

アンケート調査による地震時の地下空間の震度について — 1993年釧路沖地震の場合 —

高橋 学*・小出 仁*

A Seismic Intensity in a Deep Underground Space

— A Case of 1993 Off-Kushiro Earthquake —

Manabu TAKAHASHI* and Hitoshi KOIDE*

Key words : 釧路沖地震 Off-Kushiro Earthquake, 震度階 seismic intensity, アンケート調査 questionnaire survey, 地下空間 underground space

Abstract

A strong earthquake measuring a magnitude of 7.8 on the Richter scale shook areas of Kushiro in Hokkaido at January 15, 1993. The epicenter was located at 17 km off Kushiro city, and the focal depth was about 107 km. The Taiheiyo Coal Mine is located at the east end of Kushiro city. At the very moment of earthquake occurred, about 450 over coal miners worked in a variety of the deep pits about 600 m below the seabed.

To clarify the seismic intensity in deep underground space, a questionnaire seismic intensity survey was carried out to 31 Taiheiyo coal miners. Although Japan Meteorological Agency reported the maximum ground intensity of 6 at Kushiro areas, the obtained average seismic intensity in a underground of 600 m was 3.1.

1. はじめに

「衝撃！釧路で震度6の烈震」、1月16日付け釧路新聞の第1面の見出しが踊る。1993年1月15日午後8時06分、北緯42°51′、東経144°23′の地点を震源とするマグニチュード7.8の地震が発生し、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。震源の深さが107 kmと深かったことにより、マグニチュードの割には被害が少なかった地震と言える。気象庁釧路地震観測所の強震計では、919 galという極めて大きな加速度が記録されている。地上では、死者1人、けが人700人ほ

どが出た。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、太平洋炭鉱の坑内には450人余りの人間が作業していたが、炭鉱内では、1人のけが人さえもでなかった。

1976年7月28日、北京時間午前3時42分、死者242、769人、重傷者164、851人という、地震被害としては過去に例を見ない大きな被害を出した「唐山大地震」が発生した¹⁾。マグニチュード7.8の直下型地震は人口100万人の中国河北省の工業都市、唐山を一瞬にしてまさしく廃墟と化したのである。唐山市のはほ中心に開らん炭鉱があり、地震時に1万人以上の人間が坑道内に居たが、

* 工業技術院地質調査所環境地質部 Environmental Geology Department, Geological Survey of Japan.

地上では24万人もの死者が出たにもかかわらず、地下の炭鉱においては死者はゼロであった。

地震の時に地下空間はどの程度揺れるのか？、地上の震度に比べ地下空間の震度はどのくらい違うのか？、前述した釧路沖地震や唐山地震の地上と地下の被害の違いから、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。そこで、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、今年の釧路沖地震の場合に適用することを試みた。こうすることにより、地震時の地下空間の震度が数値化できることになり、基礎的なデータではあるが、貴重なデータとなりうる。本文では、釧路沖地震の際に太平洋炭鉱に入坑していた方31人を選び、震度調査のためのアンケートを実施した結果について報告する。

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1人毎、すなわち1枚のアンケートから1つの平均震度値を決定する。

この場合、条件係数と震度係数を採用している²⁾。条件係数とは、回答者の家が木造の家か、鉄筋・鉄骨構造の建物か、あるいはブロック造りかで分け、さらに1階か、2階かそれ以上の階数によって生じる違いを考慮して、回答結果を補正するための数値である。震度係数とは各質問項目毎に低震度から高震度へと順序付けしてある回答（カテゴリー）に割り当てられている震度を

示す。基準とする建物全体の揺れに関する質問項目の回答頻度分布に他の質問の回答頻度分布を相対的に位置づけ、各質問項目毎のカテゴリーが対応するであろう建物全体の揺れの係数を震度係数と定めている³⁾。したがって、震度係数はある基準となる質問間の関係を示す係数とも言える。この係数は規模の大きなくつかの地震について統計的に決定されるものであり、地震の数に応じてより精度の高い数値となる。

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

$$I = \frac{\alpha}{N} \sum_i^N \beta_i(m)$$

となる。ここで、 α は条件係数、 N は質問中の有効回答数、 $\beta_i(m)$ 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 は気象庁震度階とは直接の関連はないが、太田他²⁾により気象庁震度階への変換式が提案されている。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無いものとして、条件係数は採用しなかった。坑道内は、基本的に薄暗く、地上のよう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（表-1、質問8参照）。震度を決定する質問は合計8問となり、各震度係数は表-2に示されるとおりである。全回答者の震度一覧表を表-3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。

表-1 アンケート質問内容と調査結果

あなたの性別と年齢を教えてください。（男、女）（ ）歳

質問1「あなたはこの地震を感じましたか？」

- 1 感じた 2 感じなかった

質問2「あなたはその時、どこに、何人でいましたか？（できるだけ詳しく）」

また、無線携帯者はその中にいましたか？

居た場所：

レベル：

人数：

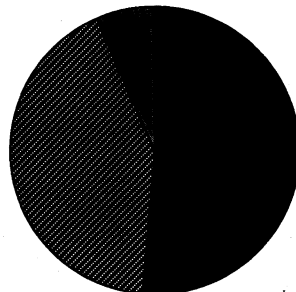
無線携帯者：

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

Question 3



- 1
■ 2
■ 3
▨ 4
□ 5

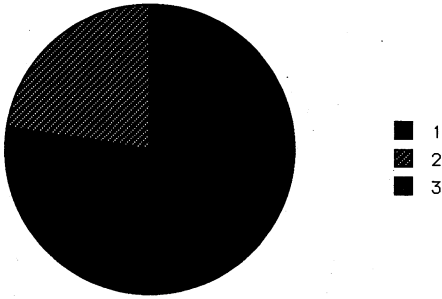
・質問1で(1 感じた)と答えられた方は以下の質問にお答え下さい。

(2 感じなかった)を選んだ方は、この用紙をこのままお返し下さい。

質問4「あなたが居た場所の地形は次のうちどれですか？」

- 1 平坦地 2 緩傾斜地 3 急傾斜地

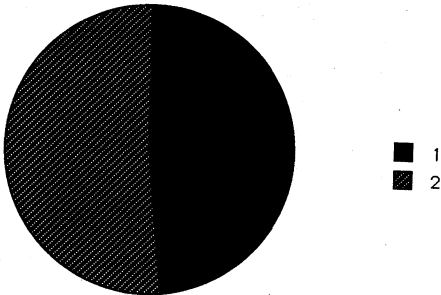
Question 4



質問5「あなたが居た場所の地盤は次のうちどれですか？」

- 1 炭層 2 炭層以外の岩盤

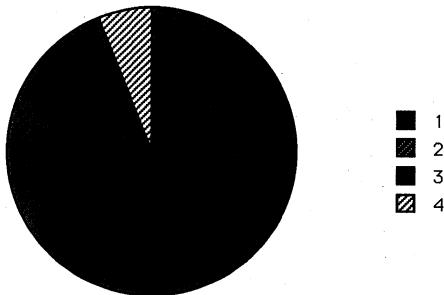
Question 5



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

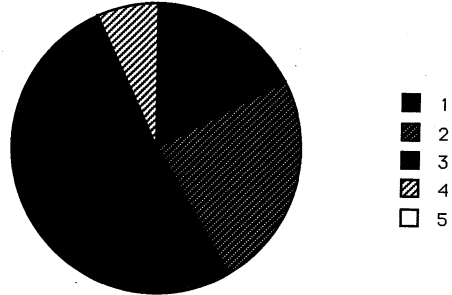
Question 6



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 ほとん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、ずり落ちた
5 ほとんど全部が倒れたり、または落ちた

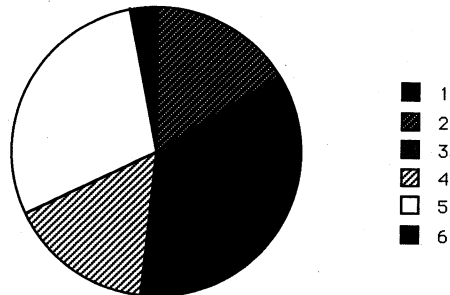
Question 7



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

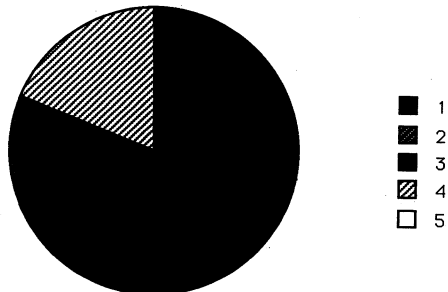
Question 8



質問9「坑道の天盤、側壁、下盤には何らかの変状がありましたか？」

- 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

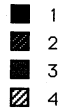
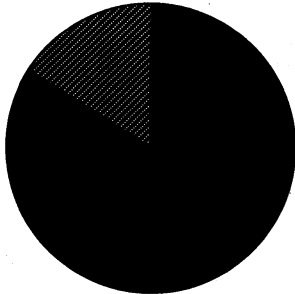
Question 9



質問10 「支保には何らかの変状がありましたか？」

- 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 原状を止めないほど変形した

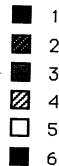
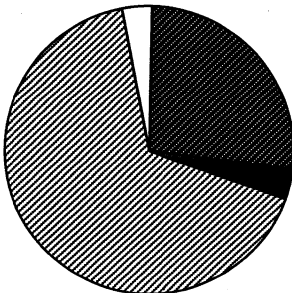
Question 10



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 どちらとも言えない
- 4 長かった
- 5 非常に長かった
- 6 いつ終わるとも知らなかった

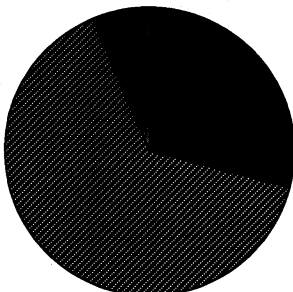
Question 11



質問12 「地震を最も強く感じたのは、どのような揺れのときですか？」

- 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

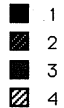
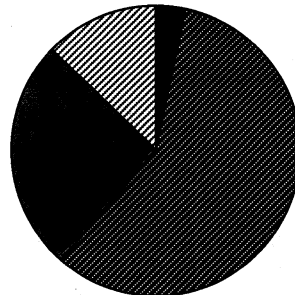
Question 12



質問13 「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

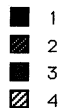
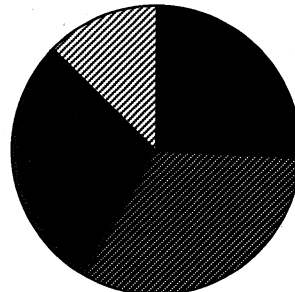
Question 13



質問14 「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

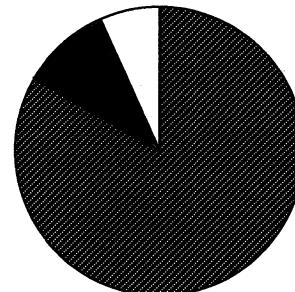
Question 14



質問15 「地震のとき、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とっていた
- 5 全く本能的に行動していたので、よく覚えていない

Question 15

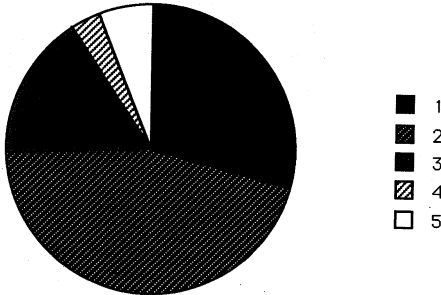


質問16 「地震と感じたときに最初にとった行動は何ですか？どんな些細なことでも結構ですから、具体的に記入して下さい。」

質問17 「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 立って居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

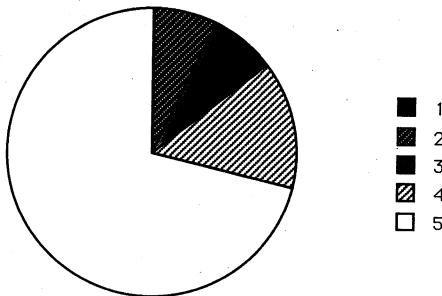
Question 17



質問18 「あなたのまわりで地震と気がついた人がいますか？」

- 1 他に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

Question 18



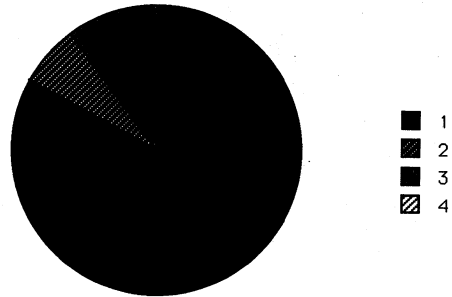
3. 調査の結果

各質問項目毎のカテゴリの頻度分布を表-1中に円ダイヤグラムとして示す。図-1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

質問19 「地震の最初のゆれのとき、地震以外の炭坑災害ではないかと思いませんか？」

- 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

Question 19



平洋炭鉱の坑道は平面ではほぼ9 km×6 kmの広がりを持っている。そこで、今回の回答者の居場所と坑道の位置関係を図-2に示す。数値は平均の震度階を示している。緯度方向と経度方向の坑道における震度階の差が有るかどうかを検討してみたが、有為な差を認めることはできなかった。太平洋炭鉱では落差が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、褶曲などを伴わない。断層の近辺とそれ以外の場所における平均震度階の差も比較してみたが、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。

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態を聞いているが、各回答項目毎の平均震度階の分布は図-3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の震度階の差が現れた。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知れない。このような現象が正しいかどうかは、サンプル数も少なく有意な差として結論できないが、興味ある結果と言える。

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、

表-2 震度係数一覧表

質問番号	1	2	3	4	5
4					
5					
6					
7		2.239	3.269	4.205	5.139
8	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
9					
10					
11	-0.076	1.039	2.154	3.269	4.384
12					
13	1.561	2.446	3.329	4.212	5.093
14	1.795	2.589	3.380	4.170	4.959
15	1.868	2.995	4.122	5.249	6.376
16					
17	2.284	3.376	4.462	5.547	6.630
18		0.960	1.814	2.626	3.425
19					

- ・《掘込部、担背下よりの逃避、坑外への電話・無線連絡》
- ・《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、停電復帰作業に就いた》
- ・《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および無線による安全の確認をしたが、連絡がとれず、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分後に連絡がとれ、次の指示まで、見張りで待機》
- ・《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》
- ・《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》

表-3 回答者の震度階一覧表

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

- ・《間漏のしない安全な箇所に退避した》
- ・《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坑道目抜に退避する。中変（中央変電所）に電話して全停したことを確認

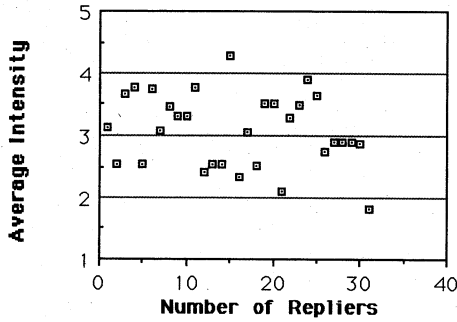


図-1 各回答者の平均項目震度分布

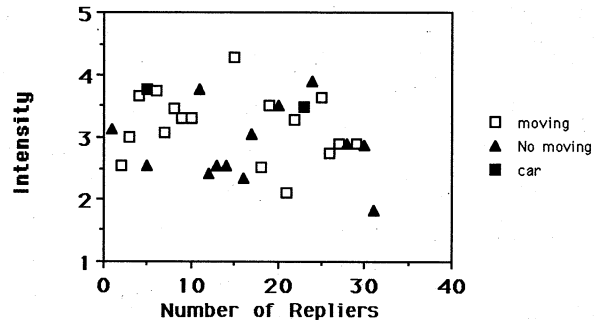


図-3 質問3のカテゴリ毎の平均震度階

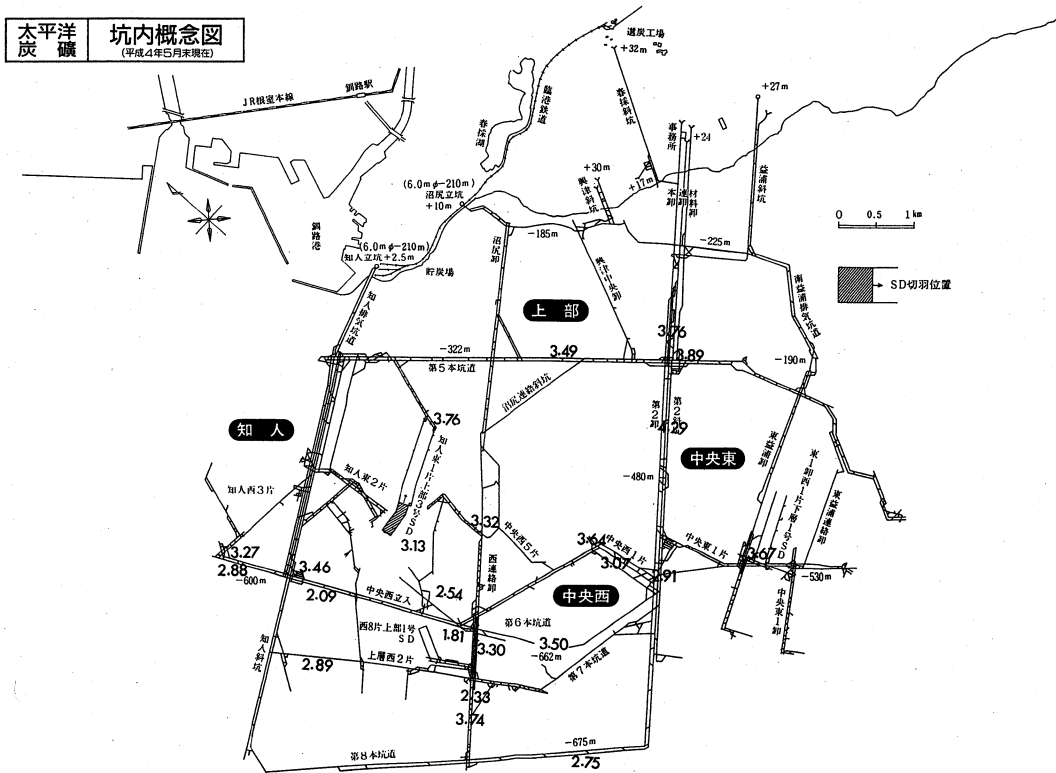


図-2 坑道の位置と平均項目震度階の分布

したが、無線が入らないので西立入5.5目抜に向かう》

- 《安全な箇所へ退避した。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》
- 《地震が来たとき椅子から立ち上がったが、揺れがひどくて立っていられず、座り込み、他の行動はとれなかった》
- 《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柁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》

地震発生後2か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良く示されている。ほとんどの人が地震と感じており(表-1, 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、回答者のほとんど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。

この他に以下のように、地震の規模や震度を示すと思われる模様も伝えられている。

- 《震動とともに天盤鋼枠間からズリがもれた。震動がおさ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。》
- 《地鳴りと鋼枠が動き、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》

4. おわりに

平成5年1月15日、成人の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、太平洋の海底下に稼行する太平洋炭鉱では、けが人1人さえも出なかった。今回のような大きな地震が発生した場合には、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。本文では、地下600mの坑道では、平均項目震度は3.1であった。しかし、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、今回の太平洋炭鉱における調査実施例は貴重であり、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。今回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、具体的な数値として示したことになる。

謝辞 本調査では太平洋炭礦株式会社に多大な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炭業所との綿密な連絡など、種々のご配慮をしていただきました。また、釧路炭業所企画室遠藤 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

- 1) 銭綱(1988): 唐山大地震—今世紀最大の震災, 朝日新聞社
- 2) 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, pp. 117-128.
- 3) 村上ひとみ・鏡味洋史(1991): アンケートによる高密度震度調査法の修正メルカリ震度階への適用, 地震, 第2輯第44巻, pp. 271-281.

(1993年4月13日受付, 1993年6月2日受理)