

# 爆 破 地 震 動

垣 見 俊 弘 (環境地質部) 市 川 金 徳 (物理探査部) 正 井 義 郎 (総務部)

## 地 震 探 査 と 爆 破 地 震 動

最近 地震予知についての社会的な関心が高まるにつれて 新聞やテレビで爆破地震とか人工地震という言葉が知られた方も多きことであろう。同時に 爆破地震について筆者らへの問い合わせも多くなった。なかにはあきらかに誤解されていると思われる質問も混っているので ここでは爆破地震について解説を試みたい。

爆破地震はなにも最近になって行なわれるようになったわけではなく 地下の地質構造を探る物理探査の手段としてはむしろ古典的な方法の一つである。

岩石に何か急激なショックを与えると それは振動となって 地中あるいは地表の岩石を四方へ伝わっていく。これを弾性波あるいは地震波といっている。弾性波の伝わる速さは岩石の種類によって異なる。また 異なる岩石の境界では 弾性波は光と同様に屈折したり 反射したりする。このような弾性波(直接波・屈折波・反射波など)を適当な場所に並べて置いた地震計でとらえ 弾性波の速度や波形を解析することによって 地下の構造や 岩石の物理的性質を調べることができるのである。

弾性波を発生させる方法にはいろいろある。小規模な場合には 高い所からおもりを落したり 地上に置いた厚い板をたたく方法や 電気的な振動や空気圧を利用することもあるが 強力な弾性波を得るためには 爆薬(ダイナマイト)を利用することがふつうである。地球の構造を求めるためには 弾性波の発振源として 遠方の大地震や 特殊なケースとして核爆発が利用されたこともある。

爆薬を用いて発生させた振動を 爆破地震動という。人工的に得られる振動なので人工地震という場合もある。ただ 最近では人間の活動 たとえば水の地下への圧入によって 自然地震が誘発される場合もあることが知られるようになった。この誘発された地震に対しても人工(あるいは人造)地震(man-made earthquake)と称する場合があるので ここでは爆破地震動の語を用いることにする。

自然地震の規模によって 大・中・小・微小地震を区別するように 爆破実験の規模も爆薬の量により 大・

中・小爆破と言われることがある。大爆破とは ふつう 1 回の爆薬量が 200kg 以上のものを指す。大規模な実験では 1 回に何トンもの爆薬を用い 数 100km の遠方まで弾性波を到達させ 30~40km の深さ(地殻の底まで)の地下構造が求められる。筆者らが地震予知のために行なっている実験では 1 回の爆薬量が 300~600kg 程度である。爆破地震動を地震予知のために使うのは 次の 2 つの理由からである。

第 1 には 地下構造を正確に求めることによって 地震の震源位置の精度を高めたり 地下に潜在する断層を発見するために行なわれる。これはまさに地震探査そのものである。

第 2 には 地震の前兆現象として期待される震源域を通る弾性波速度の変化をとらえることを目的とするものである。このためには 何年にもわたって同一の場所で爆破地震動を繰り返し発生させ 同一の場所で観測する必要がある。

地震波速度の変化の理論的根拠や 実験の方法については 地震予知の解説書が多数あるので それを参照されたい。

## 爆 破 地 震 動 を 発 生 さ せ る ま で

地質調査所では 地震予知研究のために 毎年 伊豆大島北端部の乳ヶ崎(写真 1 2)において地震動を発生させ 本土側で観測を繰り返している。第 1 図に爆破点と観測点の位置を示す。爆破は深夜に行なわれるので その瞬間のよい写真が得られなかったが たまたま昨年(1976年)12月には強力な照明のもと 爆破の瞬間をとらえることができた。これを機会に この地点における爆破作業を例にとりて 爆破地震動を発生させるまでの経過を説明しよう。

作業はまず爆破地点をボーリングすることから始まる(写真 3~5)。深い孔の中で爆発させるのは 爆発によって地表が陥没したり 石が飛び散ったりする危険を避けるためでもあるが それより重要なことは 爆発のエネルギーを地表に散らさず 弾性波に効率よく変えるためである。このために ボーリング孔内には 装て

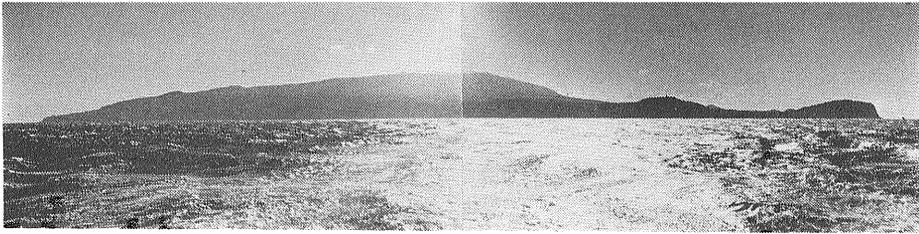


写真1  
伊豆大島北端付近の全景  
爆破作業は写真の右端 乳  
ヶ崎の裏側で行なわれた

んしたダイナマイトの上に地表まで水を満たし その水圧によってエネルギーが逸散するのを防ぐわけである。この点が 岩石を破砕することを目的とする採石発破や土木工事のための発破とは異なる点である。採石発破でもときには何トンものダイナマイトを一斉に爆発させることがあるが その割には地震動は大きくならないのが普通である。

孔の深さは 使用するダイナマイトの量によって異なり ダイナマイトの上位の地盤強度が爆発力を十分支え

られるように決められる。ふつう数10m以上 大島でも500kgを1孔で爆破する場合には80~100mである。

孔径はなるべく大きい方がよい。瞬間的に大きなエネルギーを得るためには ダイナマイトの長さ(薬長)が短い方がよいからである。しかし掘さくの経費を考えるとあまり太くもできず ふつうは10~30cmの径が用いられる(写真3 5)。大島の場合は10cmである。大爆破の場合には 薬長を短くするため 少量の爆薬(1~数kg)をあらかじめ孔底で爆発させ 側壁



写真2 爆破点の全景と火工所

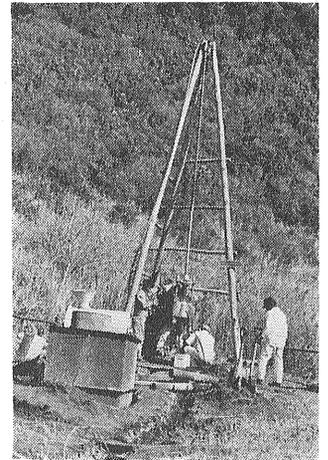


写真3 ボーリング風景(ロータリー式 孔径10cm)



写真4 ボーリングから得られたコア(玄武岩溶岩)

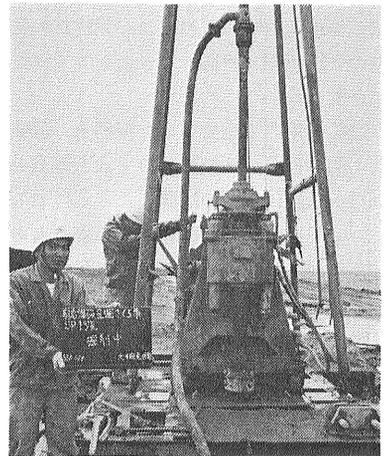


写真5 やや径の大きいボーリング(パーカッション式 径25cm) [川崎市扇島の作業より]

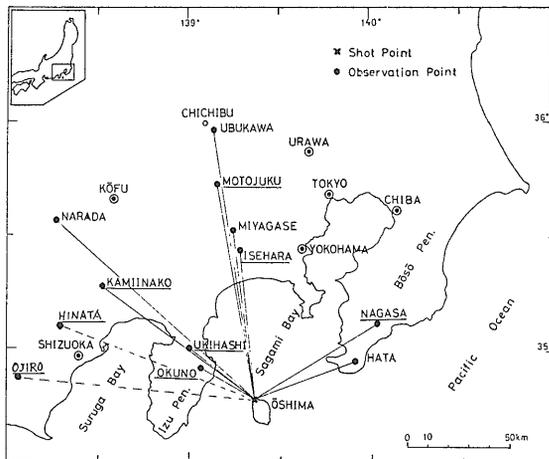
をひろげておくことがある。これは拡底発破と呼ばれている（写真6 7）。

ボーリング孔は 孔壁のくずれを防ぐためケーシングパイプで保護されている。ケーシングは まれに爆薬装てん後に最上部のガイドパイプだけ残して引き抜かれることもあるが 大島では逸水を防ぐため引き抜かずそのまま爆破している。

ケーシングのヘッドは 爆破の際に地表から抜け上ったり飛び出して不測の事故をおこさないように 杭やワイヤーでしっかりとアンカーされている（写真8）。

ボーリング作業が終り 爆破の前日になると パトカーの先導で爆薬が火薬庫から現場に運びこまれる。

爆薬にはダイナマイトを用いるのがふつうである。大島においては 物探用新桐ダイナマイト（深海用）を使用している。この爆薬には数 10m~100m（≈10気



第1図 地震波速度研究のための爆破点(×)と観測点(●) アンダラインを付けた地名は51年12月に観測したところ

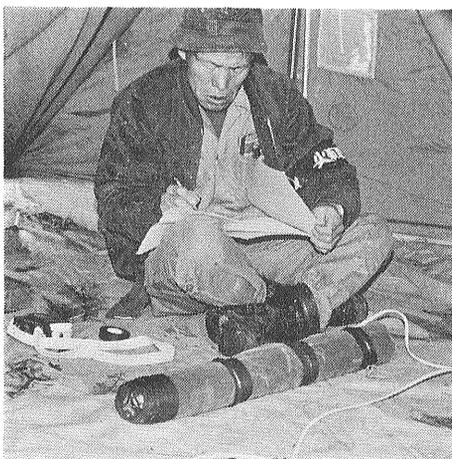


写真6 拡底発破のための雷管付爆薬の作成

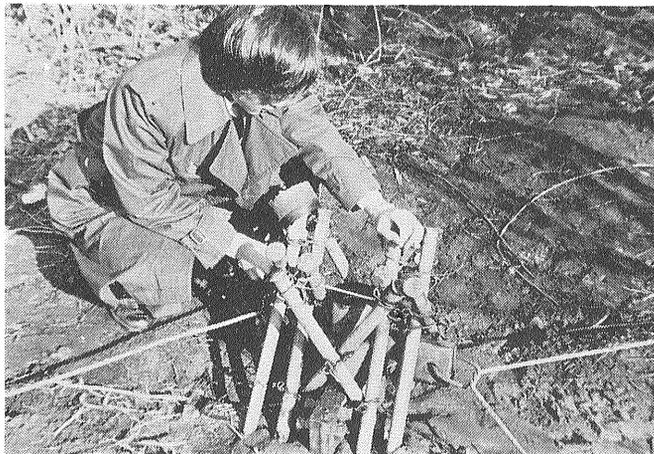


写真8 杭とワイヤーで固定された爆破孔



写真7 拡底発破の瞬間

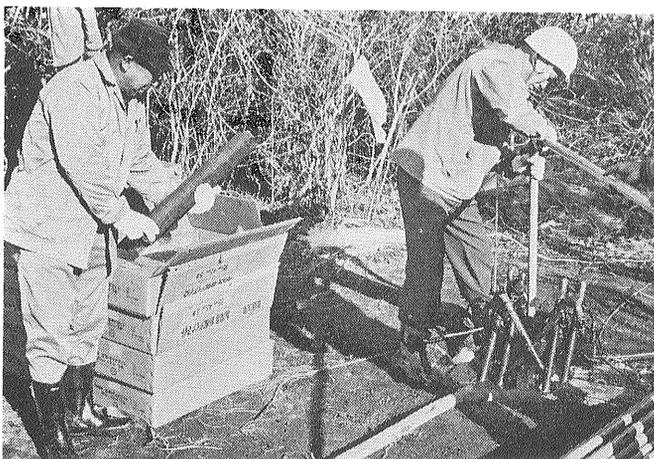


写真9 径85mm 4.5kgのダイナマイト100本が使用される。

圧)の水圧に耐えて確実に爆発すること 長時間海水に浸っていても性能が落ちないことなどが要求される。

ダイナマイトは 孔の大きさに応じて 写真9のように棒状に分けられ 厚いパラフィン紙などにくるまっている。写真では1本が4.5kgであり 1回の爆破にこれが100本使用される。これを地表まで水(大島の場合は海水)を満たした孔に入れてやる(写真10)。ダイナマイトは水中をしずかに沈んでいく。1~3本のダイナマイトが装てんされるたびに ジュラルミン製の込め棒(写真11)で押し込み ダイナマイト同志を密着させるべく薬長を短くし爆破の効率をよくすることををはかる。すべての爆薬を装てんし終るには何時間もかかることがある。

最後に 残しておいた3~5本のダイナマイトを火工所においてつなぎ合わせ 数個の電気雷管を埋めこみこれを導線に直列に結線する。これは親爆薬(親ダイ)

と呼ばれる。親ダイは導線に力がかからないよう竹ひごなどにむすびつけられて 竹ひごと孔内に装てんされる(写真12~15)。その後 導線の導通テストを行なったのち結線を一時短絡しておくが 爆破直前になってはじめて雷管と発火器が接続され すべての準備完了となる。なお 言うまでもなく ダイナマイトを使う作業は火薬取締法で厳重に規制されており 取扱技術者にはライセンスが必要である。

爆破は 爆破点からやや離れたところに臨時の指令室(兼観測室)が設けられ そこで行なわれる(写真16)。ここでは爆破のスイッチを押すほかに 爆破点の直上部(アップホール)の地震計や 爆破点からほぼ一定間隔で並べた種々の地震計の記録もとられる(写真17 18)。前者(アップホール)は爆発の瞬間を正確に刻時するための補助であり 後者は必要に応じて 爆破点付近の地震波速度や地下構造 あるいは振動の強さなどを知るた



写真10 ダイナマイトの挿入



写真11 ジュラルミン製 込め棒による爆薬の挿入作業

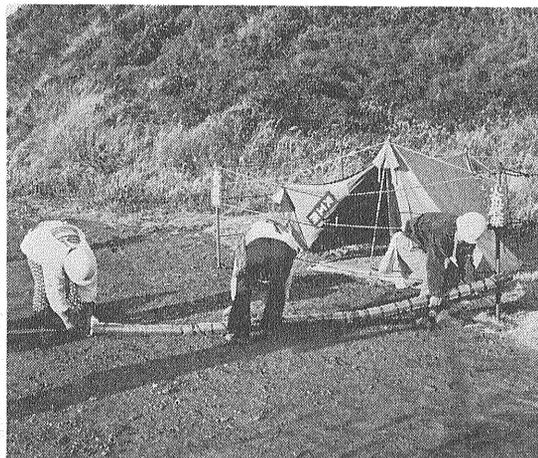


写真12 雷管付きダイナマイト(親ダイ)の巻き上げ



写真13 親ダイの挿入

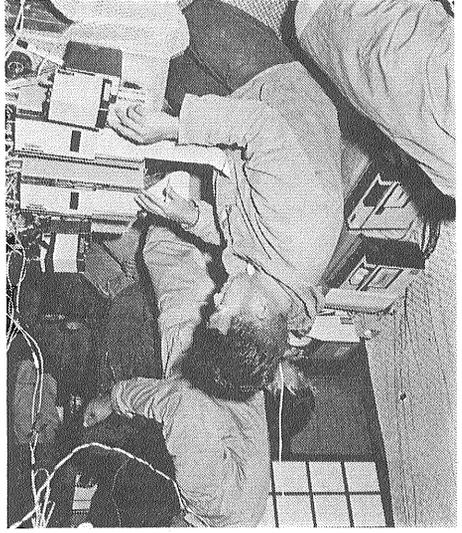


写真18  
秒読み開始とともにモニタ  
ー記録紙が一齐にまわり出  
す。

写真19  
爆破スイッチを押す直前の  
秒読み

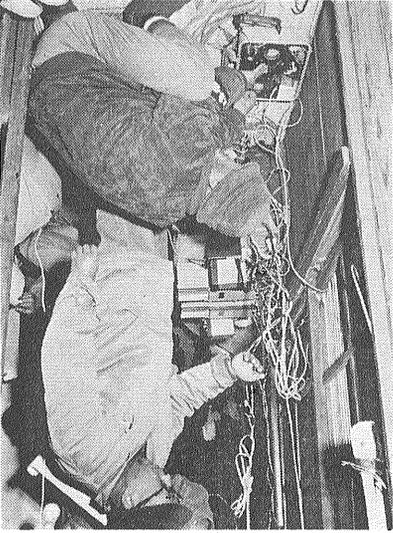


写真17 観測室の内部

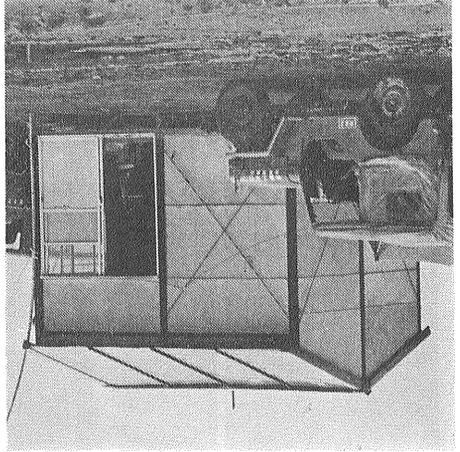


写真16 観測小屋（川崎市扇島の爆破作業）



写真15 径の大きい鋼パイプ製の袋に入れて挿入される（川崎市扇島の爆  
破作業）

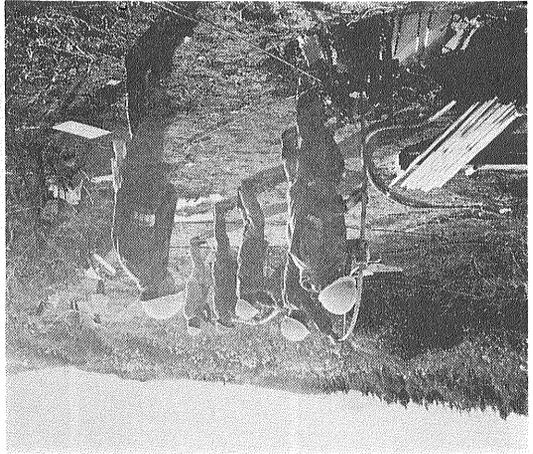


写真14 導線を保護する竹ヒコが延々と続く 爆薬の装てん作業も  
これで終る。

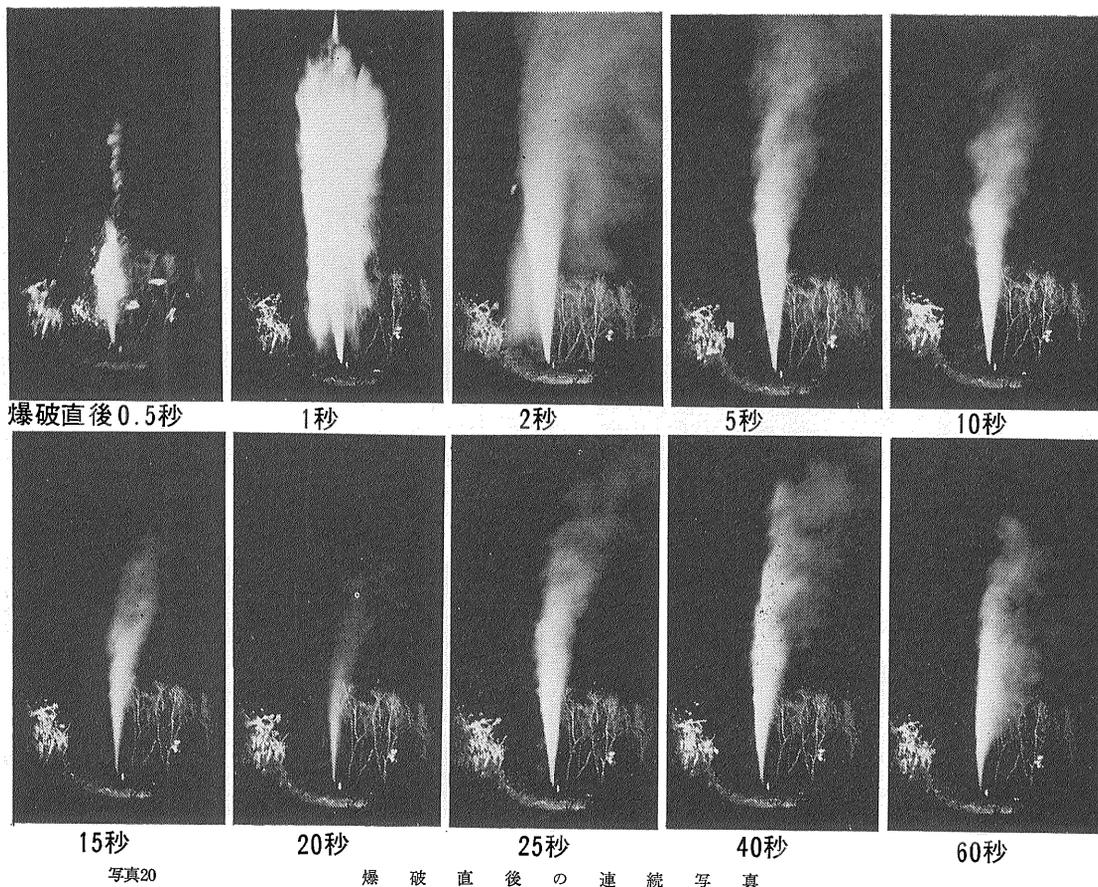


写真20

爆 破 直 後 の 連 続 写 真

めである。〔最も重要なことは 爆破瞬間刻時(shot mark) と J J Y時刻は必ず記録させる〕

爆破担当者は J J Y時報を聞きながら 所定の時刻にスイッチを押す(写真19)。この瞬間に実験の成功か不成功かがきまる。ベテランの技術者の話によると 爆破のスイッチを押す瞬間だけは 何十回繰り返しても慣れることはないという。大爆破の場合 遠距離に到達する微弱な弾性波をとらえる必要上 爆破はかならず深夜の午前1～4時頃 雑振動(ノイズ)のもっとも少なくなる時刻をねらって行なわれる。連続写真20は 昨年12月の爆破の瞬間をとらえたものである。

爆破点のごく近くでは 爆破の瞬間に足もとから地面がつき上げられるようなきわめて短いショック(振動)と ほとんど同時にややにぶい音を感じる。次いでダイナマイトの化学変化から生じた高いガス圧のために 孔内の水が激しい勢いで吹き上げられる。水柱の高さは数10mにも達する。写真20の場合は強風下であったため 水柱は途中から横なぐりに吹きとばされて それほど高くは上っていないようである。水の噴出状況は 地下地質や孔径 爆薬量 深さなどによって異なり 一

概にはいえないが 一般には2度～3度と息をつくように水勢が盛んになったり 衰えたりする。最後には泥水を吹き上げることもある。

ボーリング孔による爆破は 採石や土木工事の発破と違って 岩石が横に飛び散ることはない。しかし何といっても大量のダイナマイトの爆破であるから 爆破点に近づくことは厳禁であることは言うまでもない。

### 爆 発 に よ る 振 動

筆者は昨年 「伊豆大島で人工地震をおこすと伊勢原(神奈川県西部 爆破点からの距離およそ 72km)では震度いくらになりますか?」とまじめに質問されて仰天したことがある。伊勢原の位置は第1図を参照されたい。これほど極端ではないが たとえば「大島では震度いくつの人工地震を起すのか」という答えようのない質問や 「大島の北端で爆破すると島の中央部では震度がどの位になるのか」といった質問はよく受ける。まともな質問としては 「大島での人工地震のマグニチュードはいくつぐらいに相当するか」というのもあった。これらはいずれも 爆破地震とか人工地震というキャ

ツチフレーズから 私達が経験する自然地震を思いうかべて発せられた問いであろう。しかし 爆破点付近に住む人々が 自分達のすぐそばで“地震”を起されると聞くと 迷惑に思い また被害が出ないかと心配されるのももっともなことである。

ここでは 爆発によって生ずる振動と 自然地震との違いについて簡単にふれ 質問にお答えすることによって 大方の御理解を得ることとしたい。

地震の<sup>・</sup>がらの大きさを示すには マグニチュード(規模)という言葉が使われ Mと略称される。マグニチュードは 地震の震源から 100km はなれたところに標準の地震計が置いてあったとして その地震計の針が画く(はずの)最大振幅をマイクロンの単位で計り それを対数で表した数値 というややこしい形で定義されている。大ざっぱにいうと マグニチュードはその地震によって放出される振動のエネルギーの総量を対数の形で表したのだともいえる。したがって Mは1つ1つの地震ごとに定まる固有の値である。

マグニチュードが1だけ大きくなると 地震のエネルギーはほぼ30倍大きくなる。たとえばMが5の地震に比べると M7では約1,000倍になり 逆にM2ではおよそ3万分の1ということになる。

ダイナマイトの爆発の場合には 全エネルギーのうちの一部が振動のエネルギーに変わり その量に応じておおよそのマグニチュードを決めることができる。たとえば500kgのダイナマイトの爆発による振動エネルギーは M2よりやや小さい程度である。これは 1974年の伊豆半島沖地震のM6.9とくらべると3千万分の1 1923年の関東大地震のM7.9とくらべて10億分の1くらいに相当する。

一方 自然地震の起こり方には規則性がある。Mが1だけ小さくなると発生数はおおよそ1ケタ増える傾向がある。たとえば日本付近ではMが7の地震は平均して年間1回 M6台の地震は約10個程度おこる。これから勘定すると Mが2程度の地震は年間に10万個もおこっていることになる。

一方 地震による揺れの強さ(感じ方の程度)を表わすには 震度という語が使われる。Mの小さな地震でも近くでは大きくゆれるし 大きな地震でも遠ければあまり感じない。震度は地震に固有の値ではなく ある場所でのゆれの程度を表わすものである。震度いくつの爆破地震かと聞かれても答えようがないことはこれでおわかりであろう。第1表には気象庁で使われている震度を示す。

ダイナマイトの爆発によって近くの地面がどれくらい

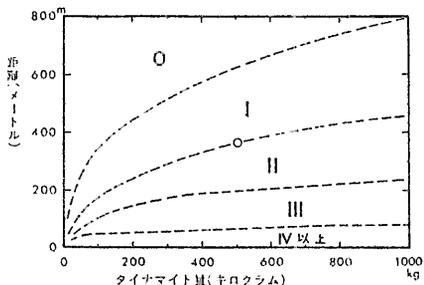
第1表 気象庁震度階級

震度	名称	説 明
0	無感	人体に感じないで地震計に記録される程度。
I	微震	静止している人や 特に地震に注意深い人だけに感ずる程度の地震。
II	軽震	大勢の人に感ずる程度のもので 戸障子がわずかに動くのがわかるぐらいの地震。
III	弱震	家屋がゆれ 戸障子がガタガタと鳴動し 電燈のようなつり下げ物は相当ゆれ 器内の水面の動くのがわかる程度の地震。
IV	中震	家屋の動揺が激しく すわりの悪い花びんなどは倒れ 器内の水はあふれ出る。また歩いている人にも感じられ 多くの人々は戸外に飛出す程度の地震。
V	強震	壁に割目がいり 墓石 石燈籠が倒れたり 煙突 石垣などが破損する程度の地震。
VI	烈震	家屋の倒壊は30%以下で山くずれが起き 地割れを生じ 多くの人々は立っていることができない程度の地震。
VII	激震	家屋の倒壊が30%以上におよび 山くずれ 地割れ 断層などを生ずる。

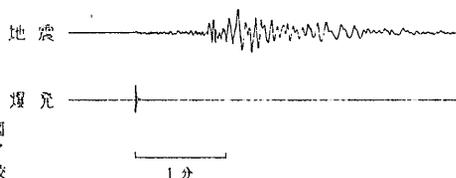
振動するかは その付近の地盤の状態や地質構造 地形などによって異なり 震度はかならずしも同心円状に分布するとは限らないが 第2図にはごく標準的な地盤において爆薬の量と爆破点からの距離に応じて 地面がどれくらい震動するかを 気象庁震度階(第1表参照)に換算して示したものである。

この図で たとえば500kgのダイナマイトを爆発させた場合 震度II(戸・障子がわずかに動くのがわかる)以上になるのは 爆破点からおおよそ350m(図中の○印)以内の範囲ということになる。またこの図では 600m以上離れていれば震度0で人体には感じない ということになる。ただし 深夜で雑震動が少なく しかもあらかじめ時刻を知ってその瞬間を待ちうけているような場合にはこれより遠くの人にも震動として感ずることができる。なお まれには地質状態によって特定の地帯だけ帯状に遠くまで震動を感ずる場合もある。しかし少なくとも数km以上離れた地点では 人体にはもちろん感じなくなり 高精度の地震計にのみ感ずる程度の振動となる。したがって 伊勢原はもとより 大島中央部にも震度で表現できるほどの振動は伝わらず 人が歩いたり 小さな石ころが落下した時に生ずる振動よりずっと微弱なものとなる。

なお 同じ震度であっても爆破地震動と自然地震のそれとではゆれ方がかなり違う。たとえば 地震計の最大振幅が同じ値を示し どちらも震度IIに換算された場



第2図 爆発による振動の程度



第3図 自然地震の波とダイナマイト爆発による振動の比較

合でも 第3図のように遠くの大地震による場合はゆっくりした振動がユサユサとかなり長い間続くが 爆破による振動はほんの瞬間的にガクンと感じられるだけである。振動が人体や建物に与える影響は震度一加速度

(ガル)や速度(カイン)で定量的に示される一とともにその継続時間も大きく関係してくる。したがって爆破地震動は同じ震度を示す場合でも 自然地震の場合よりは その影響ははるかに小さいと言える。

おわりに 毎年この実験に多大の御協力を載っている東京都大島町の方々 とくに爆破点付近の岡田新開地区の方々に厚く御礼申し上げ 今後の御協力をお願いいたします。

新刊紹介

「新地学教育講座」

昭和30年に「地学教育講座」(福村出版)全16巻が 地学団体研究会によって発行され 広く普及された。それから約20年 地学の各分野の発展はまことにめざましいものがあり 国民の地学に対する関心も そのころとは比較にならないほど高まっている。

ところが 学校での地学教育とはいえば 依然として地学は「おもしろくない」「教えるににくい」科目だといわれることが多い。その原因の1つに すぐれた地学の教育普及書(体系的でしかも理解しやすい)の不足が挙げられる。

地学団体研究会は 昭和51年で創立30周年をむかえたが 記念事業の一環として 上記の要望にこたえ 旧版と面目を一新した 新しい地学教育講座の出版を企画した。そして 全16巻のうち 昨年の9月には第3巻と第8巻が 10月には第1巻と第4巻が それぞれ発行され 残りも逐次(毎月2巻ずつ)発行の予定となっている。

この講座の企画にあたっては 地学教育にたずさわる全国の小・中・高・大学の教師にアンケート調査をおこなってこまかく内容を検討し 第一線の研究者が執筆した原稿を小・中・高の教師がリライトし さらにそれを編集委員会でもまとめあげるという「研究」と「教育」のフィードバック方式でとりくまれたことが 序文にのべられている。

今回出版されたものとみると 文章は平易で 説明はていねいであり 内容の系統性についても充分要望にこたえているように思われる。たとえば 第1巻でのジオイドや重力異常 第3巻での複屈折やベック線の説明などは 従来の教科書・普及書などにくらべて格段にすぐれている。第3巻では 鉱物

のこまかい分類や結晶の空間群などにあてるページを思いきってへらし かわって 土や砂の中の鉱物の観察 生体における鉱物の生成など 身近な題材を重視しているのが目立つ。一方では 地磁気原因論(第1巻) 結晶内部構造論(第3巻) マグマ発生論(第4巻)など 現代地球科学の第一線の研究内容がくわしく紹介され 隣接分野の研究者にとって読みごたえのある部分である。第8巻では「日本列島地質構造発達史」(築地書館;英文 1965;和文 1970)の骨子とそれ以後の主要な研究成果が簡潔にまとめられている。なお 地下資源(旧版では第13分冊)の説明は 第4巻(岩石)の最後の章におさまられている。

以下に 各巻の標題と監修者名のみをかかげておく。

- 1 地球(横山 泉)      2 地震と火山(横山 泉)
- 3 鉱物(八木健三)    4 岩石(舟橋三男)
- 5 地球内部の物理・化学(牛来正夫)
- 6 地層と化石(大森昌衛)
- 7 地球の歴史(山下 昇)
- 8 日本列島の歴史(湊 正雄)
- 9 地形と土壌(多田文男)
- 10 海洋と陸水(星野通平)
- 11 星の位置と運動(古畑正秋)
- 12 太陽系(古畑正秋)
- 13 星と宇宙(古畑正秋)    14 気象I(伊藤 博)
- 15 気象II(伊藤 博)      16 自然と人間(郷原保真)

地学団体研究会編

A5版 各巻1,600円

発行元 東海大学出版会

(東京都新宿区新宿3-27-4 東海ビル内)

☎(03) 356-1541