

地震時における炭鉱内の震度について

高橋 学¹⁾・小出 仁¹⁾

1. はじめに

「地震, 雷, 火事, 親父」昔から言われているこわいものたとえである. いつの時代も「地震」が最も恐れられているのは, 時間的には一瞬であるのに対し, 被害は甚大となることによるのかもしれない.

今世紀に発生した地震を地震の規模で並べると第1表のようになり, ほとんどが環太平洋地域に集中している. 第1表はマグニチュード順で整理した場合であるが, 死者数の順では第2表のようになる. いずれの地震の場合も, ほぼ一瞬といえる時間のうちに多くの生命が奪われている. 数10万人の人間の死をどのように考えたらよいのか, あるいはその状況をどのように想像したらよいのか, その術をまったく知らない.

実は, 24.2万人の死者を出した地震よりもっと多くの死者が出た地震がある. それは1556年1月23日中国陝西省華県で発生したもので, 死者は82万人を数えるといわれており, 文字通り世界史上最多の死者となっている. ひとたび大きな地震が起こ

れば, 生活の基盤である家屋や道路などを失うのみならず, 生命も簡単におびやかされることになる.

唐山地震(1976年)の場合には, 約1週間前から以下のような動物などの異常行動が報告されており, その数は2,000件にも及んだという(銭鋼, 1988).

- 1週間以上前から唐山近くの沿岸の漁場で, ぼらやなまずが簡単にとれるようになる.
- 海面のタンカーに蝶やバッタなど種々の昆虫が群れる.
- 前日には, 日中にもかかわらず数百匹のこうもりが白昼空を飛びまわっている
- 犬の止むことない吠き声....

動物は人間の感じるできない地中の変化を敏感に察知し, 異常を感じていたのである. この他にも各地の地震の観測所から, 地下水位の上昇, 地盤変動, ラドン・地磁気などの観測に異常のあることが発見報告されていたが, 地震の予知へと発展することはなかった.

歴史地震の中で, 地震による直接の被害はほとんど

第1表 今世紀のマグニチュード順大地震ワースト10 (第1表及び第2表は宇津徳治編集「地震の事典」p. 456より引用)

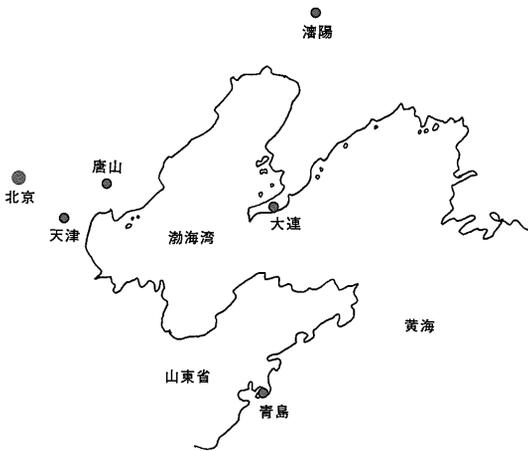
1.	1960年	チリ地震	9.5
2.	1964年	アラスカ地震	9.2
3.	1957年	アリューシャン地震	9.1
4.	1952年	カムチャッカ地震	9.0
5.	1906年	エクアドル地震	8.8
6.	1965年	アリューシャン地震	8.7
7.	1950年	アッサム地震	8.6
8.	1922年	アタカマ地震(チリ)	8.5
8.	1938年	バンダ海地震	8.5
8.	1963年	択捉島沖地震	8.5

第2表 今世紀の死者数順大地震ワースト10

1.	1976年	唐山地震(中国)	24.2万人
2.	1920年	海原地震(中国)	20万人
3.	1923年	関東地震(日本)	14.3万人
4.	1908年	メッシナ地震(イタリア)	11万人
5.	1927年	古浪地震(中国)	8万人
6.	1970年	ペルー地震	7万人
7.	1935年	クエッタ地震(パキスタン)	6万人
8.	1939年	エルジンジャン地震(トルコ)	4万人
9.	1915年	アペッツァノ地震(イタリア)	3.5万人
10.	1939年	チャン地震(チリ)	3万人

1) 地質調査所 環境地質部

キーワード: 唐山地震, 釧路沖地震, 震度, 炭鉱, アンケート調査



第1図 唐山市周辺の位置図

どすべてが地表で生じている。そのとき地下はどうなっていたのか？もし地下空間に人間が何らかの原因と目的の為に居合わせた場合、どの程度の被害を受けるのだろうか？人間の地下空間の利用は、洞窟で生活した時代を除けば金銀等の鉱物資源を求める場合がほとんどである。中でも産業革命以降に盛んになった石炭の採掘は、大々的な地下の開発といえる。

唐山地震(1976年)のあった唐山(第1図参照)は、開ラン炭田を中心とする炭鉱・工業都市の典型であり、大地震の起こったその日も地下500-800 m レベルで約1万人の掘進作業員が採鉱作業中であった。唐山地震の際の地上では24万人、地下では0という死者数は何を意味するのだろうか？一方、1993年1月15日、成人の日に釧路沖で発生した釧路沖地震においても、地上では震度6の烈震を記録するなか、海底下600-700 m レベルに展開する太平洋炭礦では462名が作業中であった。しかし、地上の選炭工場内における打撲程度のけが以外には何の人的被害も生じなかった。これら二つの事実は、地下空間が地震に対しかなり安全であるということを物語っていないだろうか。

小論ではマグニチュード7以上の大きな地震の際に地下700-800 m レベルで稼行する炭鉱の施設に及ぼす被害や、地表の震度と地下空間内における震度の差異について、1976年の唐山地震と1993年の釧路沖地震との二つのケースについてまとめてみた。前者は震源が地下12 km と浅い場合であり、後者は震源が100 km より深い場合の事例である。

特に釧路沖地震の場合には、近年実施されているアンケート方式による震度階の決定方法を採用し、現地調査を試みた。

2. 唐山地震の被害と震度

1976年7月28日、北京時間午前3時42分頃発生した唐山地震は世界史上第2位という大きな人的被害(死者総数24.2万人)をもたらした(史上最大被害は前述のとおり同じ中国の1556年華県大地震の死者83万人)。開ラン炭田地帯の中心をなす炭鉱・工業都市唐山市の直下12 km を震源としてマグニチュード7.8の大地震が発生したため、唐山市の人口106万人、戸数16万戸のうち死者14.8万人、重軽傷者44万人という壊滅的災害になった(高橋ほか, 1983)。ほぼ7人に1人が死亡し、負傷を加えると2人に1人が死傷したことになる。住宅・工場などの9割が倒壊、電力供給システムや通信システムもほぼ全滅状態となった。鉄道や道路橋梁の損壊も激しく、救援活動にも大きな支障をもたらした。

唐山地震の本震では、走向N30°E、右横ずれ1.5 m、西側1.0 m隆起、長さ8 kmの地表地震断層が唐山市中央部を貫いた。本震の15時間後には、本震の震央の北東約70 km 離れた地点でマグニチュード7.1の余震が発生した。この余震に伴い、左横ずれ数10 cm、長さ6 kmにわたる地震断層が生じている(松田, 1979)。唐山炭鉱は市の直下500-800 mの深さにあり、坑内でV号断層と呼ばれていた断層が震源断層となったのである(陝西省地震隊, 1981)。要するに唐山炭坑は震源の直上に位置するというよりは震源の一部にあり、恐らく最悪の条件下にあったといつてよいであろう。もちろん坑内も相当の被害は免れなかったが、それにもかかわらず人的被害は地表の惨状からみると考えられないくらい軽微であった。

中国では、立坑や坑道における被害状況から震度を推定する地震震度簡易表が作られている(第3表~第6表参照)。唐山地震の場合にはその表をもとに開ラン炭鉱の坑道などの被害状況から各鉱区の震度分布が推定されている(第7表参照)。その結果によると、唐山市地表では中国震度階で震度11すなわち日本の気象庁震度階級で7相当の激震であったものが、地下500 m 以下では中国震度階で震

第3表 鉱区立坑・坑道地震震度簡易表(第3表から第8表までは石炭工業部計画設計院編集「唐山地震開ラン炭鉱地上工場建築物震害調査報告」より引用)

震度	立坑・坑道建築	構造物	天盤・底盤現象	自立設備及吊掛物	人の感覚, その他
七度	I類建築多数軽微損壊, 少数損壊; II類建築少数軽微損壊	支柱が揺れ動き接点が音を発す。ケージ道梁, パイプ, レールが震える。防水防風壁大部分倒壊	I類天盤少数軽微破壊, 煤塵が舞い上り, 天盤が鳴る	自立器物が揺れ動く, 工具が転倒, 鉱車が揺れ音を出す。吊掛物が50°~80°揺れ, 多数落ちる。半滴水の溝の水しぶきが飛びちる。	地鳴が雷のよう。人が走り難い。進行中のケージや鉱車に座っている人が揺れ動きを感じる。
八度	I類建築大多数軽微損壊, 多く損壊, 少数破壊; II類建築多く軽微損壊, 少数損壊。 III類建築少数軽微損壊	少数のI類支柱がはずれ, 脱落, 圧曲, チッチと音を出し, 少数発火。レールケージ梁振動, 巻き上げケーブル変位揺動防水防風壁倒壊	I類天盤多く軽微損壊, 少数損壊, 沈下; II類天盤少数軽微損壊, 煤塵濃度大, 透視度やや小, 坑道断面わずかに縮小; 少数の炭壁で割れ目と崩落が出はじめる	設備少数揺れ動く, 鉱車が大きく揺れ動く, 資材の山が少数揺れ倒れる, 吊掛物が80°~90°振れる。溝中の水が飛びちり, 少数の電車線が火を発す。	音は雷鳴のよう。人は船に乗っているようで, しっかり立てない。座っていたり, 歩いたりはできる。ちょうど人が揺れ動かしているよう
九度	I類建築大多数損壊, 多く破壊, 少数重大破壊; II類建築多数損壊, 少数破壊; III類建築多数軽微損壊, 少数損壊	少数のI, II類支柱損壊, カッカという音を出す。部分的に火花を発す。多数軽微破壊。少数のレール弯曲し変位, ケージ道梁強烈に振動, 巻き上げケーブル大きく振動。防水壁全部崩壊	I類天盤・底盤多数損壊, 少数破壊, II, III類天盤・底盤少数局部損壊石炭坑道沈下・断面縮小, 炭壁の大片崩壊。煤塵濃度非常に大透視度小。天盤・底盤に少数の割れ目が生じて漏水。底盤が膨らみ, 支柱が数センチメートル底盤に圧入。天盤の圧力が支柱強度7.5 t/cmに到達	設備多数揺れ動く, 少数移動, ひどく揺れる。軽量型鉱車少数転倒, 多数移動進行中の鉱車では倒れそうな感じがした。自立物多数転倒少数転がり回る少数の電車線が火を発す。資材の山が揺れ散乱。	暴雷に似た音, 人が倒れ, 少数はしゃがむ。座っている人も倒れる。走ってくる人も左右に揺れ動く。
十度	I類建築大多数破壊 II類建築大多数損壊, 多数破壊, 少数重大破壊 III類建築大多数軽微損壊多数損壊, 少数破壊。立壁坑に割れ目が入り崩落あり	I, II類支柱多数軽微損壊多く損壊, 少数破壊, III類支柱多数軽微損壊, 少数損壊, 局部的に巨大音を出し火を発す。ケージ道梁が局部的に弯曲し, 変位, 少数のパイプ破裂, 揺れ幅30°~50°	I類天盤底盤多数破壊, 少数重大破壊 II類多数損壊, 少数破壊 III類軽微損壊石炭坑道多数沈下・断面縮小, 炭壁が普遍的に崩落, 部分的に支柱が底盤に数センチメートル圧入。部分的に底盤が膨らみ, 四壁に少数の割れ目が生じ, 漏水・噴水等の現象, 煤塵・煤粒が吹き上がり充満, 透視度極小	大型設備が大きく揺れ動き, 少数変位, 設備多数, 変位, 揺動少数傾倒, 重鉱車少数転倒, 機関車脱線。排水系統軽微破壊, 地上指令との連絡を失う。	爆発のような巨大音。人は何度も転倒, 備蓄用資材の山が揺れ散乱。

(立坑・坑道建築物と破壊の類別及び設備の分類については第4表, 第5表参照)

第4表 炭鉱立坑・坑道建築物類別簡易表

	坑内建築類	支保類型	天盤・底盤類型
I類	1. 簡易な無支保空洞 2. 天盤破砕ゾーン、支保の粗末な採掘坑道と採炭切羽面 3. 採掘区を囲む採炭切羽面と老朽木支柱、廃旧坑道 4. 急傾斜破砕ゾーン坑道、立坑梯子坑等 5. 主体建築と結合していない防水壁と防風壁	廃旧または接ぎ足した木支柱 簡易支柱	破砕ゾーン風化天盤、厚い炭層の中下層を採掘中の仮天盤、軟質の破砕ゾーン天盤と底盤
II類	1. 支保のある沿炭層坑道と採炭切羽面 2. 低級モルタル、硅石築で多年修理せずに外層剝落している石門、大坑道、斜坑、立坑 3. 支保のある低級補助坑道、炭水貯蔵所、排水溝。	完全な木支柱、簡易セメント台形支柱	節理が比較的発達した天盤小断層のある天盤・底盤
III類	1. 新レンガ築、コンクリート吹き付けの石門、大坑道、立坑車庫。 2. 天盤安定または金属支柱の採炭切羽面 3. 石積の空洞	金属液圧支柱、レール横梁、コンクリート・アーチ型支保 密な木支保	安定で良好な泥灰岩、砂岩及び硬質石炭の天盤・底盤

第5表 坑内建築物破壊程度分類

軽微損壊	石炭坑道中炭粉、炭塊散乱、炭壁と石積に炭塊、レンガ、モルタル破片墜落がたまにある。不安定な飾り物が動き、損傷。
損壊	石積と炭壁に小割れ目有り、落石と壁面脱、石間のしっくい脱落、部分的天盤落石が時にある。支柱の局部的なつなぎ目のはずれ、抜け、微弯曲。
破壊	岩壁と石積に大きな割れ目が生じるか、剝落がある。少数の部分的圧穹、抜け落ち、梁墜落、柱脚変位、局部的に落盤あるいは盤膨れ。
重大破壊	炭壁と石積の大片が滑り落ち、崩落、支柱切断、大落盤、大範囲盤膨れ、坑道の開裂と圧穹、急傾斜石炭坑道が寒がれる。

第6表 設備分類

大型設備	採炭機械、石炭投入機、大型ウインチ、電気機関車、電気モーター、ポーリング機械
設備	風向計、各種スイッチ、電器、鉱車

度7(気象庁震度4の中震に相当)になっている(第2図)。

地下坑内の震度分布図(第3～5図)を見ると地下深部でも大きな断層の付近は中国震度階で震度

9(気象庁震度5の烈震に相当)となっており、断層付近では振動が激しかったことがわかる。第3～5図のV断層は震源断層と考えられるのでその付近で振動が激しいのは当然であるが、それでも地表より揺れはかなり小さい。また500m以深では断層から200～300mも離れたと中震程度にまで震度が低下している。耐震性に考慮が払われてさえいけば、地震断層から少し離れたところはほとんど被害を受けないことが予想される。

唐山炭鉱においては、地震前後の湧水量の変化が第8表のようにまとめられている。趙各庄では地

第7表 開ラン炭鉱所属8鉱主要建築物の震害状況一覧表

順序	鉱名 震度 施設名	唐山鉱	馬家溝鉱	唐家庄鉱	趙各庄鉱
		11度	10度	10度	10度
1	立坑やぐら*	大多数軽微損壊, 少数損壊	大多数破壊, 少数軽微損壊	大多数のレンガ柱 破壊, 少数倒壊 (上部鋼構造は基 本的に良好)	レンガ柱全部破壊* (上部構造は基本的 に良好)
2	立坑塔	倒壊		傾斜	
3	スキップ受入庫	軽微損壊	軽微損壊		
4	石炭倉庫	大多数損壊, 少数倒壊	大多数損壊, 少数破壊	大多数損壊, 少数破壊	少数倒壊, 少数基本 的に良好, その他損 壊
5	ベルトコンベア 回廊	大多数倒壊, 下部破壊及損壊	少数倒壊, 大多数上部倒壊, 下部損壊, 少数良好	大多数上部倒壊, 下部損壊	大多数上部倒壊, 下部損壊
6	選炭場	半数倒壊, 半数破壊	半数破壊, 半数損壊		破壊
7	炭泥沈澱塔	大多数倒壊, その他破壊	半数倒壊, 半数破壊	破壊	軽微損壊
8	巻上場	少数倒壊, 大多数破壊	大多数破壊, 少数損壊	少数倒壊, 大多数破壊	少数倒壊, 少数良 好, その他破壊
9	変電所	破壊		1棟破壊, 1棟倒壊	倒壊
10	送風機室	大多数倒壊, 少数破壊		半数倒壊, 半数破壊	大部分倒壊, その他 破壊
11	立坑口室	損壊	損壊	損壊	損壊
12	ランプ室	倒壊	軽微損壊	大多数倒壊	損壊
13	浴室	倒壊	破壊	倒壊	破壊
14	事務所	倒壊	倒壊	部分倒壊, 部分破壊	部分倒壊, 部分破壊
15	食堂	倒壊		部分倒壊, 部分破壊	軽微損壊

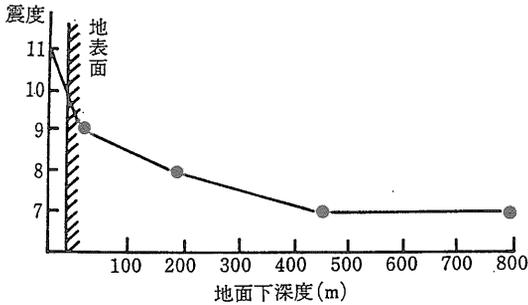
注 1. *のある立坑やぐらはレンガを使った構造, あるいは上部は鋼構造で下部レンガを使った構造形式である。その他の立坑は鋼構造である。

2. 震害程度説明

- (1) 倒壊—全部あるいは三面の壁体が倒れる。または、倒れたのは局部でも主な構造が破壊され修復不可能になる。
- (2) 破壊—一切妻壁, 縦壁または支持仕切壁が局部倒壊または重大断裂, 鉄筋コンクリートの梁・柱はコンクリートが破壊し, 鉄筋が屈折して, 大修理を要す。
- (3) 損壊—一切妻壁, 縦壁または支持仕切壁が局部開裂, 非支持壁倒壊, 鉄筋コンクリート構造に重大割れ目が生じ, 鋼筋が露出, 一般的な補修を要す。
- (4) 軽微損壊—壁体または鉄筋コンクリート構造に一般的なひび, 荷重支持能力は基本的に損なわず, 修理は必ずしも必要でないもの。

3. 本表は石炭工業部計画設計院編集「唐山地震開ラン炭鉱地上建築物震害調査報告」より引用

震前の4倍の湧水量が記録されており、地震による影響の強さを示している。なお、中国震度階及び気象庁震度階を付録の2と3に示しておいた。中国震度階を2で割り1を足すと気象庁震度階とはほぼ等しくなる。次に、地下深くでマグニチュードの大きい地震が発生した場合の例として、1993年1月15日に釧路沖で発生した地震について述べよう。



第2図 唐山炭鉱立坑沿いの深度による震度変化 (陝西省地震隊, 1981)

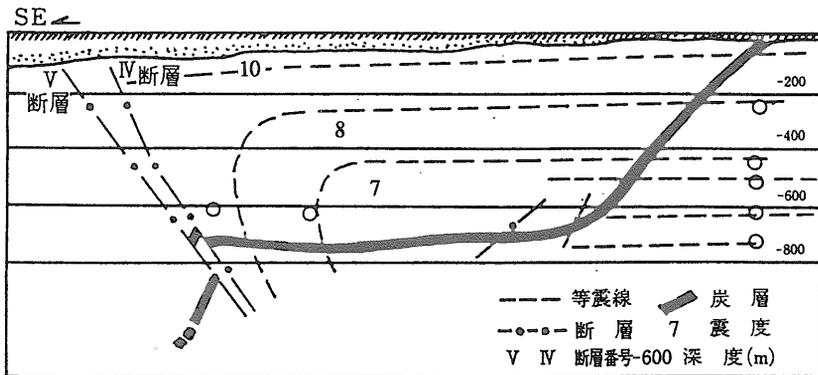
3. 1993年釧路沖地震の地下震度について

3.1 はじめに

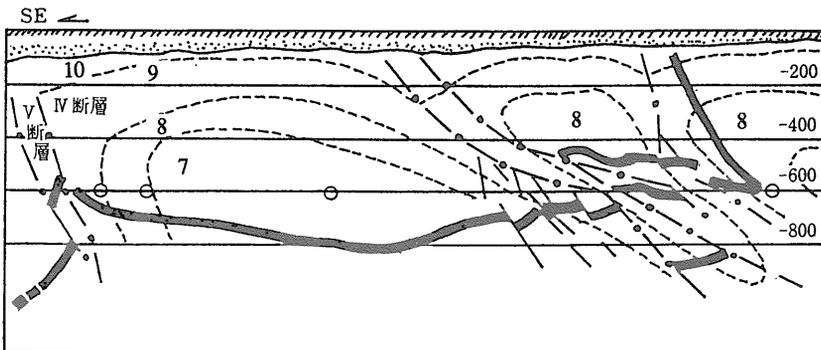
1993年1月15日午後8時06分頃、北緯42°51′、東経144°23′の地点を震央とするマグニチュード7.8の釧路沖地震が発生し、北海道から関東地方までの広い地域で大きな揺れを感じた(第6図)。本地震による死者は1人、けが人は700人ほどであるが、震源の深さが107 kmと深かったことから、マグニチュードの割には被害は比較的小さかったと言える。しかし、気象庁釧路地震観測所の強震計では、919 gal (cm/s²)という極めて大きな加速度が記録されている。

釧路市興津(おこつ)5丁目にある太平洋炭礦株式会社釧路鉱業所では、現在釧路沖9 kmの太平洋の海面下600 m レベルを採掘している。この釧路沖地震の時に、太平洋炭礦の坑内で450人余りの掘進作業員が作業をしていたが、炭鉱内では、一人のけが人さえも出なかった。

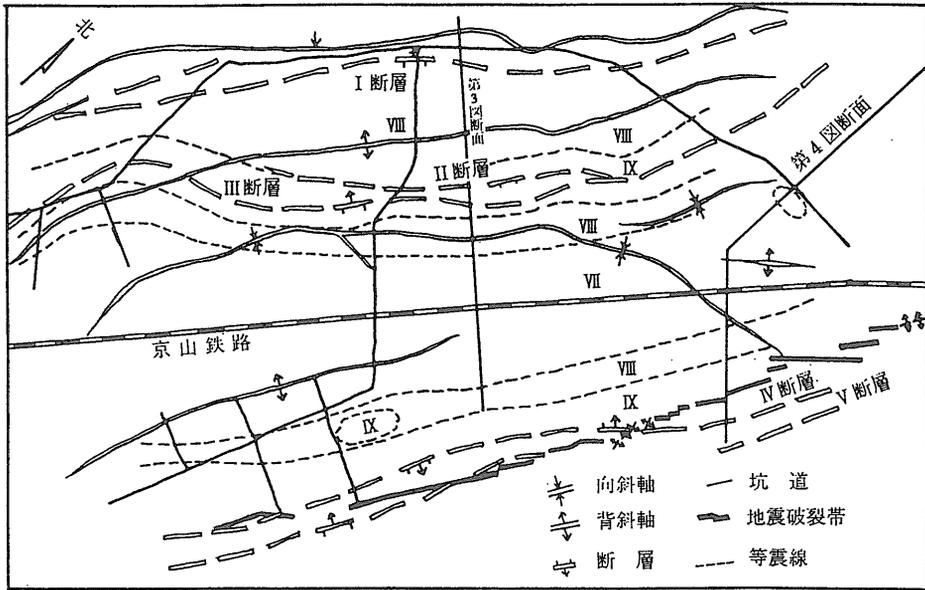
地震の時に地下空間はどの程度揺れるのか? 地上



第3図 唐山1号鉱の震度分布断面図(陝西省地震隊, 1981)



第4図 唐山2号鉱の震度分布断面図(陝西省地震隊, 1981)



第5図 唐山炭鉱地下635 m 震度分布平面図 (陝西省地震隊, 1981)

第8表 唐山市炭鉱区北部四鉱湧水量変化表

鉱名	唐山鉱	馬家溝	趙各庄	唐家庄
湧水量 時間				
地震前	28 t/分	6.6 t/分	一般13 t/分 最多34 t/分	85 t/分
地震後	67 t/分	12 t/分 最大 17.02 t/分	140 t/分	119.6 t/分
増大百分率	220%	190-265%	400%	140%

の震度に比べ地下の震度はどのくらい違うのか？前述したとおり地上と地下との被害の違いから、定性的には「地下は地上よりは揺れない」ということは言えるが、定量的にはどの程度異なるのかという問題に対する回答はない。川崎市の軟弱な堆積層中で深さ方向の最大加速度振幅を測定した結果、深度の増加とともに最大加速度も著しく減少することを報告した例はある(久保, 1981)。

局所的あるいは広域の震度分布を調べるために、気象庁の発表する震度階とは別にアンケートによる震度調査が既に20年以上前から実施されている。このアンケートを基に、坑内に適用できるような質問を作り、1993年の釧路沖地震の場合に適用することを試みた。この結果、地震時の地下空間の震度

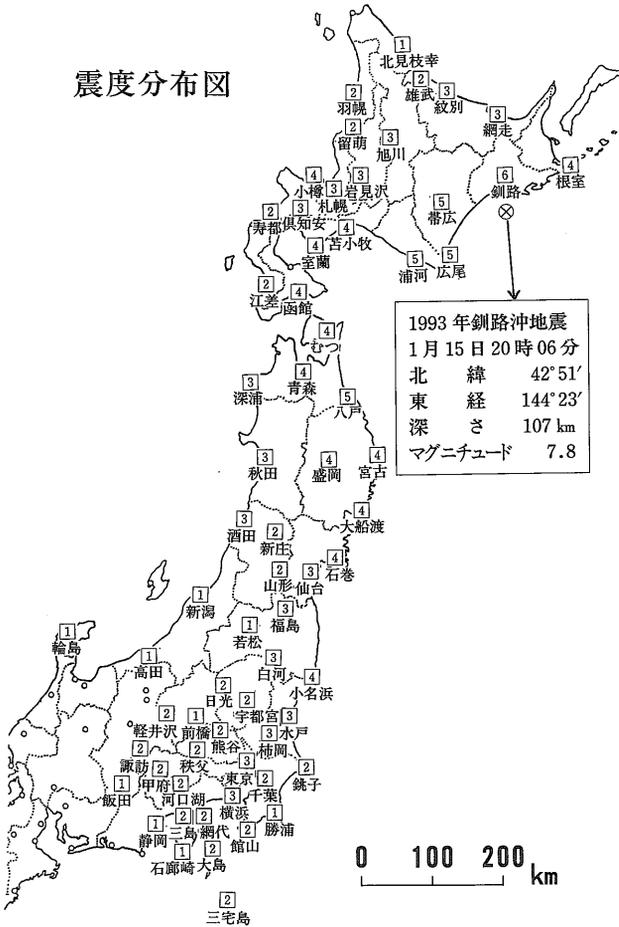
が数値化できることになり、基礎的な、しかし貴重なデータを得ることができた。筆者らは釧路沖地震の際に太平洋炭礦に入坑していた方31人を選び、震度調査のためのアンケートを実施した。

3.2 アンケートによる震度階の決め方について

アンケートによる震度の算出は、回答者一人毎、つまり1枚のアンケートから1つの平均震度値を決定する。地震におけるアンケート調査では、通常回答者の位置付けに関する条件係数を採用し、回答結果を補正している。すなわち、回答者が地震時に木造か鉄筋造りのどちらにいたか、あるいは1階か2階か3階以上にいたか、または、建物自体は築後間もないものか、相当年数が経過しているかなどによる差異を補正するのである。今回、炭鉱のなかでは、回答者がいたところは質問5(付録1参照)にあるように、炭層か炭層以外かという点であり、大きな差異はないものと考え、条件係数は採用しなかった。

地下空間では、地震によって揺れる度合いを確認する手だてが地上に比較してはるかに少ない。したがって、炭鉱の坑内における事情を踏まえ、質問内容を作ってみた。調査表のなかで、各質問毎の回答のカテゴリー番号は、低い震度のものから高い震度のものへと順序付けしてある。質問11-14に示されるように、同程度の震度を意味する質問が重複して

震度分布図



第6図 各地の震度(釧路沖地震)
(気象庁災害時地震速報, 1993)

第9表 震度係数一覧

=質問 No	1	2	3	4	5
質問 7		2.239	3.269	4.205	5.139
質問 8	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
質問 11	-0.076	1.039	2.154	3.269	4.384
質問 13	1.561	2.446	3.329	4.212	5.093
質問 14	1.795	2.589	3.380	4.170	4.959
質問 15	1.868	2.995	4.122	5.249	6.376
質問 17	2.284	3.376	4.462	5.547	6.630
質問 18		0.960	1.814	2.626	3.425

ている。今回の調査では、回答者の全てが炭鉱の坑道内に居たので、震度に対する回答者の位置づけの差はないものとして、条件係数は採用しなかった。

坑道内は、基本的に薄暗く、地上の様に揺れていると客観的に判断できる対象物が少ないので、質問を設定するのに苦労した。基準となる質問項目として、地上で実施されているアンケートと同じように、坑道(建物)全体の揺れを質問している質問8を選んだ(付録1の質問8参照)。震度を決定する質問は合計8問となり、各震度係数は第3表に示されるとおりである。全回答者の震度一覧表を第10表に示した。なお、このアンケートは地震発生後、ほぼ2か月を経過して実施したものである。

3.3 調査の結果

各質問項目毎のカテゴリーの頻度分布を付録1中に円ダイヤグラムとして示す。第7図は回答者31人の平均震度の分布を示している。回答者全員の平均震度は3.1となった。気象台発表の地上震度は6なので、海面下600mの坑道では地上の震度と大きく異なることが示された。回答者の平均震度階のうち、最大値は4.2、最小値は1.9であった。人間が感じる地震の震度には、場所などの条件が同一でも、かなりの個人差が認められる。太平洋炭礦の坑道は平面ではほぼ9km×6kmの広がりを持っている。そこで、今回の回答者の居た場所と坑道の位置関係を第8図に示す。数値は平均の震度階を

おり、震度結果の精度を向上させることになる。各質問項目毎の対応を知るために、基準となる質問と他の質問との対応付けをするものとして震度係数を採用している。本調査では質問8の坑道全体のゆれ具合を基準に選び、第9表に示すような震度係数を採用することにした。

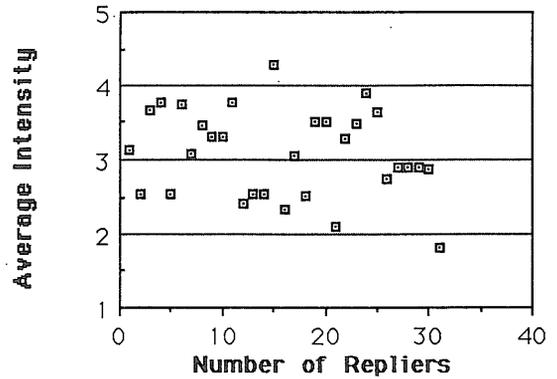
アンケートに基づく各回答者の平均震度(アンケート震度)Iは

$$I = \frac{\alpha}{N} \sum_{i=1}^N \beta_i(m)$$

となる。ここで、αは条件係数、Nは質問中の有効回答数、β_i(m)は回答者が対応したカテゴリー番号mに対応する震度係数を示す。ここで得られる震度Iは気象庁震度とは直接の関連はないが、太田他(1979)により気象庁震度階への変換式が提案され

第10表 全回答者の震度一覧表

番号	平均項目震度	最大項目震度
1	3.13	5.0
2	2.54	3.43
3	3.67	6.0
4	3.76	5.0
5	2.54	3.43
6	3.74	5.0
7	3.07	4.0
8	3.46	5.0
9	3.32	4.46
10	3.30	5.55
11	3.76	5.55
12	2.41	3.43
13	2.54	3.43
14	2.54	3.43
15	4.29	6.63
16	2.33	4.12
17	3.05	4.0
18	2.51	3.33
19	3.52	4.21
20	3.5	5.0
21	2.09	3.27
22	3.27	4.0
23	3.49	6.38
24	3.89	6.63
25	3.64	5.0
26	2.75	5.0
27	2.89	3.43
28	2.91	3.43
29	2.91	3.43
30	2.88	3.43
31	1.81	3.0



第7図 各回答者の平均項目震度分布

質問3は地震の時、動いていたか、静かにしていたか、乗り物に乗っていたかなどの状況を聞いているが、各回答項目毎の平均震度階の分布は第9図のようになる。その結果、動いている状態での各回答者の平均震度階は3.19、静かにしている状態での平均震度階では2.87となり、両者には0.3程度の震度階の差があらわれた。通常は座っているときの方が動いている時よりも揺れを強く感じるが、地下では揺れを視覚的に認識できるような対象物が少ないことが影響しているのかもしれない。このような回答結果が普遍的なものかどうかはサンプル数も少なく直ちに結論出来ないが、興味あるものと言える。

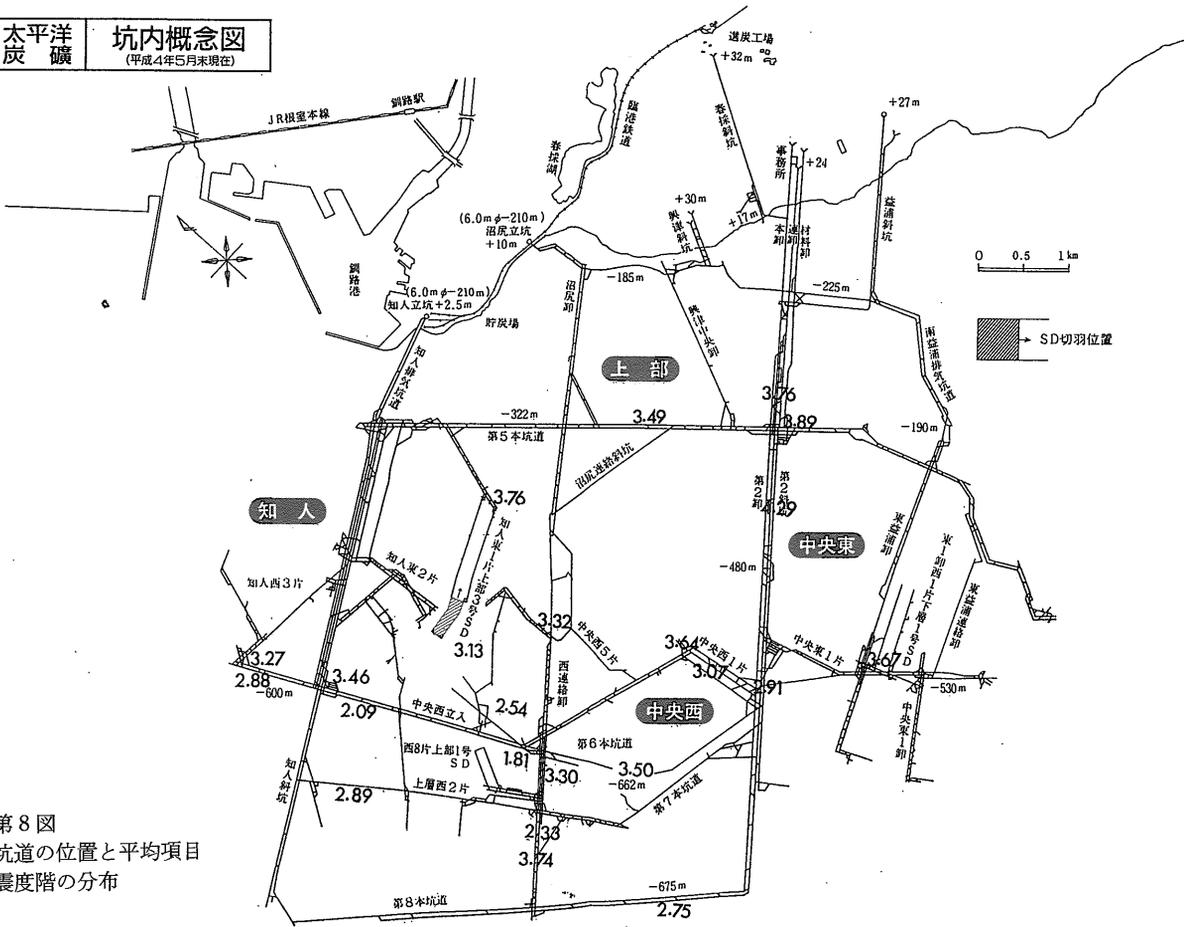
アンケートに具体的に記入された中から特徴的なものを以下に列記する。質問16「地震と感じたときに最初にとった行動は何ですか?」に対して、

- 《最初は走ってその場から逃げた。原因が地震とわかってからは、停電復旧作業に就いた》
- 《最初は機関車から飛び降り、激しい揺れの中、立ったまま回りを見渡した。巻座運転者との電話及び無線による安全の確認をしたが、連絡が取れず、見張りまで歩き、電話による仲間の安全確認をした。なお、約20分後に連絡が取れ、次の指示まで、見張り待機》
- 《部下の所に行った》
- 《二次災害がないか考えた》
- 《天盤を見て、いちばん安全と思われる所で揺れが止まるまで立っていた》
- 《自分の頭上に浮き石がないか、また安全な所がないか見回したがほとんど動かず》

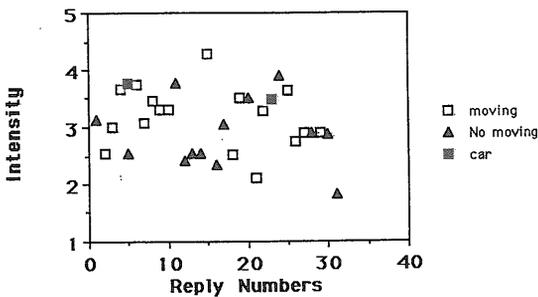
示している。緯度方向と経度方向の坑道における震度階の差があるかどうかを検討してみたが、有意な差を認めることはできなかった。

太平洋炭礦では落差が50 m~150 mの断層が1 km~3 kmの間隔で存在する。これらの断層は北東-南西の方向の正断層で、傾斜角はほぼ80°前後である。断層の近辺とそれ以外の場所における平均震度階との間にも有意な差を認めることはできなかった。唐山地震では、地下深部の大きな断層付近では中国震度階で震度9(気象庁震度階の5に相当)を示したが、断層から数100 mも離れると震度7となっており、断層近辺とそれ以外の場所における震度の差が明確となっている。

太平洋炭 坑内概念図
(平成4年5月末現在)



第8図 坑道の位置と平均項目震度階の分布



第9図 質問3のカテゴリー毎の平均震度階

- ・《分散現場だったので、掌握している作業員の身の安全を優先に考え、とりあえず基幹坑道に退避しようと思った。》
- ・《切羽にいる人を連れに行く行動》
- ・《作業中の人員を安全な箇所(休憩所)に退避させた》
- ・《すぐ指令室に電話をかけた》

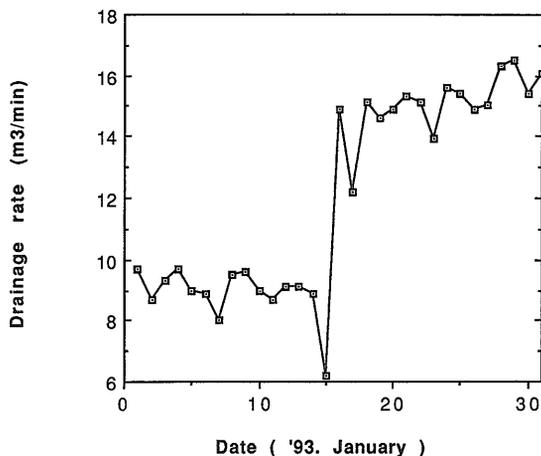
- ・《支保の良い所に退避しようとした》
- ・《ベルトの停止、安全な箇所への退避》
- ・《その場でしゃがみ込んでじっとしていた》
- ・《扇風機が停止になったことがわかったので、天盤から石が落ちるか確認し、第6坑道本目抜に退避する。中変(中央変電所)にTELして全停した事を確認したが、無線が入らないので西立入5.5目抜に向かう》
- ・《安全な箇所に退避した。停電のため開閉所に急行する》
- ・《電車を止め、後山に知らせた》
- ・《地震が来たときイスより立ち上がったが、揺れがひどくて立ってられず、座りこみ、他の行動は取れなかった》
- ・《地震と感じたときはかなり激しいと思ったので、部下3人にあわてないで担背杵の所から離れるよう無意識のうちに声を掛けた》

- 《天盤の状態を見て側壁側による》
- 《切羽元より全員後方に集まる。停電になったので、坑外の方はかなりひどいと思った。指令所から地震の情報を聞いて不安に思う。みんなで入気坑道側に退避》
- 《静かにして立っていた。地震は坑内に入って何回も経験しているので、今までのと比べるために、じっとして揺れを正確に感じとろうとしていた。天盤も反射的に見るべく目は天盤を見ていた。》
- 《他の無線情報を聞いて退避経路を考えた》
- 《坑道の傷みは無かったが、すぐ停電になり規模からみて全停と思ひ長時間か？と思っただけ》

回答は20歳代から50歳代の順に並べてある。地震発生後2ヶ月を経過して実施したアンケートではあるが、回答者の文章は緊張感に満ちており、地震時の心理状態がよく示されている。ほとんどの人が地震と感じており(付録1の質問19参照)、退避の場所や具体的な退避の手順を冷静に考えていることが良くわかる。また、回答者の多くが作業グループのリーダーということもあり、グループの他の人の安全を第一に考慮していることなどもわかる。この他に、地震の規模や震度を示すと思われる以下のような模様も伝えられている。

- 《震動とともに天盤鋼柱間からズリがもれた。震動が収まってもしばらく山なりが続いていた。全停電となり通気(風量)が弱くなった。》
- 《地鳴りと鋼柱が動き、粉塵が舞う》
- 《休憩所で食事中、テーブルの上のものは倒れなかったが、味噌汁がこぼれた》

地震後の変化として特徴的なのは、坑内水(地層から坑道内に自然に湧出する水とボーリング等による作業によって生じる水とを合わせたもの)の揚水量が第10図に示すように、地震後は地震前の約2倍の量に達している点である。地震発生後半年以上を経過した時点においても、依然として揚水量は低下する傾向を示していない。唐山地震と同じように地震後の揚水量の増加は、炭鉱にとって大きな負担



第10図 釧路炭鉱における揚水量の経時変化

となっている。なお、1月15日に揚水量が大きく低下しているのが認められるが、これは停電によるポンプ停止の影響があるためである。

4. おわりに

マグニチュードが大きく震源が浅い場合の事例(唐山地震、開ラン炭鉱)と震源が100 kmを超える場合(釧路沖地震、太平洋炭礦)とにおける炭鉱内での震度についてまとめてみた。いずれの場合も、炭鉱内における被害は地上のそれと比較にならないぐらい少ないものであった。

1993年1月15日に発生した釧路沖地震は、幸いなことに、マグニチュードが大きかった割に被害が少なかった。取り分けても、太平洋の海底下に稼行する太平洋炭礦では、けが人一人さえも出なかった。大きな地震が発生した場合、アンケートによって各地域毎の詳しい震度階を調査することが行われているが、本文では、地下600 mの坑道では平均項目震度が3.1となったことを報告した。このような地下空間を対象とした地震のアンケートは従来実施されておらず、今回の太平洋炭礦における調査例は貴重であり、その結果は地下空間に対するイメージを少なからず変えるものと思われる。このアンケート調査結果は、[地下は地上よりも地震に対してより安全側にある]ということを示したものである。

謝辞：本調査において太平洋炭礦株式会社に多大なるご協力をいただきました。ここに深甚の謝意を表します。特に、保安生産部伊藤和之様、藤沢 章様(当時)にはアンケート調査全般の打ち合わせや釧路鉱業所との綿密な連絡など、種々のご配慮をいただきました。また、釧路鉱業所企画室遠藤 一様(当時)、計画課下山 正様(当時)には、アンケートの配布・回収にご協力いただきました。そして、技術部技術課松本裕之様(当時)には調査全般にわたり貴重なご意見をいただきました。太平洋炭礦株式会社の皆様に重ねてお礼申し上げます。

参考文献

太田 裕・後藤典俊・大橋ひとみ(1979)：アンケートによる地震

時の震度の推定, 北海道大学工学部研究報告, 第92号, pp117-128.
 久保慶三郎(1981)：地震と土木構造物, 鹿島出版会, p. 279.
 陝西省地震隊(1981)：唐山地震煤礦区烈度の空間変化, 唐山地震考察与研究, 地震出版社, 23-24
 銭 鋼(1988)：唐山大地震—今世紀最大の震災, 朝日新聞社
 高橋 博・越井 一・大村正好(1983)：唐山地震・その被害と抗震防震, 地質ニュース(1) NO. 344., pp6-18 (2) NO. 345., pp14-27.
 松田時彦(1979)：唐山地震の地表地震断層, 防災科学技術研究資料, NO. 44., pp71-75.

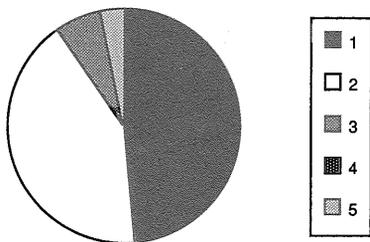
TAKAHASHI Manabu and KOIDE Hitoshi (1993): A seismic intensity in a coal mine at the very moment of large earthquake.

〈受付：1993年4月2日〉

付録1 釧路沖地震に関する太平洋炭礦でのアンケート結果(調査者：高橋 学)
 質問3～15, 17～19についてのみ図示してある

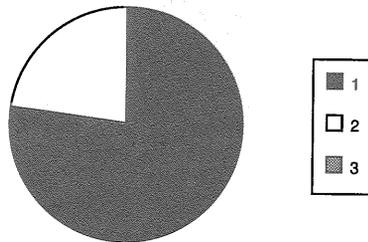
質問3 「あなたは、そこで何をしていましたか？」

- 1 動いて(働いて、歩いて、運動して)いた
- 2 静かにして(横になって、座って、腰掛けて、立って)いた
- 3 乗り物(人車等、人員輸送機、作業用車両)に乗っていた
- 4 眠っていた
- 5 そのほか



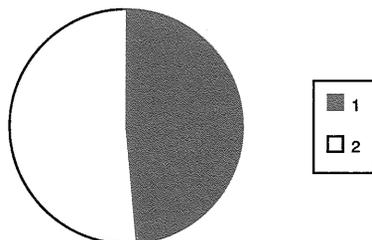
質問4 「あなたが居た場所の地形は次のうちのどれですか？」

- 1 平坦地
- 2 緩傾斜地
- 3 急傾斜地



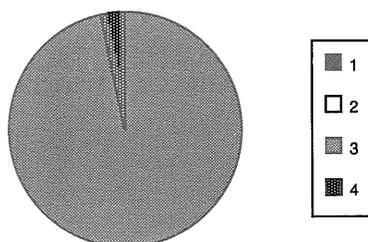
質問5 「あなたが居た場所の地盤は次のどれでしょうか？」

- 1 炭層
- 2 炭層以外の岩盤



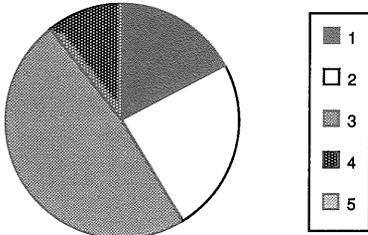
質問6 「あなたが居た場所の周囲の支保は」

- 1 支保なし
- 2 木製
- 3 鋼製
- 4 ロックボルト



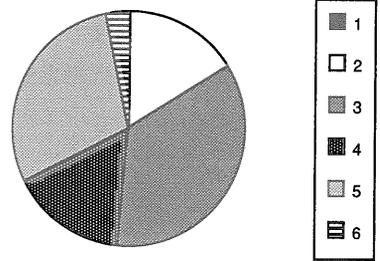
質問7 「棚に置いたものや、壁に立てかけていたもの等の動きは認めましたか？」

- 1 殆ど認められなかった
- 2 わずかに動いた
- 3 かなり激しく動いた
- 4 一部が倒れたり、ズリ落ちた
- 5 殆ど全部が倒れたり、または落ちた



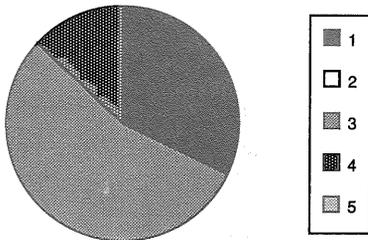
質問8 「坑道全体の動きはどうでしたか？」

- 1 認められなかった
- 2 わずかに揺れた
- 3 かなり揺れた
- 4 激しく揺れた
- 5 非常に激しく揺れた
- 6 崩れんばかりに揺れた



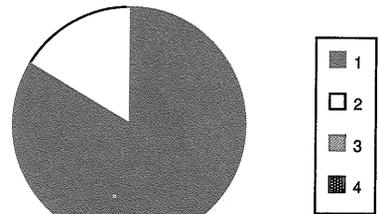
質問9 「坑道の天盤、側壁、下盤には何らかの変状が有りましたか？」

- 1 全く変状はなかった
- 2 少し変形した
- 3 浮き石が落下してきた
- 4 新たな亀裂が生じた
- 5 壁面全体が迫り出してきた



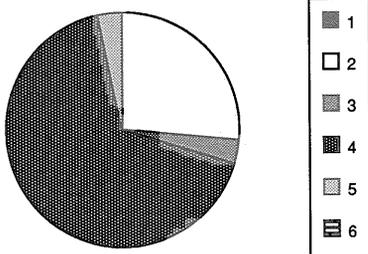
質問10 「支保には何らかの変状が有りましたか？」

- 1 全く変状はなかった
- 2 少し変形した
- 3 かなり変形した
- 4 原状をとどめないほど変形した



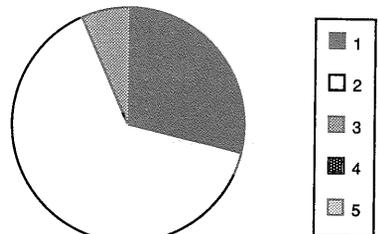
質問11 「あなたは地震の揺れている時間をどのように感じましたか？」

- 1 非常に短かった
- 2 短かった
- 3 どちらも言えない
- 4 長かった
- 5 非常に長かった
- 6 いつ終わるとも知れなかった



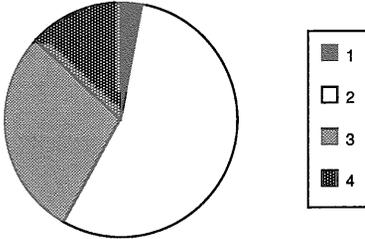
質問12 「地震を最も強く感じたのは、どのような揺れの時ですか？」

- 1 ドンと突き上げてくる揺れ
- 2 かなり速い繰り返しの横揺れ
- 3 ゆっくりとした横揺れ
- 4 特に区別できなかった
- 5 そのほか



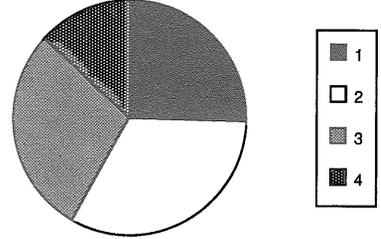
質問 1 3 「地震に気がついたとき驚きましたか？」

- 1 全然驚かなかった
- 2 少し驚いた
- 3 かなり驚いた
- 4 非常に驚いた



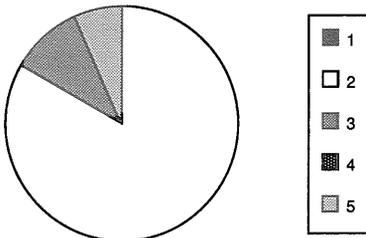
質問 1 4 「こわさの程度はどうでしたか？」

- 1 いささかも思わなかった
- 2 多少こわいと思った
- 3 かなりこわいと思った
- 4 非常にこわいと思った



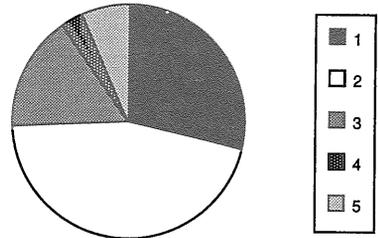
質問 1 5 地震の時、どのような行動にでましたか？

- 1 何もする必要を感じなかった
- 2 意識的に身の安全を考えた
- 3 意識的に坑内から脱出しなければならないと思った
- 4 無意識に坑内から脱出するための行動を取っていた
- 5 全く本能的に行動していたので、よく覚えていない



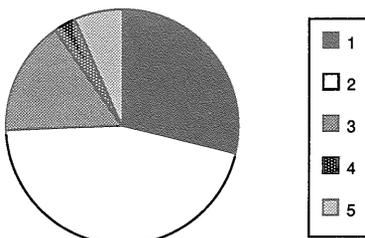
質問 1 7 「最初にとった行動は以下のどれに当てはまりますか？」

- 1 行動に少しも支障を感じなかった
- 2 ややもたつき気味であった
- 3 動き続けるのは困難であった
- 4 立ってられないほどの困難さであった
- 5 地面にはいつくばってしまった



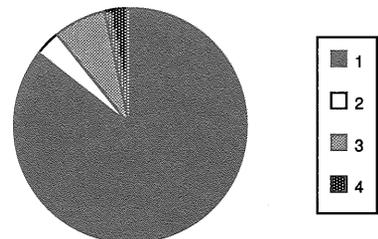
質問 1 8 「あなたのまわりで地震と気がついた人がいますか？」

- 1 他の誰も気がつかなかった
- 2 わずかな人が気がついた
- 3 かなりの人が地震とわかった
- 4 ほとんどの人が地震と気がついた
- 5 全員が地震と気がついた



質問 1 9 「地震の最初のゆれの時、地震以外の炭坑災害ではないかと思いませんでしたか？」

- 1 全く思わず、地震に間違いないと思った
- 2 少し思った
- 3 地震か炭坑災害のどちらかと思った
- 4 ガス突出などの災害と思った



付録2 中国震度階の概要

震度	人体感覚	一般家屋		その他の現象	参考物現指標	
		大多数の家屋の被害程度	平均震害指数		水平加速度 cm/sec ²	水平速度 cm/sec
I	無感	なし		地震計に記録されるのみ。	[<0.25]	
II	室内で静止しているわずかの人のみ感じる。	なし			[0.25-0.5]	
III	室内で静止している人の中の少数が感じる。	門、窓が軽くかすかに音をたてる。		吊った物等がかすかに動く。	[1.0-2.5]	
IV	室内の多数の人が感じる。室外の少数の人が感じる。ねむっている人の多数が驚いて目をさます。	門、窓が音をたてる。		吊った物などゆれ動くことがはっきりわかり、食器、皿などが音をたてる。	31 (32-44) [2.5-5]	3 (2-4)
V	室内の人みな感じる。室外の人も多数感じる。ねむっている人の多数が驚いて目をさます。	門、窓、屋根が音をたてて振動し、ほこりが落ちてき、石灰をぬった所に微細なひびわれが現われる。		不安定な器物が転倒する。	63 (45-89) [55-10]	6 (5-9)
VI	人は驚きあわて、措置を誤まり、あわてて逃げ出す。	損壊—わずかながらレンガや瓦が落下し、壁体に微細にひびわれが発生する。	0-0.1	河岸と軟弱な土の上に割れ目が現れる。飽和砂層に噴砂噴水が発生、レンガ煙突に軽度の亀裂が生じたり、頭部が落ちる。	125 (90-177) [10-25]	13 (10-18)
VII	大多数の人、あわてて逃げ出す。	軽度破壊—骨組みに損傷、修理必要。	0.11 -0.30	河岸では土が崩れ、飽和砂層では噴砂・噴水が常に発生し、軟弱土上の亀裂はかなり多く、大多数のレンガ煙突は中程度の破棄をうける。	250 (178-353) [25-50]	25 (19-35)
VIII	身体が大きくゆれ、倒れそうになる。歩くこと困難。	中程度破壊—骨組みに損傷、修理必要。	0.31 -0.50	かわいた硬い地面にも亀裂が生じ、大多数のレンガ煙突は重大な破壊をこうむる。	500 (354-707) [50-100]	50 (36-71)
IX	じっと立っていたり、腰かけてもいられない。行動中の人転倒する。	重大破壊—大部分傾き倒れる。修復に耐えず。	0.51 -0.70	乾いた硬い地面に多くの所で亀裂発生、基盤上にも亀裂が現れる。滑落や路肩の崩れが普通起こる。レンガ煙突は傾き倒れる。	1000 (703-1414) [100-250]	100 (72-141)
X	自転車の人は転倒。不安定な状態の人はたたきつけられるように倒される。ほうり上げられるような感じあり。	傾き倒れる—大部分傾き倒れる。修復に耐えず。	0.71 -0.90	山崩れ、地震断層あらわれる。基岩上のアーチ橋も破壊、大多数のレンガ煙突根部より破壊され、或いは倒壊する。	[250-500]	
XI		壊滅	0.91 -1.00	地震断層の延長すこぶる長く、山崩れは随所にみられ、基岩上のアーチ橋は崩壊。		
XII				地面は劇的な変化をし、山河の様相改たまる。		

注1. I—V度は主として地面上の人体感覚により、VI、X度は主として家屋被害により、人体感覚を参考にし、XI—XII度は地表変動を主にそれぞれ判定される。XI—XIIの判定は専門的判定を必要とする。

注2. 一般家屋：旧式の木骨組に土・石・レンガなど用いた旧式家屋(平屋及至低層)、耐震設計前の新式レンガ家屋。

注3. 震害指数：家屋完全を0、壊滅を1とし、中間被害を按分。平均震害指数は家屋震害指数の総平均値。

注4. 量的表現：「まれに」<10%、「少数」10-50%、多数50-70%、大多数70-90%、みな>90%。

注5. 加速度欄内の[]の値は地震学教程(大学用教科書、1980年版)の値である。

付録3 気象庁震度階級(1949)と参考事項(1978)

気象庁震度階級		参 考 事 項
階級	説 明	
0	無感。人体に感じない地震計に記録される程度。	吊り下げ物のわずかにゆれるのが目視されたりカタカタと音がきこえても、体に揺れを感じなければ無感である。
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。	静かにしている場合に揺れをわずかに感じ、立っているには感じない場合が多い。
II	軽震。大勢の人に感ずる程度のもので、戸障子などがわずかに動くのがわかる程度の地震。	吊り下げ物の動くのがわかり、立っていても揺れをわずかに感じるが、動いている場合にはほとんど感じない。眠っていても目をさますことがある。
III	弱震。家屋がゆれ、戸障子がガタガタと鳴動し、電灯のような吊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。	ちょっと驚くほどに感じ、眠っている人も目をさます。戸外に飛び出すまでもないし、恐怖感はない。戸外にいる人もかなりの人に感じるが、歩いている場合感じない人もいる。
IV	中震。家屋の動揺が激しく、すわりの悪い花瓶などは倒れ、器内の水はあふれ出る。まは、歩いている人にも感じられ、多くの人々は戸外に飛び出す程度の地震。	眠っている人は飛び起き、恐怖感を覚える。電柱・立木などのゆれるのがわかる。一般の家屋の瓦がずれるのがあっても、まだ被害らしいものではない。軽い目まいを覚える。
V	強震。壁に割れ目が入り、墓石、石どうろうが倒れたり、煙突・石垣などが破損する程度の地震	立っていることはかなりむずかしい。一般家屋に軽微な被害が出はじめる。軟弱な地盤では割れたり崩れたりする。すわりの悪い家具は倒れる。
VI	烈震。家屋の倒壊は30%以下で、山崩れが起き、地割れを生じ、多くの人々が立っていることができない程度の地震。	歩行はむずかしく、はわないと動けない。
VII	激震。家屋の倒壊が30%以上に及び、山崩れ、断層などを生じる。	

////////////////////////////////////// 地学と切手 //

インドネシア・プロモ火山

P.Q.

プロモ火山は東部ジャワのカルデラ内の岩滓丘である。カルデラ底からの高さは約200 m、海拔2329 mを示す。テンガー山のカルデラ内には東西と北北東—南南西の2方向に7コの噴火口が配列するが、プロモ火山は800×600 mの火口を有している。1838年には火口内は湖となっていた。

プロモ火山は火山灰や火山礫、火山岩塊を放出し、溶岩は流出していない。1915年、1948年には火山灰は付近の農地に被害を与えた。噴火の記録は1804年を最初として数年置きにくり返されているが、いずれも数日もしくは1月以内で納まり、長



くとも2月位で終わっている。岩質はSiO₂54~59%の普通輝石紫蘇輝石安山岩—かんらん石を含む普通輝石紫蘇輝石玄武岩である。

切手は1945年にオランダ領インドから発行されたものである。なお、1988年にインドネシアでも発行された。