

Variation of atmospheric and ground fissure radon concentration using portable natural gamma ray system while the Niigata Prefecture Chuetsu-Oki Earthquake in 2007

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2021-07-26 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00061687

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



新潟県中越沖地震直後の空間放射能

田崎和江*, 野村正純*, 森井一誠**, 佐藤和也**, 馬場奈緒子**, 中西孝**,
横山明彦**, Siti Khodijah CHAERUN***

Variation of atmospheric and ground fissure radon concentration using portable natural gamma ray system while the Niigata Prefecture Chuetsu-Oki Earthquake in 2007

TAZAKI Kazue*, NOMURA Masazumi*, MORII Issei**, SATOH Kazuya**, BABA Naoko**, NAKANISHI Takashi**, YOKOYAMA Akihiko** and Siti Khodijah CHAERUN***

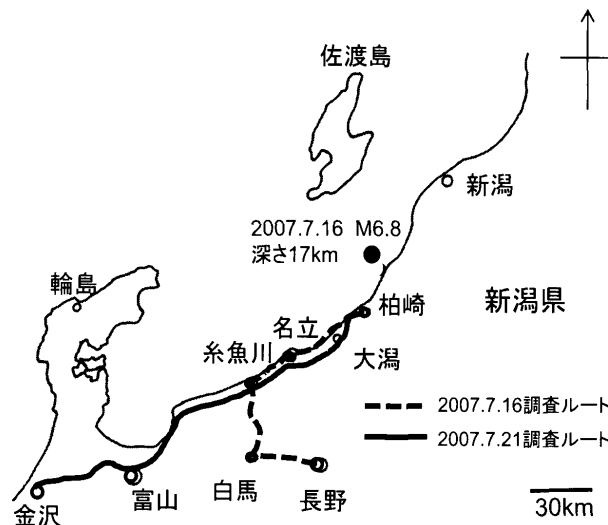
Abstract The magnitude-6.8 Chuetsu-Oki Earthquake struck at 10:13 a.m. 16th July 2007, off the northwestern coast of Japan in Niigata Prefecture, Japan. The hypocenter was Chuetsu-Oki region 37.33N,138.36E (17 km in depth). The quake started under the ocean about 9 km North of Kashiwazaki Kariwa nuclear plant, killing 11 peoples, and flattening several hundreds of buildings. In this study, Radon has measured in air and ground fissures using portable natural gamma ray system on July 16-17, and 20-21th, 2007. The quite high gamma ray of 300-340 cpm was detected on July 21th at Ohminato, Kariwa village which is the nearest of the fault fissure zone. The abnormal increase (200-300 cpm) was detected at large deep subsidence and new crack on the paved road. For comparison, normal air radon without earthquake was counted as low as 60-80 cpm. The car-borne and hand-borne measurement system was assembled for easily and rapidly detecting full features of the fissures buried in the ground.

Key Words : The Niigata Prefecture Chuetsu-Oki Earthquake in 2007, hand-borne, atmospheric Rn, ground crack, subsidence

はじめに

2007年7月16日午前10時13分にマグニチュード6.8の地震が中越沖で発生し、震央から約9キロの東京電力の柏崎刈羽原子力発電所を直撃した。その日の15時37分にはマグニチュード5.8の余震が本震の南東で発生した。本震及び余震の位置は、気象庁緊急地震速報の最終版によれば、本震発生時の位置は北緯37度33.4分、東経138度36.5分、最大震度6強、震央の深さ17kmであり、余震は北緯37度30.2分、東経138度38.6分、最大震度6弱、震央の深さ23kmである。原発の地震動は耐震設計の基準としていた値の2.5倍に達していた。

その後も余震が続き新潟県を中心として長野県、富山県、石川県にも震度5-6の強い揺れをもたらした。2007年8月1日現在、新潟県のまとめによれば、家屋の倒壊などによる死者11名と約1000名以上の負傷者、約36,000棟の家屋が損壊、約10,000人以上が避難生活を強いられた。これは、2004年10月23日に発生した中越地震に次ぐ被害であった。大気中のRn濃度の変化は地下深部の変化を知るのに有効であり、地震直後の大気や亀裂、陥没、隆起、液状化などを生じた場



第1図 新潟中越沖地震被害地におけるカーボン法による γ -線(^{222}Rn)濃度測定ルート(2007年7月16, 21日に測定)

Fig. 1 Measurements of γ -ray (^{222}Rn) concentration using car-borne in 16th and 21th July 2007 while the Niigata Prefecture Chuetsu-Oki Earthquake in 2007 struck the Kashiwazaki-Kariwa nuclear power plant, Niigata, Japan.

2007年9月25日受付。2008年3月4日受理。

*北陸支部、金沢大学大学院自然科学研究科、920-1192 石川県金沢市角間町、**金沢大学大学院自然科学研究科 920-1192 石川県金沢市角間町
***バンドン工科大学、バンドン、インドネシア

*, ** Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, Kanazawa, Ishikawa, 920-1192, Japan.

*** School of Life Sciences and Technology, Bandung Institute of Technology, Ganesa 10, Bandung 40132, West Java, Indonesia.

Corresponding author: K. Tazaki, kazuet@kenroku.kanazawa-u.ac.jp

所の Rn 濃度により地下の変化を現場で直ちに捕えることができる。本研究は、新潟県中越沖地震では初めての Rn 測定である。

本研究の目的

本研究は柏崎刈羽原発周辺に生じた道路の陥没、亀裂、隆起、液状化における GM サーベイメーターによる Rn 測定結果と地盤や地質の地震直後の大気、地質の環境評価を行う。

放射能探査の測定場所と手法

カーボンによる空間放射能の測定は 2007 年 7 月 16-17 日にかけて長野県白馬から糸魚川に向けて北上し、日本海に沿って 8 号線沿いに柏崎まで行った。また、7 月 20-21 日は金沢大学から、北陸自動車道を経て、柏崎まで調査を行った(第 1 図)。いずれの時も、GM サーベイメーター(携帯用自然 γ 線測定装置 TGS-146; ALOKA, Science & Humanity)による空間放射能の測定を行った。柏崎刈羽原子力発電所の周囲とその北側で被害の大きかった大湊や北尾においては歩いてハンドボーン測定を朝 6:00 から 22:30 まで行った。7 月 16-17 日の測定日は曇りであり、7 月 20 日は雨で 19-26 度と暑く、翌日の 21 日は曇りから晴れ、気温も 25 度と暑い一日であった。大湊で採取した雨は 7 月 20 日に降った雨である。自家用車でのカーボンは、左側窓から検出器(GM 管)を外に出し、約 1 m の高さで連続測定による大気を、また、歩きながらのハンドボーンは RATE 10 sec. で地面の直上、地震による舗装道路や土壌の亀裂や陥没および隆起の部分における空間放射能を測定した。その結果を第 1 表と第 2 図に示した。地震当日と 5 日後の測定から、新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原発周辺の地表、地下、大気中の Rn の様子を捕えることができた。

放射能探査の基礎事項と適用例

表層探査法は海底、地上、地表などで特定した環境の放射能を測定し、その分布や経時変化上の特徴から、(1) 表層地質の区分を主とし、ウランや石油などの鉱床探査、山地の積雪分布、放射性汚染の検出などが可能である。また、(2) 被覆層下に伏在する断層のうち、間隙が開いた部分の検出を主とし、その開口、破碎、目詰まりなどの状態を把握し、それらの経時変化からの地震予知も可能である(物理探査学会 1998)。測定する放射能線によって α ・ β 線と γ 線の二つに分類されるが、測定対象は主に、 ^{226}Ra が表層から大気に移った気体の ^{222}Rn 、 ^{218}Po 、 ^{214}Pb である。

また、カーボン法は広域に伏在する裂け目や断層の簡便、迅速な測定法として解析能がすぐれている。本研究に用いた GM サーベイメーターは主に β 線に感度があるが、 α 線と γ 線にも感度がある。大気中の β 放射体は ^{222}Rn (ウラン系列) の娘核種である ^{214}Pb 、 ^{214}Bi 、 ^{220}Rn (トリウム系列) の娘核種である ^{212}Pb 、 ^{212}Bi が主なものである。地表からの β 線も検

出しているが、検出器を地表から 1 m 離せば大気中の β 放射体をかなり反映したデータになる。GM サーベイメーターは γ 線にあまり感度がよくないため、地面からの γ 線の影響が少ない。従って、地面の地質の違いの影響を余り受けずに大気中の β 放射体を検出できる利点がある。

2007 年 3 月 25 日の能登半島地震被害地において、4 月 4、8、10、12、19 日の計 5 回、金沢市内から能登半島にかけて、大気および地表の空間放射能を測定した(田崎ほか 2007a,b,c)。2007 年 4 月 4 日に輪島市大沢(8:20 頃; 2300 cpm)と古和秀水(13:20 頃; 1500 cpm)で測定した大気中の放射能はそれぞれ、気象庁地震火山部発表の(1) 4 月 4 日 08 時 18 分ころ、震源地 石川県能登地方(北緯 37.2 度、東経 136.7 度)、震央の深さ約 10 km、マグニチュード 3.8 の地震と、(2) 4 月 4 日 14 時 12 分ころ、震源地 能登半島沖(北緯 37.2 度、東経 136.5 度)、震央の深さ“ごく浅い”、マグニチュード 3.3 の地震に対応していた。4 月 4 日の高いカウント数は、地震による断層や強い褶曲の上の地表で自然放射能が急増する現象を測定したと考えられ、余震の状態を知る可能性を示した。すなわち、カーボンによる Rn の測定は地震による断層運動の経時変化を解析する一手法に使える可能性が多くの研究者により指摘されている(例えば Horiuchi and Murakami 1982; 木村 1995; Wakita 1997; Weng 1997; Zhang and Zhang 1997)。

現地調査および分析結果

本研究では、地震発生日の 7 月 16 日午後と 7 月 21 日の 2 回にわたるカーボン法による空間放射能測定を行った。その地域を第 1 図に、ハンドボーン法による柏崎刈羽原発周辺の空間放射能測定地域を第 2 図に示す。

空間放射能測定結果

2007 年 7 月 16 日地震発生直後の 11:40 に長野県白馬から柏崎までのカーボンによる測定を行った結果、柏崎から離れている大気中の Rn は 80-90 cpm であるのに対し、糸魚川周辺で、90-100 cpm と若干高い値を示し、柏崎市内でも 90-100 cpm と高かった(第 1 図、第 1 表)。それから 4 日後の 7 月 20-21 日は金沢から柏崎までは滑川の 103 cpm を除けばいずれも 70-90 cpm と低い値を示したが、柏崎駅前周辺をハンドボーン法により測定すると 120-280-340 cpm の高い値を示した。特に、柏崎駅前の陥没、亀裂、液状化部分が 200-260 cpm と高い。柏崎刈羽原発周辺、特に、刈羽村における亀裂(30 cm)、陥没(70 cm)、隆起の箇所ではハンドボーン法で 230-340 cpm と非常に高い値を示した。柏崎刈羽原発に隣接する大湊はいたるところに被害が認められ、大気も 100 cpm と高く、特に亀裂の深い部分は 170-180 cpm と高い値を示した。柏崎刈羽原発の周辺 14ヶ所について詳細な現地調査を行ったが、いずれも海岸線に平行な大きな長い亀裂が東西に数百メートルに渡って走っていることが明らかにな

2007年7月16日測定

2007年日時	地点	cpm
7/16 11:40	長野県白馬村 新田・森上	57
11:40	岩岳入口	57
11:52	南小谷駅前	62
11:52	道の駅小谷付近	70
11:59	堀川	60-80
12:00	堀川	80
12:00	堀川	100
12:23	茶臼トンネル	80
12:32	原立トンネル	90-100
12:40	新潟県 糸魚川駅	90-100
12:41	フォッサマグナ糸魚川温泉	90-100
12:45	横町(8号)	70
12:48	横町	70
12:52	大町	100
12:56	大和川	100
13:17	浦本漁港	80-90
13:38	上越市 名立大橋裏詰	80-90
13:44	北陸道 名立谷浜 I.C. 付近	80-90
14:04	蒲原中学校	70
14:16	8号再合流	80
14:24	坂が浜	70
14:25	五智	80
14:28	直江津駅前	80-90
14:30	関川	70-80
14:37	黒井	60-70
14:44	犀潟駅前	80-90
14:47	大湊 P.A. 付近	80-90
15:08	柿崎区入口	70-80
15:10	北陸道 柿崎 I.C. 付近	100
15:40	柿崎高校	70-80
15:58	竹鼻	70-90
16:00	竹鼻(1)	70-90
16:05	竹鼻(2)	80-90
16:10	柏崎市入口(8号)	100

2007年7月20日測定

2007年日時	地点	cpm
7/20 17:00	金沢市卯辰山	83
	北陸道 金沢森本 I.C.	94
17:20	小矢部 I.C.	95
	砺波 I.C.	98
17:40	小杉 I.C.	72
17:45	富山 I.C.	78
17:55	清川 I.C.	103
	有海 S.A.	64
18:15	黒部 I.C.	94
18:35	観不知 I.C.	63
17:45	糸魚川 I.C.	77
19:15	上越 I.C.	69
19:20	大湊	63
19:40	米山 I.C.	75
19:55	柏崎市 壽町	60
20:05	ホテルアルファワン	120

2007年7月21日測定

2007年日時	地点	cpm
7/21 6:00	柏崎市ガス局前	160
	柏崎エネルギーホール	180
	産業文化会館	160
	レストラン豊隆	280
	マンホール、クラック	250
6:30	アスファルト道路、隆起	210
	20cmの亀裂	310
	排水溝ふた	170
	曹洞宗福徳院	120
	西福寺	120
	モータリ工前歩道、亀裂	220
	ホテルサンシャイン前	260
7:00	柏崎駅構、液状化	280
7:50	柏崎駅前通り	60-70
	柏崎商業高校	60-110
	原発構、荒浜	70
8:10	原発裏側、陥没	90
8:15	原発門の前、亀裂	130
	原発前、道路亀裂	280
	刈羽トンネル跡裏の亀裂	230
	T字路、亀裂	340
	丁字路、陥没穴	163
	マンホール20cm	130
	勝山地区	150
	滝谷新田	80-112
	がけ崩れ	40-60
	高浜郵便局(宮川)	70-120
	高浜海岸	20-60
	道路の亀裂と30cm段差	80-120
9:00	道路の亀裂と段差10cm	80-110
	道路の亀裂	150-170
10:20	大湊、集落の道路	110-140
	大湊、草の中の亀裂	80-170
	大湊、家の前の亀裂	180
	積伸の横の道	90-150
	9本の平行な亀裂	130
	海の家	100-140
10:45	マリンスポーツ浜風前	
10:50	大湊、雨水	80
11:05	大湊	80-130
11:10	大湊の墓場	70-120
11:25	大湊バス停	60-80
11:35	守屋、道路全面崩落、亀裂	90-100
11:50	道路の亀裂	90-100
12:50	勝山地区集会場	80-120
13:12	原発、南側、亀裂	70
13:30	排水口近くで海水を採取	70
14:00	原発内5号機裏側	70-80
14:30	柏崎ユースホテル前海岸	60-70
16:58	柏崎駅前	60-80
18:30	柏崎駅前	50
	ホテルニューグーデン陥没	70
	マンホール陥没	80-110
19:30	北陸道 米山 I.C.	50-60
	柿崎 I.C.	40-60
20:00	上越 I.C.	50-70
20:10	名立谷浜 I.C.	50-70
20:40	能生 I.C.	60-70
20:50	糸魚川 I.C.	40-60
20:55	観不知 I.C.	60-80
21:10	入善	50-75
21:15	黒部 I.C.	30-40
	魚津 I.C.	60-80
21:25	清川 I.C.	60-80
	立山町	50-70
21:35	富山 I.C.	60-90
21:40	富山西 I.C.	70-110
21:50	砺波 I.C.	85-110
21:58	小矢部川 S.A.	70-105
22:15	金沢森本 I.C.	60-90
22:30	金沢大学自然研2号館	100

状況、商店街アーケードの敷石や家屋の損壊、2カ所の寺での墓石の倒壊、マンホールの隆起や陥没などが認められ、いずれも高い値を示した。柏崎駅前の陥没や亀裂は250-280 cpmを、隆起は210-310 cpmを示した。また、敷石やコンクリートの亀裂は220-260 cpm、マンホールの隆起は260 cpm、液状化した部分は230-340 cpmであった。

原発周辺測定地点1：原発5号機から東へ約1000 m

国道352号における刈羽トンネル手前の歩道には、海岸線に平行な長い亀裂が8本と垂直方向の亀裂が3本認められる(第3図B)。平行な亀裂の長さは短いもので2.3, 4.6, 9.2 m、長いものは17, 22, 28, 57 mもある。垂直方向の亀裂は4.5-6.5 mと短い。トンネルへの歩道も2.5 mに渡って隆起している。この周辺の放射能は、刈羽トンネルで230 cpm、道路の亀裂部分が340 cpm、陥没部分で163 cpmといずれも高い値を示している。

原発周辺測定地点2：原発正面ゲート前

原発の正面ゲート前の放射能は280 cpm、ゲート前道路の亀裂は巾5 cm、長さ15 m、海に平行である。また、正面ゲート前道路上の橋の橋脚には亀裂が認められる。その亀裂は2段になっており、下段が7 m、上段が3 mに渡っており、大気中の放射能は130 cpmである(第3図C)。

原発周辺測定地点7：荒浜海岸(原発の南側)

荒浜の海岸には大きな波消しブロックが積み上げられており、その陸側には土手が原発の中まで続いている。この土手の部分に約20 cmの巾で亀裂が続いており、さらに上側の土手には数段に渡り地すべりが生じている。この周辺の放射能は70 cpmと比較的低い。波消しブロックに対して垂直に原発の境界の柵があり、その手前で本研究に用いた海水を採取した。その柵の後方には大湊側の放水口の柵が遠方に見える。

原発周辺測定地点8, 9：原発北側600 m(ヘリポート近く)

巾11.5 mの国道352号の道路には、海岸線に対して平行に道巾いっぱい5-6本の亀裂がある。その長さは陸から海に向かって7.0, 9.5, 8.0, 9.0, 11.5, 3 mである。なお、金網越しに見えるH印のついたヘリポートにも亀裂が数本見えた。この亀裂は海岸線に対して直角である。海岸線に対して平行な亀裂は長さ9 mにも及び、巾20 cm、深さ30 cmの空隙が生じている(第4図)。

原発周辺測定地点10：大湊の墓場、原発北側700 m

原発に最も近い刈羽村大湊の墓場は国道を挟んで東側の小高い丘に位置する。この墓石の半分は倒れたりずれたりしている。倒壊した一番上の石にはこすれた跡もなく、100-200 kgの石が飛び跳ねたことが推測される。倒壊の方向は西側(海側)が多く、一部東側にも倒れている。海側には長さ約100 mの亀裂が海岸線と平行に走っており、亀裂の周辺の墓石はほとんどが倒壊している。墓場全体の空間放射能は70-120 cpmである。大湊の村の中の道路、家屋の土台にも大きな亀裂が多数認められ、170-180 cpmを示した(第3図D)。

第1表 新潟県中越沖地震被害地におけるカーボン法による γ -線(^{222}Rn)濃度測定(2007年7月16, 20-21日測定)

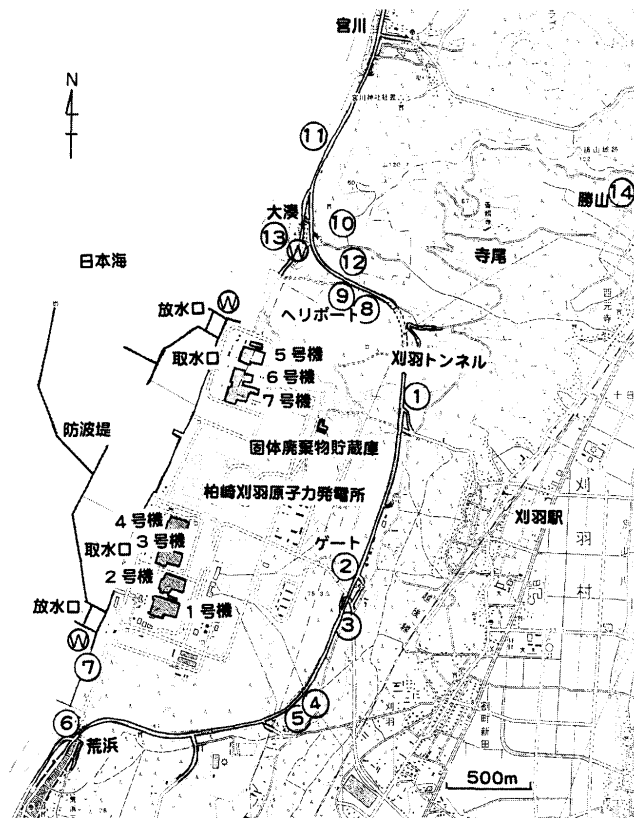
Table 1 Regional distribution of γ -ray (^{222}Rn) concentration using car-borne in 16th, 20th and 21th July, 2007 while the Niigata Prefecture Chuetsu-Oki Earthquake in 2007.

った。

ハンドボン法による柏崎駅周辺と柏崎刈羽原発周辺および刈羽村の被害状況と空間放射能測定結果を第3, 4図に示す。

柏崎駅周辺

柏崎駅構内には地震により脱線した電車車両、線路横の液



第2図 柏崎刈羽原発周辺におけるハンドボーン法による γ -線(^{222}Rn)濃度測定地点と海水採取地点(W印)および亀裂や陥没箇所(2007年7月20, 21日で測定)。この位置図は国土院発行の地形図を背景画像に使用して作成した。

Fig. 2 Measurements of γ -ray (^{222}Rn) concentration using hand-borne and chasms and subsidence's in 20-21th July 2007 while the Niigata Prefecture Chuetsu-Oki Earthquake in 2007 struck the Kashiwazaki-Kariwa nuclear power plant, Niigata, Japan.

原発周辺測定地点11：原発の北側1300m（大湊と宮川の中間）

海岸に最も近い国道352号線の大湊と宮川の中間には約700mに渡って海岸線に平行な大きな亀裂が続いている（第4図A）。その長さは北から南に向かって100, 10, 20, 20, 23, 20, 26, 60m, 亀裂の中は15, 9, 19, 13, 13, 12, 17cm, 深さは28, 5, 20, 19, 85, 32, 35cmである。大湊と国道の合流点には道路の一部が長さ32m, 巾37cm, 深さ70cmの崩壊, 陥没を生じていた（第4図B）。その周辺の空間放射能は90-170cpmである。

原発周辺測定地点12：大湊の住宅地

国道から数十メートル下がった海岸には数十軒の住宅や海の家, 浜茶屋, 貸しボート屋が並んでいる。屋根がわらが激しく落ちていたり電柱が倒れかかり, 道路のあちこちに亀裂, 陥没が生じている。未舗装道路の亀裂の部分は110-140cpm, アスファルト道路の巾40cmの亀裂は170-180cpmを示した。

原発周辺測定地点13：大湊住宅内

原発に一番近い大湊住宅街の家やコンクリートの歩道などに大きな被害が認められた。家の柱は約20cmずれてうきあ

がっており, 周辺の大気は110-140cpmの高い空間放射能が検出された。海に通じる舗装した道路には海岸に平行に無数の亀裂があり, 全体が波を打ち90-150cpmの値を得た。未舗装の草の茂った道路際にも巾30cm, 長さ20mの亀裂があり, 100-140cpmの値を得た。マリンスポット浜風の家屋は約1mの陥没があり, 120-150cpmと高い値を得た。そのときの大気は80-130cpmであった。

原発周辺測定地点14：原発の北東2300m（勝山地区）

寺尾や勝山の内陸にも家の倒壊, 道路の亀裂, マンホールの20cm隆起など多くの被害が認められた。寺尾では山中の道路が谷筋で全面崩落し, 道路が寸断されていた。その周辺の大気は130-150cpmと比較的高かった。

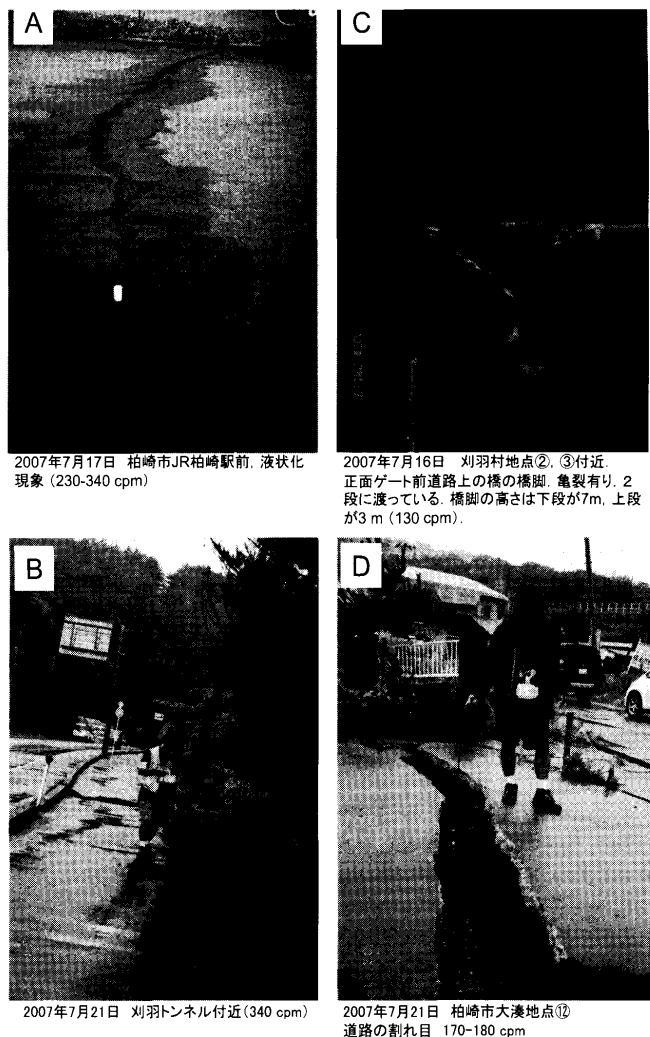
考察

環境中にある放射性核種は, 人工, 宇宙線, 地球の形成時という3起源があるが, 放射能が局部で数倍以上に増える現象をGM計数管により詳しく定量解析することで, 岩石の種類の違い, 地質境界, 断層, 温泉などの計数異常が指摘できる。また, 定点で地下水や大気に含まれるRnの濃度を長期間測定する方法は数多く開発されており, 地下水中のRn濃度は地震予知に, 大気中のRn濃度は地震や環境影響評価に使われている(Adams and Fryer 1963; Darnley 1991; 山内 1992; ラドン族調査研究委員会 1995; Komura et al. 1998)。

地層中に含まれる放射性核種のうち, 開口割れ目を気体で長距離に渡って上昇できる核種はラドン ^{222}Rn のみである。この移行Rnは一般に地層空隙に蓄えられるが, 開口割れ目ではその一部が上昇して表層に至り, そこに蓄えられることが知られている。 ^{222}Rn の放射性崩壊ではいずれも短寿命な4代の娘核種が相次いで生じ, それらは約30分で放射平行に近づくので, 表層での ^{222}Rn の放射エネルギーは5倍になり, このため, 移行Rnの表層蓄積状態は放射能測定で見出しやすい。

本研究で得られた測定結果のうち, カーボンによる長距離測定である80-100cpmの空間放射能は常時観察される値である。しかし, ハンドボーンによる200cpm以上の値は地震による陥没, 亀裂, 隆起, 液状化が認められる部分であるのが特徴である。すなわち, Rn測定値は地下の地盤の変化に関連した有意の差を示しており, 地盤に関連した被害が報告されている(細矢ほか 2007; 福塚ほか 2007; 千葉ほか 2007; 風岡ほか 2007; 卜部ほか 2007; 川辺ほか 2007)。空間放射能値は, 地形・地質条件と関係していること, 河川堤防の被害は旧河道と関係しており, 河川改修に伴う人工改変地であることが明らかになっている(細矢ほか 2007; 福塚ほか 2007)。

本研究結果により, 比較的厚めの盛土(5~10m位)で地震によって動いた部分は高い数値を示した。この高い数値は地下の変状が深度5m以上の深めの動きを反映していると考えられる。すなわち, 柏崎駅周辺でも小さい亀裂やマンホ



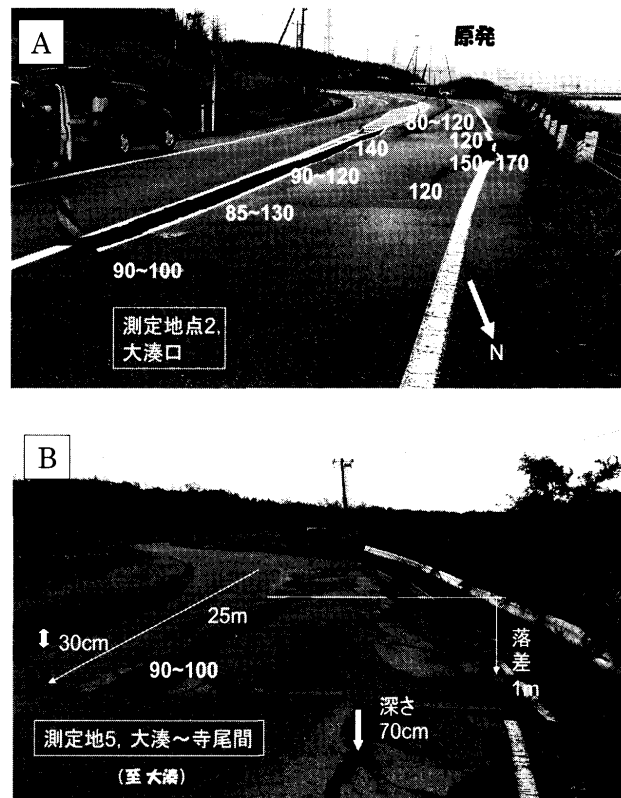
第3図 柏崎駅周辺における液状化現象 (A), 刈羽トンネル付近の亀裂や陥没 (B), 柏崎刈羽原発のゲート付近の亀裂 (C) および大湊における大きな被害状況 (D) (2007年7月16, 17, 21日撮影) (地点1-3, 12, 14)

Fig. 3 The liquefaction behind Kashiwazaki JR station has found (A), the crack, liquefaction and subsidence near Kariwa Tunnel, showing quite high 340cpm (B), the cracks in front of gate at Kashiwazaki-Kariwa nuclear power plant, showing 130cpm (C) and heavy cracks and subsidence at Ohminato, indicating high 170-180 cpm (D).

ール, 汚水収集柵の浮き上がりなど浅い深度のものは数値が低く, 液状化のように少なくとも地下数mより深い深度の動きに係わっている亀裂は値が高くなっている. つまり, 空間放射能の数値はその亀裂が表層の浅い部分のみのものなのか, 少なくとも数m~5m以上にもおよぶ深い部分までの変形を示していると考えられる. 一見での地表の様子ではわからない地下深部までの亀裂の具合(盛土の場合は, 盛土の滑った規模)を本研究のデータは示していると考えられる.

まとめ

2007年7月16日午前10時13分にマグニチュード6.8の地震が中越沖で発生し, 震央から約9キロの東京電力の柏崎刈羽原子力発電所(新潟県柏市・刈羽村)を直撃した. 地震



A,B;2007年7月21日 柏崎市大湊 地点⑪写真中のゴシック数字はcpm量

第4図 柏崎刈羽原発隣の大湊における舗装道路の被害状況(地点11)

Fig. 4 Big gap and fall down road 70cm-100 cm in depth at Ohminato beside Kashiwazaki-Kariwa nuclear power plant, indicating high 150-170 cpm.

動は耐震設計の基準としていた値の2.5倍に達していた. 震央は37.33 N, 138.36 E, 深さ17 kmであり, 逆断層による地震である. 本研究調査団はGMサーベメータを使用し, 車によるカーボン法と徒歩によるハンドボン法との併用により, 柏崎刈羽原子力発電所周辺における大気と舗装道路の亀裂, 陥没, 隆起, 液状化地帯における空間放射能を測定した. この結果, 地震の被害が認められなかった柏崎に行く途中の大気は60-80 cpmであったが, 柏崎市および刈羽村の原発周辺は大気が90-150 cpmと高く, かつ, 亀裂, 陥没, 隆起, 液状化を生じている場所は200-300 cpmと非常に高い値を示した. すなわち, 地盤構造や地形と今回の地震の被害の大きさは関連しており, かつ高いRn値と一致した. 今回の地震による被害が集中している場所は局所的であり, 地理・地形・地質条件に加え, γ 線量と関連していることが明らかになった. すなわち地表の様子ではわからない深部の地震活動と地下構造の解析に γ 線測定法は有効である.

謝辞 金沢市金石港の海水採取でご協力いただいた金沢大学の鈴木健之博士にお礼申し上げる. また, 新潟県中越沖地震に関するデータや資料の提供, 有益な討論をいただいた金沢大学大学院の平松良浩博士, 瀬川 忍氏にお礼申し上げます.

さらに、日本電子(株)分析器本部の小野寺 浩博士には蛍光X線分析をして頂いた。厚くお礼申し上げる。本論文の匿名の査読者からは、有意なご助言をいただき、感謝申し上げます。

文 献

Adams J A S and Fryer G E (1963) Portable γ -ray spectrometer for field determination of thorium, uranium and potassium. *Natural Radiation Environment, Part II*, 577-596.

物理探査学会 (1998) 物理探査ハンドブック 手法編, 597-614.

千葉達朗・天野 篤・大里重人・佐藤 成 (2007) 2007年新潟県中越沖地震被害調査速報. 地質学会第114年学術大会講演要旨(増補版), 1.

Darnley A G (1991) The development of airborne gamma-ray spectrometer; Case study in technological in-innovation and acceptance. *Inter Radat Appl Instrum Part E, Nucl Geophys*, 5-4; 377-402.

福塚康三郎・金折裕司・飯島康夫・平野吉彦 (2007) 2007年新潟県中越沖地震による地盤災害と旧地形. 地質学会第114年学術大会講演要旨(増補版), 2.

Horiuchi K and Murakami Y (1982) A new method for the determination of radon in soil air by the "open vial" and instagel counting with a liquid scintillation counter, *J Radioanal Chem* .80; 153-163.

細矢卓志・橋本智雄・安田幸弘・岩田 賢 (2007) 2007年新潟県中越沖地震における被害状況と地形・地質条件. 地質学会第114年学術大会講演要旨(増補版), 4.

風岡 修・川辺孝幸・古野邦雄・笠原 豊・岸 沙織・黒木 渉・奥山明洋・高藻真理・竹内敦実・宇留野元徳・渡邊真弓・吉田 剛 (2007) 液状化—流動化被害地域における暗梁排水の効果. 地質学会第114年学術大会講演要旨(増補版), 3.

木村重彦 (1995) 地表 γ 線による表層地質等の探査. *Radioisotopes*, 44; 627-636.

川辺孝幸・風岡 修・笠原 豊・古野邦雄・吉田 剛・岸 沙織・黒木 渉・奥山明洋・高藻真理・竹内敦実・宇留野元徳・渡邊真弓 (2007) 2007年新潟中越沖地震による柏崎市北東部の砂丘内陸側緩斜面上の大規模液状化災害. 地質学会第114年学術大会講

演要旨(増補版), 1.

Komura K, Toguchi A and Yamazaki S (1998) Monitoring of radon activity in the tunnel and out-flow water from mining pit of former Ogoya Copper Mine and radon anomaly related to earthquake of September 10, 1996 at Komatsu area, Japan. In "Radon and Thoron in the Human Environment". Proceedings of the 7th Tohwa University International Symposium, World Scientific Publishing Co. Ltd., 150-156.

ラドン族調査研究委員会 (1995) 大気中のラドン族と環境放射能 III. 岡部 茂他編集, 社団法人日本原子力学会発行, 234p.

田崎和江・野村正純・馬場奈緒子 (2007a) 能登半島地震による水田の塩害調査と現状. *地球科学*, 61; 389-400.

田崎和江・馬場奈緒子・佐藤和也・奥野正幸・福士圭介 (2007b) 能登半島地震被害地の生活水(井戸水,湧き水,山水)の調査結果:地震災害時の迅速な指導と指示. *地球科学*, 61; 281-292.

田崎和江・鈴木祐恵・佐藤和也・中西 孝・森井一誠・鈴木健之 (2007c) 空間放射能線がとらえた能登半島地震:被災地における空間ベータ線測定. *地球科学*, 61; 343-361.

卜部厚志・高濱信行・河島克久・鈴木孝治・梶 壮志・和泉 薫・福留邦洋・本田幸子 (2007) 2007年新潟県中越沖地震による柏崎・刈羽地域の建物被害と地盤災害. 地質学会第114年学術大会講演要旨(増補版), 2.

山内常生 (1992) 地中におけるラドン濃度の変化と地震発生の関係. *環境ラドン*. 原子科学研, 30-41.

Wakita H (1997) Radon observation for earthquake prediction. Proc. of the 7th Tohwa University International Symposium, Eds. Katase A and Shimo M, World Scientific Co., 125-130.

Weng Pao-Shan (1997) Geological fault exploration and earthquake prediction using radon. Proc. of the 7th Tohwa University International Symposium, eds. Katase A and Shimo M, World Scientific Co., 131-140.

Zhang Z and Zhang W (1997) Research in using radon content variation to predict earthquakes in China. Proc of the 7th Tohwa University International Symposium, eds. Katase A and Shimo M, World Scientific Co., 141-149.