の流動は必らずしも基盤の微起伏にすんなり支配されているとは考えられず，また砂礫層中の地下水も今のところ一層のみと断定することは危険であるように思われるので，基盤地形のみを詳細にとらえたとしてもこれだけでは危険地点の予知という実践的な要求からは充分ではない。

地下水の挙動については相当長期にわたって計画的に観測することが必要であるので，この意味から総合研究期間が終った後も，観測が継続できるよう関係者のご理解とご協力をお願いしたい。

表層のくずれ

がけくずれのもう一つのタイプは表層のくずれである。川崎市生田の実験斜面付近の地形をみると，谷部のほとんどに比較的新らしい表層くずれの痕跡がみられる。前述の地下水型くずれに伴って発生したものもあろうが，単独にくずれたと思われるものも多い。

くずれが発生するにはすべりを生ずる不連続面が土塊内に生じなければならない。その境界条件と土の強度との関係ですべりが発生するかしないかがきまる。しかしこの不連続面の内容は明らかでない。多摩丘陵における表層のくずれは，多摩ロームと新規ロームとの不整合面ではないかという見方もあるが，はっきりしたことはまだわかっ

ていない。

一般に降雨時には浸透水による土塊の単位重量の増加のためセン断応力が増大し，また土塊内に間ゲキ水圧が発生してセン断強さが減少する。斜面の安定性を土質工学的に解析する方法はいくつかの仮定のうえに定型化されているが，本来土のセン断強さはただ土質だけによって定まるものではない。とくに関東ロームが骨骸構造をもつこと，含水量が多いこと，間ゲキ比が高いことなどから土質工学的に特殊な土であることが明らかにされていて，ローム斜面のセン断強さを有効応力や間ゲキ水圧の概念のみで説明することは不可能で，今後土粒子と水との関係から土そのものの強度低下を検討する必要があろう。そのためにロームの粘土鉱物学的な性状，膠結作用にもとづく結合力の化学的性状などについての研究が要求される。

ローム台地がけくずれの総合研究

あいついで発生した横浜市周辺のがけくずれや川崎市久末の灰津波災害が契機となって，「ローム台地のがけくずれに関する総合研究」がはじめられたのは昭和44年である。この研究は3ケ年継続で実施されるもので，研究内容と担当機関は次表のとおりである。

研究の項目と担当機関

研究項目	担当機関
地質特性に関する研究	通商産業省地質調査所
水理特性に関する研究	自治省消防研究所
斜面の安定性に関する研究	建設省土木研究所
斜面の崩壊機構に関する研究および研究の総括	国立防災科学技術センター

研究の内容は大きく2つに分けられる。その1は T_1 面，T_2 面，S面地域からそれぞれ約30km^{2}のモデル地域を選び，過去の空中写真を利用したがけくずれ履歴解析と地質構造調査からがけくずれの発生危険地域を追求するもの，その2は川崎市生田に実験斜面を設定し，主として土質工学的，水理地質学的にがけくずれの発生機構を検討するものである。

くずれの発生機構はもちろん，地質構造上から危険地域をしぼることも，経時的な観測による裏付けがなければうんぬんすることは出来ないので3ケ年という短かい研究期間で簡単に解決できる問題ではない。せいぜい与えられた範囲内で少しでも有効な資料をとり，今後のがけくずれ研究の素材にしたいというのがいつわりのないところである。

以上は主として地下水とがけくずれとの関係についての話題であったが，がけくずれのもう一つのひきがねとなる地震との関連について触れておこう。

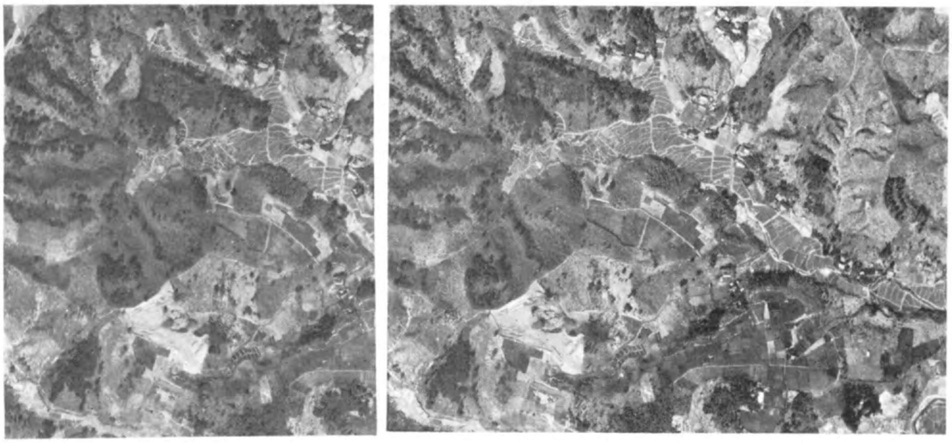
地震によるがけくずれ

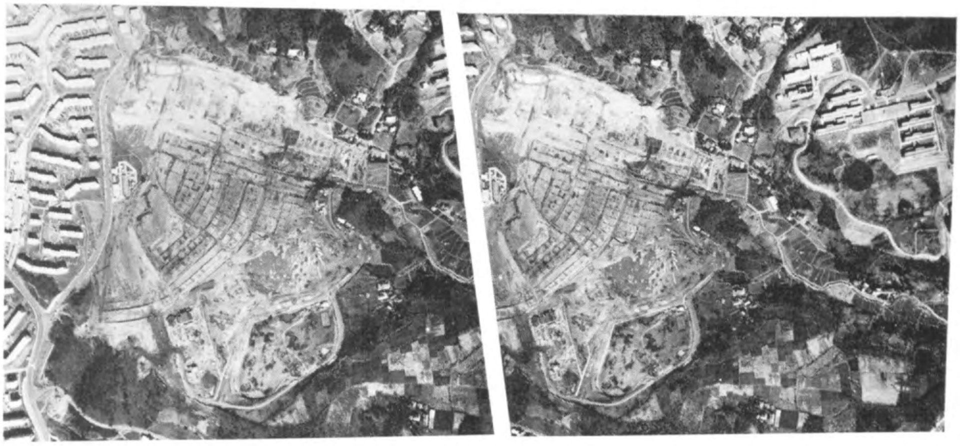
1968年十勝沖地震（M 7.8）では八戸火山灰層上部が，地震動により，下部の八戸浮石層の上部付近をすべり面としてすべり落ちた。八戸浮石層は著しく風化した軽石を含む空ゲキ率の高い粘土である。すべりの原因は地震の前3日間に215mmの降雨のため（五戸），含水量が増大していたうえに地震動によって剛性が減少したものであろうと報告されている。

また地震による地割れは，えびの地震（M 6.1）によって生じたがけくずれの背後に多数認められており（シラス台地ではあるが），また1968年十勝沖地震では，十和田市郊外三木野ケ丘の火山灰土の黒色風化ローム層台地に深い地割れが無数に生じた。昭和24年の今市地震（M 6.7）でも粘土質の緻密な地表層（恐らくローム層であろう）に亀裂が発生したことが報告されている。川崎市生田の実験斜面付近一帯の谷では，関東大地震（M 7.9）によって谷の肩線沿いに大きな亀裂が多数発生しその後長く残っていたが，昭和33年の狩野川台風による豪雨で一挙にくずれ，流出した土砂は現在の公園入口付近の旧水田面上に3mも堆積したと地元の古老から聞かされた。地震時のくずれや後遺症に由来するその後のくずれもおそろしいが，地震時に発生するもう一つの現象に注意する必要があるように思われる。

1968年十勝沖地震における国鉄の盛土の被害の大きかった個所は，①とくに小さな谷を横断する排水の悪い盛土（一種の土えん堤となっていた），②谷沿いの切土および盛土からなる部分のうち，盛土と地山との境界を流れる水の排水が十分でない個所，③あるいは広い谷を横断する盛土で②と類似の条件にあたる個所に分類されている。

被害を受けた盛土は，ほとんど，ローム，火山灰，砂を材料にしたもので，被害個所の土質試験結果から，盛土構造の破壊過程は，①，②については地震前の降雨により盛土内の間ゲキ水圧が増加し，盛土材料がほとんど飽和状態にあったが，地震動によりこれが流動化し，あるいはその剛性





上段：昭和39年3月8日撮影
縮尺 1/15,000
下段：昭和46年3月10日撮影
縮尺 1/16,000
右　：空中写真撮影区域（枠内），上方が北
縮尺 1/50,000

写真説明　東京都日野市倉沢付近の開発状況

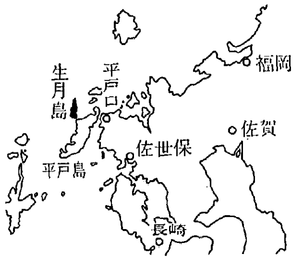
が減少したものであり，③については地震動により台地と沖積低地の取付け個所で盛土が大きいセン断ひずみを繰り返し受けたものであると考えられている。

現在進められている多摩丘陵の宅造個所が大地震に見舞われた場合，地質的，地形的条件や施工内容が上記被害個所のそれと類似していることから，谷を埋めた宅造地にも同じような現象が起るのではなかろうか。しかも被害を受ける個所が鉄道の盛土ではなく，住宅団地であることを考えるとそらおそろしくなるのである（写真参照）。

がけくずれと降雨との関係や，人工がけ，擁壁の安全性の問題，がけくずれの予報，防災対策等触れるべき点が残された。現在実施中のがけくずれ総合研究についてはいずれ紹介するつもりである。

おわりに引用文献，参考文献の著者に厚くお礼を申し上げる。

地すべりの島 生月島



大八木 規 夫*

佐世保から国鉄松浦線で約1時間半，平戸駅で下車，駅前の坂道を下っていくと桟橋がみえる。生月島まで直行便なら，平戸ロ港から船で40分で一部浦（いちぶうら）につく。玄海灘の荒波にもまれながら近ずくと，南北に続く生月島の背稜山脈ともいうべき玄武岩からなる台地状の山なみが目に映る。尾根の直下は急斜面で中段あたりからゆるやかなしかも段状に水田化された斜面が認められる。海岸付近，特に一部浦や舘浦（たちうら）など港の近くは人家も密集している。これほど離れた所に，これほど開けた所があるのかと驚かされる。西方貿易と隠れキリシタンで有名な平戸島の北西に位置するこの島は五島や他の島々と共に多数のキリシタン殉教者を出した悲惨な歴史を持っている。

生月島の人文地理的特徴は，すでに小出氏も指摘しているように異状な人口密度と職業構成であろう。南北10km，幅最大3km（南部）最小400m（北部）と狭長なこの島の面積は16.5km^{2}にすぎない。しかし，人口は11,145（昭和40年）そのうち漁業を生業とする人口44%，農業39%である。従って，生月島は漁業と農業でまかなわれており，しかも両者の重みは五分五分であるとみてよいであろう。農業の基盤をみると耕地率は36%に達し，水田率は耕地の47%である。水田の分布を平面図上でみると，大局としてこれから述べる地すべりの分布と重なり合うのである（図 2)。

水田はその大部分が島の東斜面に分布し，一部は西斜面及び南斜面にみとめられる。一方，地すべり等防止法に基く地すべり指定地は，森岳崎(139 ha)，里堺目（202 ha)，松本（166 ha)，山田(99 ha)，佳路（13.7 ha)，有景田（20 ha)，赤子(13 ha）の7ケ所が指定されている（図 1)。指定地総面積は，全島面積の39.6%にあたる653 haに達している。このうち赤子地区をのぞき全て東斜面にある。西斜面には殆んど地すべりはないのであろうか。図2は空中写真の判読から，変動した時代はともかく，地すべり地形として明瞭に判定されたものを表わしている。地すべり地の総面積は950.5 haに達し，全島面積の実に57.5%に相当する。この図から地すべり地は西斜面にも存在することが明らかである。しかし，東斜面の地すべりと西斜面のそれとでは，奥行が著しくちがう。東斜面は奥行が長く，従って斜面の傾斜がゆるやかである。空中写真で更にくわしくみると，西斜面の場合は地すべり地特有の凹凸の地形が明瞭で，特に最上部滑落崖の直下に窪地が認められる。地すべりの特徴が，このように東西斜面で異る原因は何であろう。考えられることは，生月島の骨組を作っている地質構造と，地すべり発生の時間的な問題である。時間の問題はしばらくおいて，ここで生月島の地質構造を簡単に述べておこう。

生月島は第三紀鮮新世と考えられている平戸層と，この上に不整合にのる安山岩類，およびその上にのる玄武岩類からなっている。平戸層は，砂岩，泥岩，およびシルト岩などからなる半固結の地層で，シルト岩や泥岩は露出すると風化してぼろぼろに崩れやすく，粘土化しやすい特徴を持っている。砂岩は，佐世保層群の砂岩よりはるかに軟かい。露出はきわめて悪く，松本地すべり周囲や海岸線にごくわずかの露頭をみるにすぎない。地層の走向傾斜は明瞭ではないが，松本地すべり付近の露頭から推定すると，ほぼ南北の走向で，東へゆるやかに（5°～10°）傾斜していると思われる。平戸層の上に水平ないし南北へゆるやかに傾斜する不整合面を境にして火山岩類がのる。火山岩類の大部分は松浦玄武岩類と考えられるかんらん石玄武岩および凝灰岩，凝灰角礫岩などである。玄武岩類は生月島の最高峰である番岳（286 m）をはじめ，台地状の山地を構成している。また，さきに述べた地すべり地形の最上部の急斜面はこの玄武岩類からなっている。このような地質構造から考えると，東斜面の地すべりは第三紀平戸層の地層の傾斜方向にそったすべりであると推定され

* 流動研究官

図-1　生月島の地すべり指定地

図-2　生月島の地すべりと水田の分布

図-3　生月島の地質図

よう。そうすると，一次的すべりならいわゆる流れ盤地すべりが考えられ，形態としては block glide や planar glide が考えられる。佐世保付近でいえば，鷲尾岳地すべりや平山地すべりのようなタイプである。二次的すべりなら，地層面の上にのった崩積層すべりが考えられるのである。西斜面は，平戸層の傾斜と逆傾斜方向へのすべりである。従って，地すべりの形態としては回転の著じるしい slump が考えられる。たとえば乙女地すべり，人形石山地すべりのタイプである。

ここで東斜面の地すべりをもう少しくわしくみると，標高数 10 m 以上の台地性の斜面とこれよりはるかに低い低位の斜面とが識別できる。地すべり指定地は，これら両者をひっくるめて森岳崎，里堺目（写真 1），松本（写真 2），山田（写真 3），佳路，有景田の 6 地区が設定されている。実際には，それぞれの地すべり地を明瞭に区分できるわけではない。低位のものは海岸線に沿う中規模のもので，面積は 10 ha から数 10 ha におよぶ。それらは，岳崎触，森触の東側，一部浦，堺目触，松本および館浦にあって，上の指定地の中に含まれ，現在なんらかの変動とそれに伴う被害がでており，対策工事も行われている。このうち松本地すべりは，もっとも変動の著しい地すべりである（写真 2）。近世の状況はあきらかでないが，明治以降は明治 13 年，22 年，41 年，大正 3 年，昭和 10 年，14 年，20 年，28 年，そして最近では 42 年と間歇的に地すべりを起こしている活発な地すべり地である。このうち，明治22年，昭和10年，28 年の変動は特に大きかったといわれている。これら地すべり変動は，5～9 月の間におこり，特に 6，7 月が多いことから，梅雨期との関係が深いと推定される。昭和42年の地すべりは 7 月 9 日九州西北部から瀬戸内海沿岸ぞいに東進し，阪神地区までの範囲を襲い多大の被害をだした集中豪雨に関係するものであった。その前，5 月 10 日から 6 月

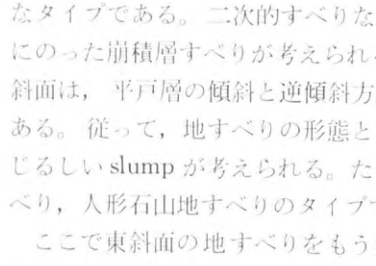


写真-1　山頭から番岳（286 m）およびその前面にひろがる界堺目地すべり指定地をのぞむ

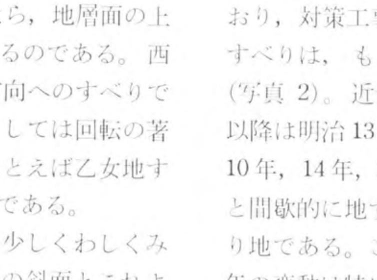


写真-2　山頭から松本地すべり（中央部）をのぞむ。すでに区劃整理されている

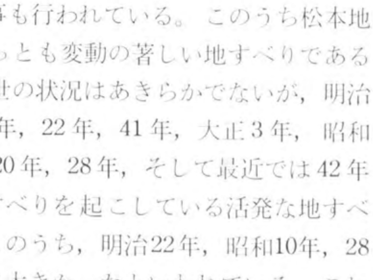


写真-3　山頭から山田・佳路地すべり指定地をのぞむ　海峡をへだてて遠景は平戸島

21日の43日間は殆んど降雨がなく，松本地すべりは，その殆んどが水田として利用されていた。水田にはサン・クラックがはいり，早期栽培稲は干ばつの被害を受けていた。その後6月22日からわずかではあるが降雨がはじまり，7月の4日から降雨が増加し，9日までの6日間に合計267.5 mmに達した。変動は7月の9日朝発生した。最大移動量は約8 m に達し，最上部の崖直下には窪地が発生し現在池となっており，末端部には海面に細長い島が現われた。後者は末端隆起である。被害はもともと人家はなかったので水路，道路，水田の畔などの農業施設の破壊が主である。泥流のような著しい変動はなかった。これらの変動の特徴は，昭和10年の大地すべりのときとほぼ同様な形態をとっている。地すべり地の傾斜は，上部が 6° 下部が 5° ときわめてゆるやかであるが，中央部に平均 9° のやや急な中斜帯があって，上下2段の緩斜面をわけている。この形態も昭和10年の大地すべり後すでに存在していたが，42年7月の地すべりによって乱されていない。このように，全体の形態を乱さず，わずかな量づつすべる運動パターンから，松本地すべりは流れ盤地すべりの構造をもっているものと推定される。

松本をのぞく他の地すべり地は，地表面に幅10～50 cm 延長 60～150 m 程度の亀裂が多数入り，耕地の陥没や傾斜，あるいは亀裂に沿う段ちがいを生じるなどの地表面の変形が認められている。堺目地すべりの例をみると，大正初期から亀裂が入り，昭和26年，28年の豪雨によって移動したり，新たに亀裂が入ったりしている。しかし，松本におけるような活発な変動は現われていないようである。地すべり地の構造はこれらの場合にも明らかではない。長崎県当局では第三紀平戸層の上にのった崩積層のすべりとみなしているようである。

松本地すべり地の南に，東西に並んだ3個の小丘がある。それらの平面形は長径180～320m, 短径140～180mのほぼ楕円形を示している。周囲との比高は斜面背後とは数m，前面とは 18～30m で割合ゆるやかな斜面勾配をもっている。小丘の周囲は水田化されているが，小丘は畑地，林地および住居地として利用されている。住居は小丘の頂部よりは斜面にある場合が多い。もうひとつ興味のあることは，井戸が小丘の周囲に多いこと，しかも湧水が小丘の脚部とくに東側にしばしばみられることである。小丘を構成する地質は試錐の結果によると深度20～数10 m まで玄武岩類であり，その下に第三紀平戸層があるが，ときに両者の間に玄武岩や泥岩などの礫をまじえた粘土層が挟まっていることがある。これは玄武岩類からなる小丘が，地すべり変動によって移動した岩塊であることを暗示するのではないだろうか。空中写真によって，北松地方の五蔵岳北方に認められる旧期の地すべり地形と比較すると，生月島の小丘は五蔵岳のものより起伏は小さいが全く同様なパターンを示しているのである。生月島を訪れた研究グループの中では羽田野誠一氏や筆者は小丘は地すべりによる移動岩塊と考えている。生月島南部にはこれら3個の小丘の他に，移動岩塊と疑われるものが数個認められる。移動岩塊を生じた地すべりの発生時期の問題は洪積世から現在までの海水準の変化との関連で興味ある問題である。

図-4 松本地すべりの概要

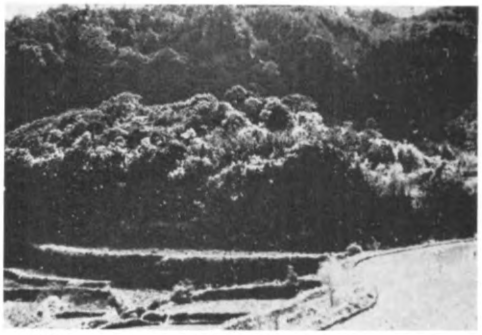


写真-4 古い地すべりにより玄武岩の移動岩塊からなる小丘

生月島の西斜面では海岸線方向 5.6 km にわたって地すべり地形が認められる。東斜面の場合とは異って，西斜面では少くとも5個のブロックに区別できる。これらのうち，相接したものは時間的前後関係の明瞭な組合せも認められる。図2のように各ブロックを北から A, B, C, D および E とすると A は B の北部を切り取った形ですべっていることから A 地すべりの現在の形態ができたのは B 地すべりのそれより新しいということになる。また D は C の南部と E の北部を切り取っていることから，D 地すべりの現在の形態発生は C,

およびＥのそれより古いということになる。しかし，全体の順序はきまらない。さて地形的な特徴としては最上部の急崖とその直下の狭長な窪地，およびその前面のやや広い窪地と小丘との入り混じった配置である。これらは slump タイプの地すべり地特有の地形である。一方地質的証拠として面白い事実が海岸で観察できた。Ａ地区の北の不動地帯では玄武岩溶岩が海蝕崖にそってみごとな六角柱状節理をあらわしている（写真 5)。日本では兵庫県丸山川右岸の玄武洞，外国ではスコットランド・ムルのフィンガルの洞窟や北アイルランドのジャイアンツのコースウェイなどみごとな六角柱状で知られた名勝がある。生月島の柱状節理（写真 5）は対角線の長さ平均 1 m もある大きなもので，この点で珍らしく，名所の一つである。柱の主軸方向はほぼ鉛直に近い。この海岸線を南に下るとＡ地区北部の slump によってできたと考えられる小丘がある。その海蝕崖面に露出しているものは玄武岩溶岩や凝灰岩の乱れた岩塊からなり，最下部の干潮帯付近では岩塊の柱状節理が山側へ倒れている。これは図に示すような回転を伴った地すべりによる傾動と考えるとよく理解できるのである。写真６は遠景に不動地の鉛直な玄武岩の柱状節理，近景に回転を伴なう地すべりによって山側へ倒れた柱状節理を示している。

西斜面の地すべりと東斜面の地すべりとの関係をみてみよう。生月島の中央部，番岳の南では西斜面の地すべりと東斜面の地すべりとが接しているところがある。ここでは番岳の東山腹を南南東に走ってきた旧地すべり地形最上部の急斜面やその直下の凹地形が西斜面Ｃ地区の最上部の急崖で切られている。これから考えると，東斜面上段にみられる森触から山田へいたる広大な地すべり地形は，西斜面のものより古い時期に形成されたと

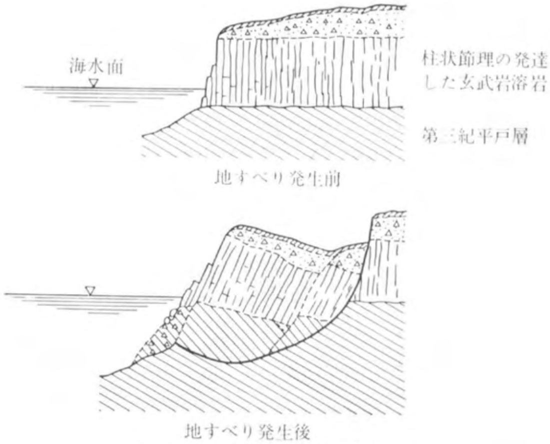


図-5　地すべりによる柱状節理の転倒

推定されるのである。堺目，松本など現在問題になっている中規模の地すべりは東斜面上段の地すべり地形より新しいものであろう。これと西斜面のものとの時間的な関係は明らかでない。

東斜面がゆるやかで，西斜面がけわしい二つの対象的な地すべりパターンの特徴を作りあげているものは，平戸層がゆるやかに東傾斜しているという地質構造に加えて，西海岸では東海岸にくらべてはるかに強大な波浪作用が加えられるという侵触営力の違いを考慮しなければならない。

地すべり地を離れて島の北部御崎に行くと，うねうねとした緑の牧場と赤紫色の海食崖，そして紺碧の玄海灘が広がり，その対比は公害都市にあえぐ我々には想像に絶する自然がある。ここ生月島では，地すべり地すら，我々に語りかけてくる美しい自然である。本州の平野を次々汚染してきた我々日本人は，最後の生存地をどこに求めるのであろうか。僻地，離島，過疎地帯としてとり残された地域の明日の役割を考えるとき，これら地域の国土の保全に今から十分な手を打っておく必要があるのではなかろうか。

写真-5　みごとな六角柱状節理，対角線の長さは 1 m 近い

写真-6　地すべりによって転倒した柱状節理（近景）と，非地すべり地のほぼ鉛直な柱状節理（遠景）

NATIONAL RESEARCH CENTER FOR DISASTER PREVENTION

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

防 災 科 学 技 術　　No. 19 1971 May

昭和 46 年 4 月 20 日　印刷
昭和 46 年 5 月 1 日　発行

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

印　刷　有限会社　啓文堂松本印刷