

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22540432

 研究課題名（和文） 台湾南西部の高速地殻変形帯における  
ラドン濃度観測と地震先行過程発現機構の解明

研究課題名（英文） Study on Mechanism of Preseismic Anomalies of Radon Concentration

## 研究代表者

角森 史昭 (TSUNOMORI FUMIAKI)

東京大学・大学院理学系研究科・助教

研究者番号：60291928

研究成果の概要（和文）：地下水溶存ラドン濃度の連続観測に適した小型高性能の測定システムを開発し、実際の観測に適用して有効性を確かめた。この装置を使った観測結果に基づいて、地震に先行する地下水ラドン濃度の異常変化を説明するための物理モデルの提案を行った。この研究の大きな目的である「地震先行過程発現機構の解明」は、第一段階を突破することができ、モデルに基づいた実験的な観測によってそのモデルの妥当性をさらに検証する段階へ進む成果を得ることができた。

研究成果の概要（英文）：A small measurement system was developed to observe groundwater radon concentration continuously, and it qualified through observations in the Nakaizu observatory. A preliminary model to explain preseismic anomalies of groundwater radon concentration was proposed based on observation results. This model will enable us to design a new multi-parameter observation to investigate a mechanism of preseismic anomalies and will promote methodology of earthquake prediction research.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：地震災害・予測

## 1. 研究開始当初の背景

(1) これまでの地震予知研究の発展によって、地震の発生機構や地震の発生サイクルなどが明らかになった。実用面でも緊急地震速報が実用化されるなど、地震の直前検知を実現化させる機運がますます高まってきている。実際、2010年から始まる地震予知のための観測研究計画では、地震発生予測の実現化を目指すことが謳われている。また、そのため

に達成すべき課題として、地震に先行する不可逆的な物理・化学過程（以下、先行過程）の発生機構の解明が次期予知計画の柱のひとつになっている。

(2) 地下水ラドン濃度の異常変化は、地震直前の応力増加によって微小な亀裂が発生し、岩石中に包有されているラドンが開放されるために起きる、と考えられてきた。このア

アイデアは、地下水ラドン濃度異常の 85% を占める「地震直前の大きな増加」を説明できるが、残りの 15% の「地震直前の大きな減少」を説明できない。そのような中、地震直前のラドン濃度の大きな減少を説明できる気液分離モデルが発表された (Kuo et al., 2006)。その後、この気液分離モデルを用いて、伊豆大島近海地震前の地下水ラドン濃度の減少が定量的に説明された (Tsunomori & Kuo, 2009: 文献 1)。

## 2. 研究の目的

台湾南西部の高速地殻変形帯における地下水ラドン濃度と透水係数の同時観測結果に基づいて、地下水ラドン濃度の地震先行過程を包括的に説明するモデルを提案することを目的とする。このために、以下の小目標を達成する。

- ① 地下水サンプリングと帯水層の透水係数測定の一貫
  - (ア) 地下水を循環させつつ採水を行うシステムの確立
  - (イ) スラグ法 (Hvorslev 法) を応用した透水係数決定法の応用
- ② 地下水溶存ガスの高効率抽出と除湿方法の確立
  - (ア) 電磁バルブ、真空ポンプ、電子冷凍機を組合せたガス精製装置の利用
  - (イ) ガス抽出率と水蒸気量の安定化条件の確定
- ③ 台湾南西部における地下水ラドン濃度・透水係数の並行観測の実施
  - (ア) 最適な観測井の選択
  - (イ) 低濃度 (精度 1Bq/m<sup>3</sup> 程度) でのラドン濃度の高精度計測
- ④ 地下水ラドン濃度の地震先行過程を包括的に説明するモデルの提案
  - (ア) 帯水層に対する空孔弾性体理論と溶存ガスに対する気液分離モデルの融合
  - (イ) 平常時の挙動の検討

## 3. 研究の方法

台湾南西部の高速地殻変形帯にある観測井の選定を行う。同時に、これまでに準備した技術を発展させて、有効数字 3 桁で全てのデータを取得するための技術を確立させる。特に、透水係数と地下水ラドン濃度を同時に測定するための「循環・採水システム」と「高効率ガス抽出システム」を完成させる。観測データを蓄積しつつ、透水係数の変化と地下水ラドン濃度の変化の相関について検証を行う。想定される最終結論の 3 つの方向性を評価し、モデルの修正を実施するとともに観測項目の追加・変更を行う。データを蓄積し

つつ本課題の焦点である「地下水ラドン濃度の地震先行過程を包括的に説明するモデル」について最終結論を導出する。

## 4. 研究成果

(1) 2010 年は、1978 年の伊豆大島近海地震に先行した地下水ラドン濃度の異常減少を説明するために、2006 年に提案された Volatilization モデルを適用した。観測された現象は、地震発生前に 2% 程度の気相が帯水層内に生成した、という描像を有効と考えれば説明できることを示した。

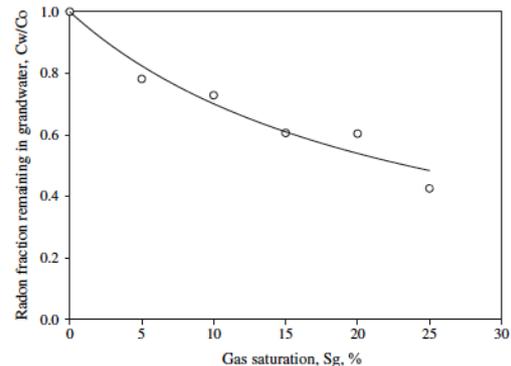


図 1. ヘッドスペースの増加に伴う溶存ラドン濃度の変化。

(2) 2011 年は、地下水溶存ラドン濃度の連続観測に適した小型高性能の測定システムを開発し、中伊豆観測点で従来から使用されてきたラドン計との入れ替えを実施した。この装置の特徴は、サイズが従来の 1/30 となり、検出限界が 1/10 に向上し、能動的ラドン抽出装置による時間分解能の向上がなされたことである。

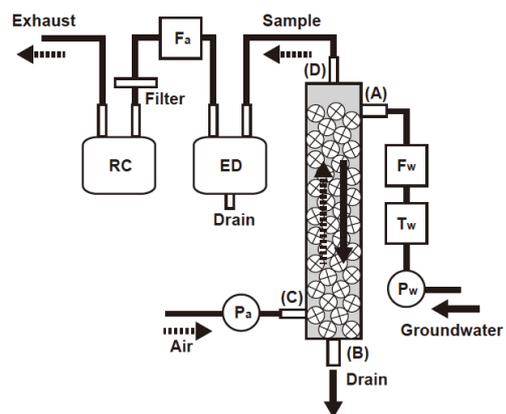


図 2. ラドン抽出装置。この装置によるラドンの抽出効率は 0.99 である。

(3) 2012 年は、2011 年東北地方太平洋沖地震に先行する地下水ラドン濃度の異常変化を、修正 Volatilization モデルを用いて説明し、正と負の両方の異常を示す地下水ラドン濃度の変化を統一的に説明するための基礎を提案した。また、東北地震の後に首都圏

にある活断層である三浦半島断層群と立川断層帯について周囲の地下水ラドン濃度の調査を行い、異常な変化は起きていないことを確かめた。

$$C_w = \frac{C_R E \times R}{(1 - r_s) / K_d + r_s}$$

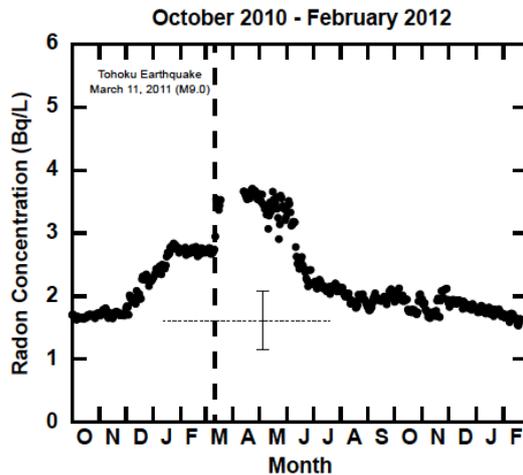


図 3. 中伊豆観測点の地下水ラドン濃度の変化。2010年10月から2012年2月まで。図中の破線は2011年東北地震の発震時刻である。点線は35年間の平均ラドン濃度、エラーバーは $3\sigma$ を示している

図 4. 修正 Volatilization モデルの振る舞い。R の変化が小さい場合の、地下水飽和率に対する地下水ラドン濃度の変化。実線は  $C_R E R$  が一定の条件の等濃度線。

(4) 当初の計画であった台湾南西部の高速地殻変形帯におけるラドン濃度観測に基づく観測結果は、解析に足る十分な涼を得ることが出来なかった。その代わりに、中伊豆観測点におけるラドン観測の結果が、先行現象の機構モデルを考察するのに十分使用できた。本研究によって、地下水ラドン濃度の地震先行現象を記述するためのモデルを提案できた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Survey of  $^{222}\text{Rn}$  Concentration in Groundwater in Miura Peninsula: Radi-isotopes, Feb 2013, 62(2), 91-95, Morita, M., Tsunomori, F., Matsuyama, R. and Mori, T., 査読有
- ② A mechanism for radon decline prior to the 1978 Izu-Oshima-Kinkai earthquake

in Japan: Radiation Measurements, Jan 2010, 45(1), 139-142, Tsunomori, F. and Kuo, T., 査読有

[学会発表] (計 9 件)

- ① Tsunomori, F., Tasaka, S., Possible Mechanism of Radon Concentration Anomalies Relating to 1977 and 2011 Big Earthquake, The 11-th Taiwan-Japan International Workshop on Hydrological and Geochemical Research for Earthquake Prediction, 2012/09/25, Tsukuba
- ② Tsunomori, F., Tasaka, S., New Continuous Radon Monitoring in Nakaizu Observatory, The 9-th Taiwan-Japan International Workshop on Hydrological and Geochemical Research for Earthquake Prediction, 2012/9/14, Tainan
- ③ 角森史昭, 中伊豆観測点で観測された地下水溶存ラドン濃度の変化について, 地球惑星連合大会, 2012/05/24, 幕張
- ④ 角森史昭, 鎌倉観測点における透水係数の長期連続測定の結果について地球惑星連合大会, 2012/5/21, 幕張
- ⑤ 角森史昭, 地下水溶存ガス濃度を透水係数と同時に観測するシステムの構築について, 地球惑星連合大会, 2012/5/21, 幕張
- ⑥ Tsunomori, F., Tanaka, H., Murakami, M., Tasaka, S., Seismic Response of Dissolved Gas in Groundwater, The 11-th Taiwan-Japan International Workshop on Hydrological and Geochemical Research for Earthquake Prediction, 2011/10/25, Tainan
- ⑦ 角森史昭, 地下水ラドン濃度と帯水層の透水係数の同時連続測定について, 地震学会, 2011/10/14, 静岡
- ⑧ Tsunomori, F., Hydraulic Conductivity Evaluation with Dissolved Gas Monitoring at Kamakura Observatory, Western Pacific Geophysics Meeting, 2011/8/9, Taipei
- ⑨ 角森史昭, 帯水層の透水係数と化学観測の同時連続観測の可能性について, 地震学会, 2010/10/27, 広島

[その他]

ホームページ等

<http://www.eqchem.s.u-tokyo.ac.jp/membr/fumi/>

<http://growdas.com/>

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

角森 史昭 (TSUNOMORI FUMIAKI)  
東京大学・大学院理学系研究科・助教  
研究者番号：60291928

(2) 研究分担者  
なし

(3) 連携研究者  
なし