「ラドンと地震」
ひずむ大地はラドンを吐くか

神戸薬科大学　放射線管理室
安岡 由美

地震予知は可能か？ その3 - 潜熱、ラドンガス

https://www.youtube.com/watch?v=rTMf4xm2SGw

ラドン予知　ラドン予知
ラドン予知　ラドン予知

大気ラドンが示す地下の異変

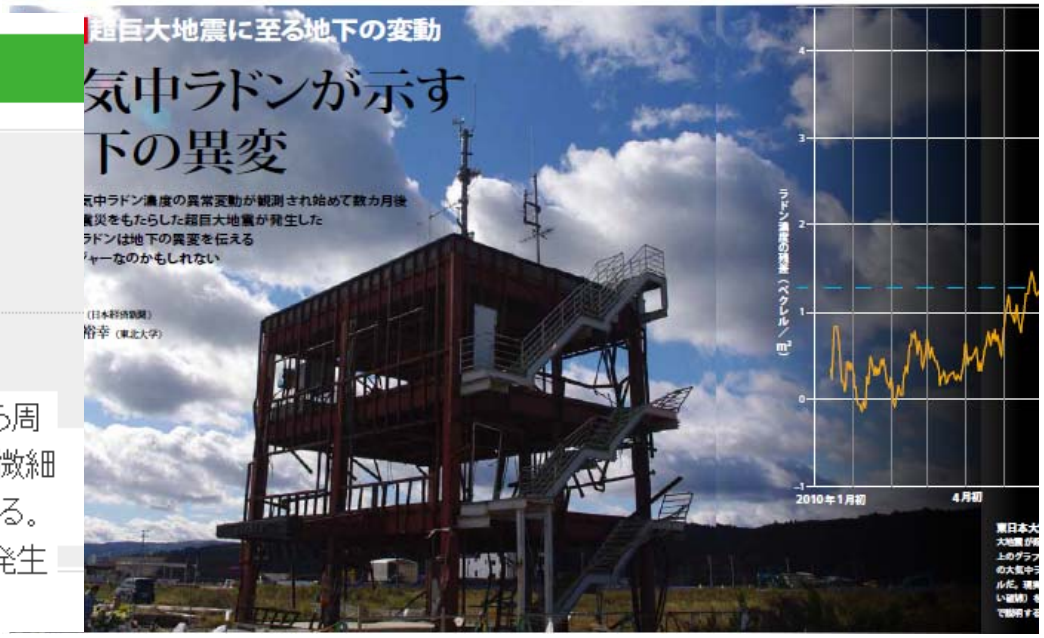
日経サイエンス

特集：超巨大地震に至る地下の変動

大気中ラドンが示す地下の異変

中島林彦（日本経済新聞）　協力：長濱裕幸（東北大学）

東日本大震災や阪神・淡路大震災をもたらした大地震では，その1カ月以上前から周辺地域で大気中のラドン濃度が異常な変動を示していた。そうした変動は地下に微細な割れ目が多数生じるなど，大地震に先行して起こる地殻変動が原因と考えられる。将来，大気中ラドン濃度の変動をモニターすることで，大地震の1カ月以上前に，発生場所や規模をある程度予想できるようになるかもしれない。



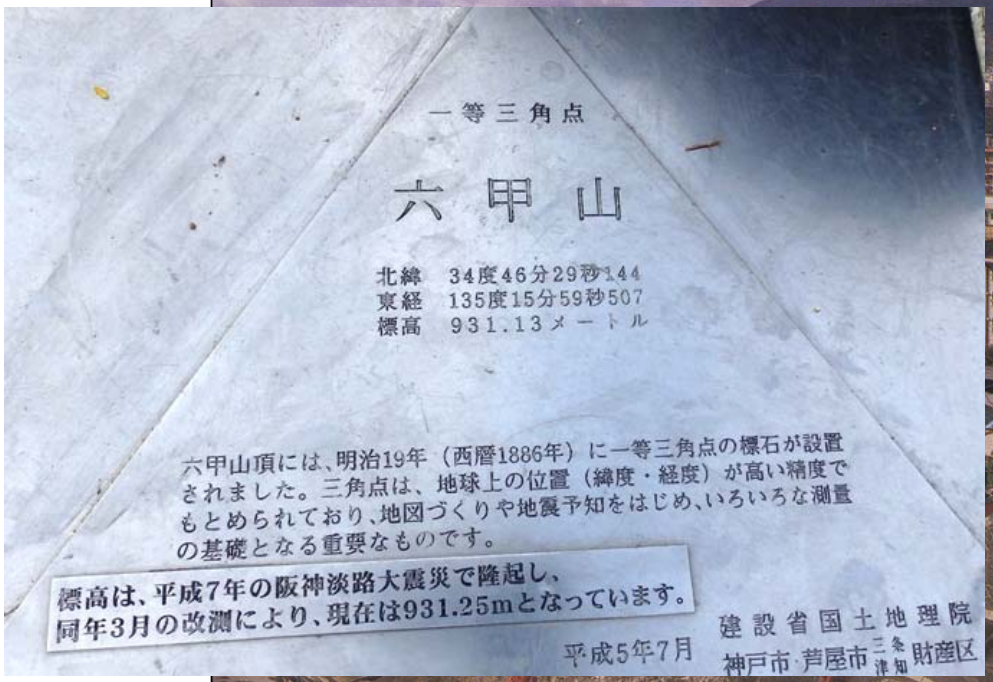
日経サイエンス　2019年2月号
https://www.nikkei-science.com/201902_040.html

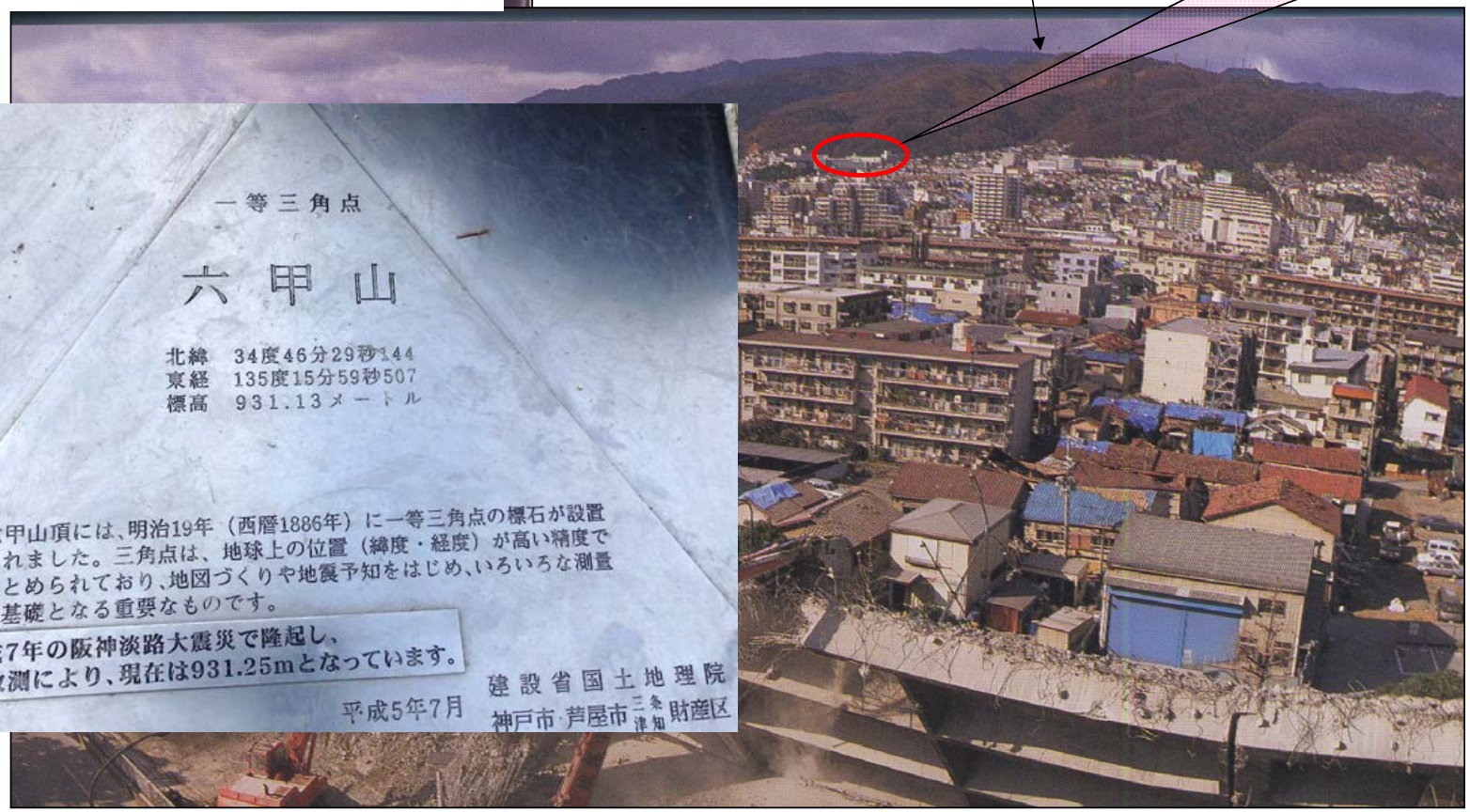
神戸薬科大学の場所

六甲山　標高931m（地震で12cm隆起）
長い間の地震断層のずれによって形成された山

A 神戸薬科大学（神薬大）

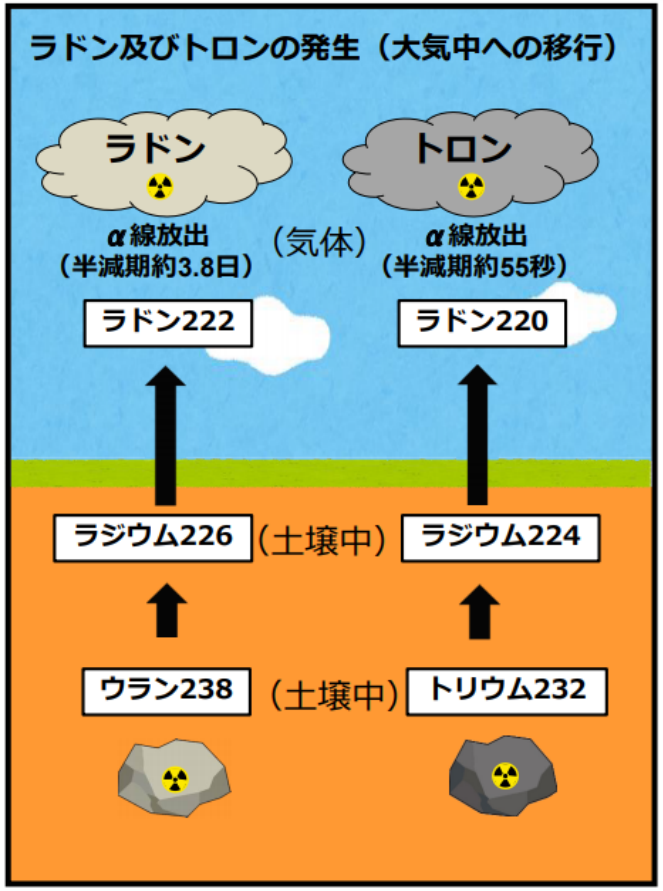
阪神淡路大震災

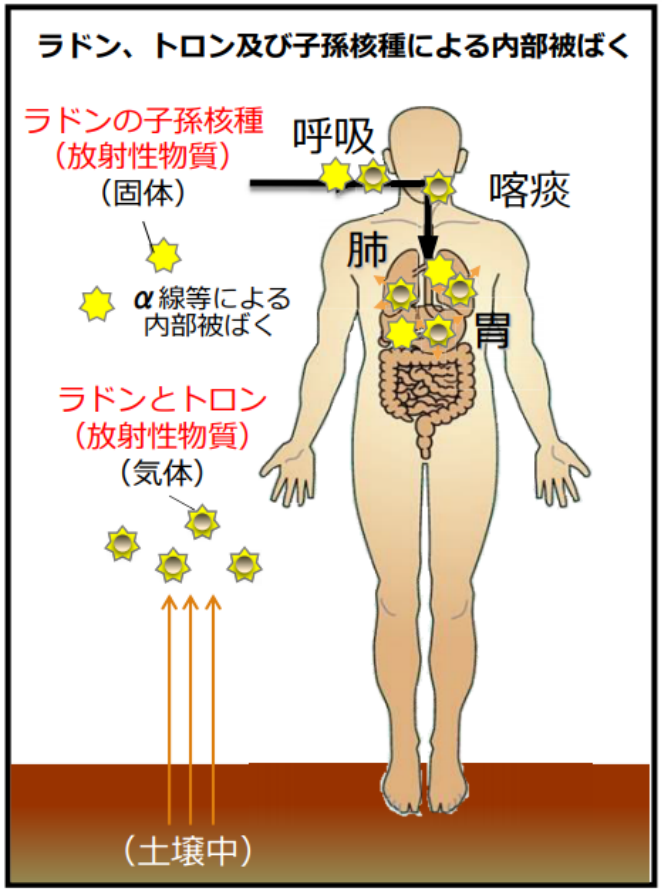




身の回りの放射線

ラドン及びトロンの吸入による内部被ばく





出典：環境省ホームページ （https://www.env.go.jp/chemi/rhm/r1kisoshiryo/attach/r1kiso-slide02-05.pdf）

日本における　ラドン

放射能泉
10

ラドンを
30×10⁻¹⁰Ci/kg
(8.25 マッヘ単位)
以上含む。

特　徴

・温泉に含まれる微量の放射能は、
炎症に効果的です。

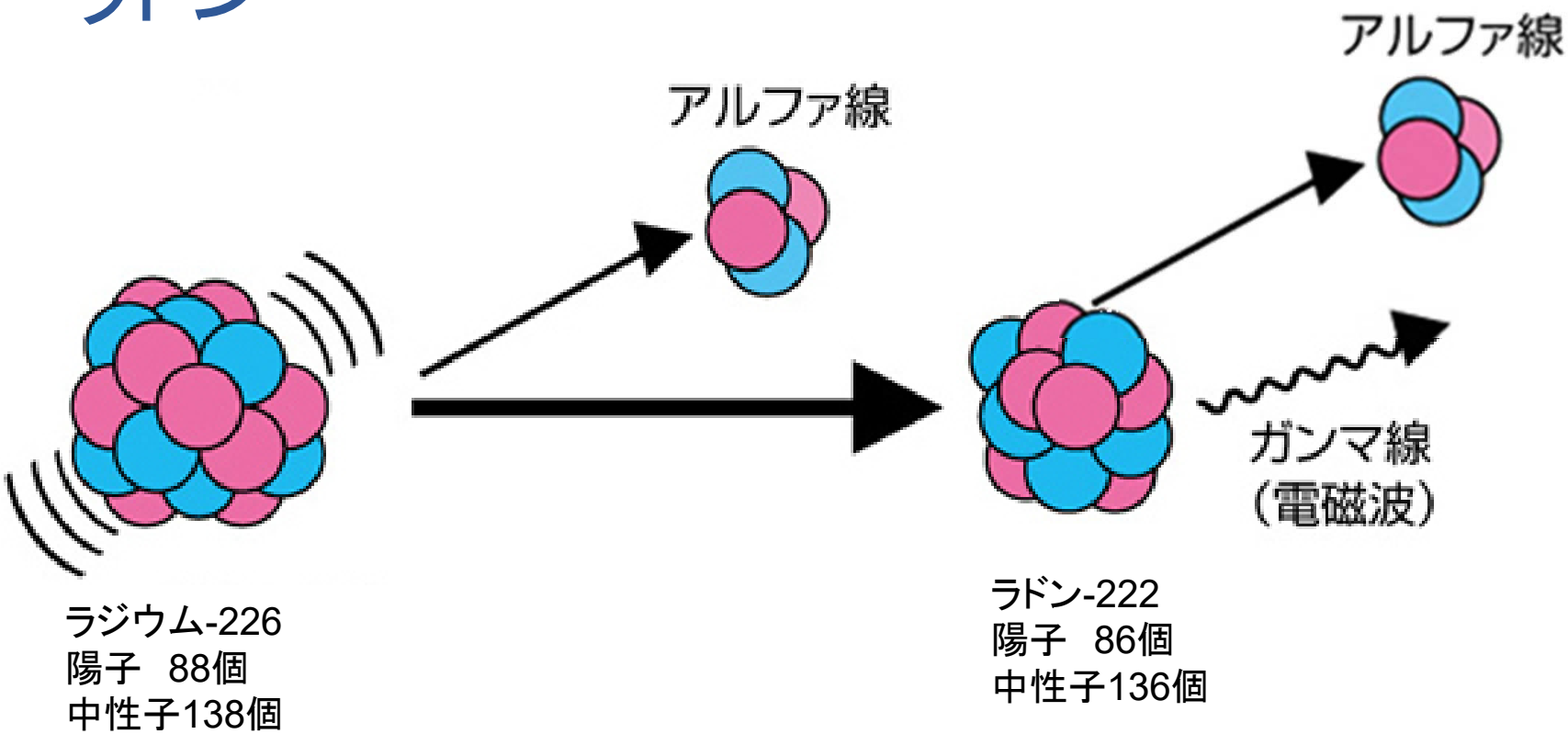
泉質別適応症

浴 高尿酸血症(痛風)、関節リウマチ、強直性脊椎炎など

療養泉　ラドンを111Bq/kg以上

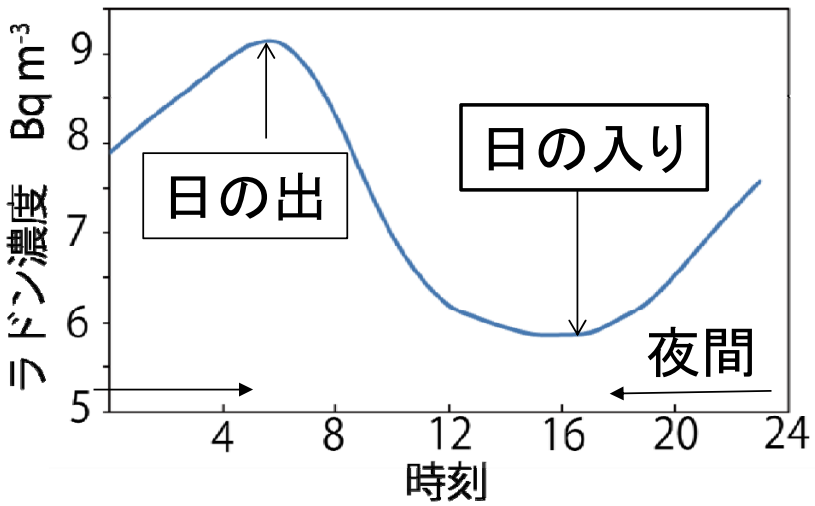
出典：環境省ホームページ
https://www.env.go.jp/nature/onsen/docs/ha.pdf

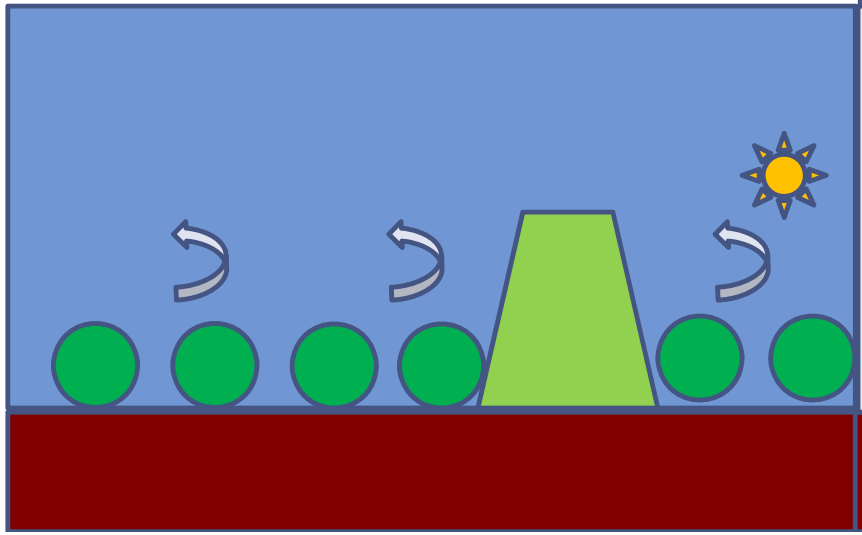
ラドン

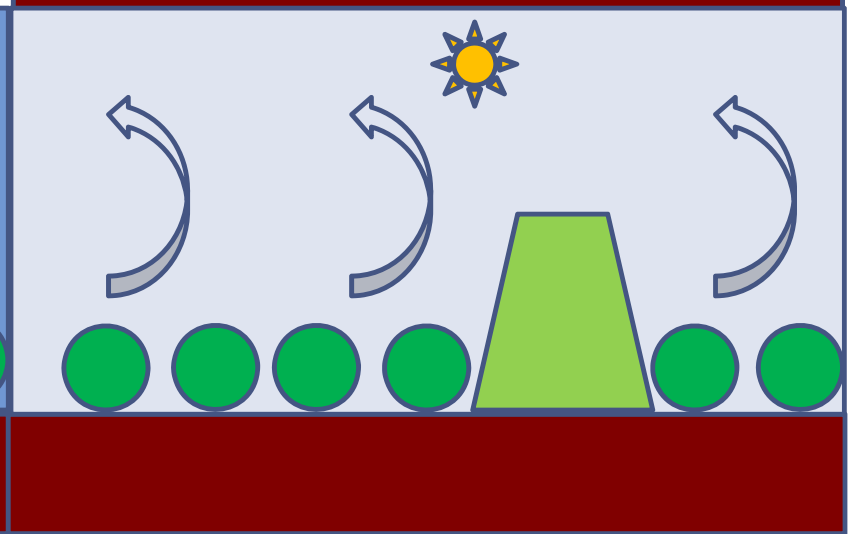


文部科学省　https://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/attach/1314222.htm

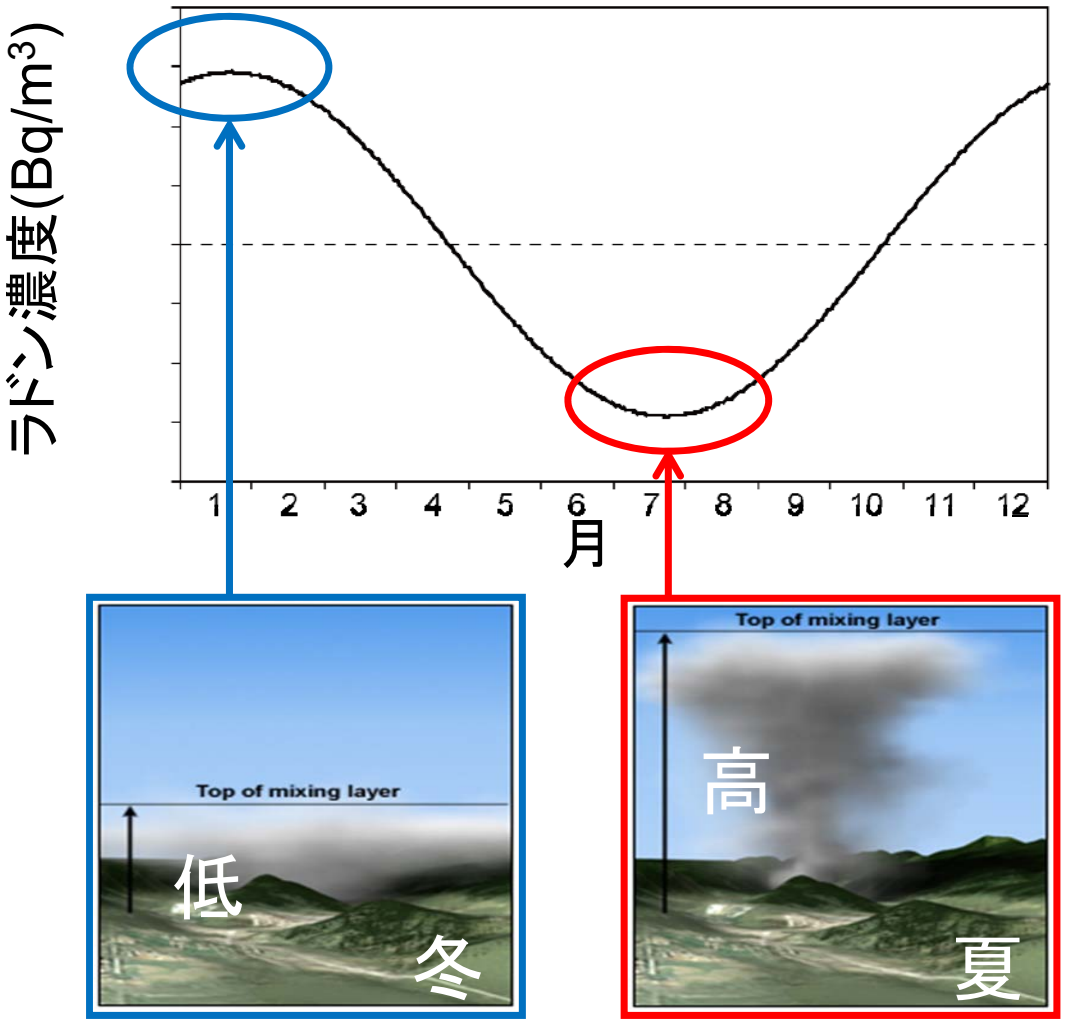
大気中ラドンの日変動







大気中ラドンの平年変動



ラドン濃度の測定

外気投入量
実験施設の容積の
15－20倍/時間

地上5mにおいて外気を給気
15.6m^3／分

プレフィルター通過後、
温度と湿度を調整する。

βγ線核種使用
使用量ごく少量

アイソトープ実験施設

ヘパフィルター通過

βγ線核種　捕集

ラドン子孫核種　捕集

6.7L／分

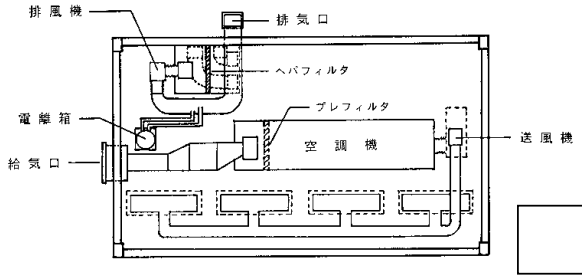
排気

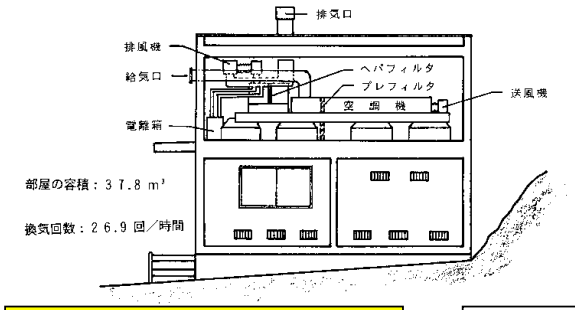
排気モニター
（電離箱（18L））
で測定
測定値の変動は
屋外^{222}Rn濃度

屋外空気中ラドン(α線）変動を測定

排気中のβγ線核種
の濃度の監視
（限界値以下）

電離箱による大気中ラドンの測定





被害地震

地震	年月日	Mw (Mj)	死亡 不明者	全壊
東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災)	2011/3/11	9.0 (8.4)	16,278	129,198
兵庫県南部地震 (阪神淡路大震災)	1995/1/17	6.9 (7.3)	6,433	104,906
大正関東地震 (関東大震災)	1923/9/1	(7.9)	105,385	372,659

予測されていなかったのか？

阪神淡路大震災は予測されていた！

林立する高層ビル，住宅が密集する神戸の市街地…

地震に対して絶対安全とはいえない

震災前に
前兆の観測は
されていなかったのか

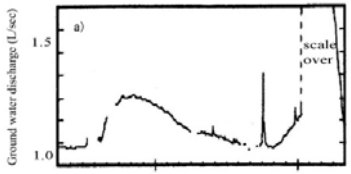
神戸新聞　1974年6月26日　夕刊

https://www.kobe-np.co.jp/rentoku/sinsai/17/rensai/201201/0005480235.shtml

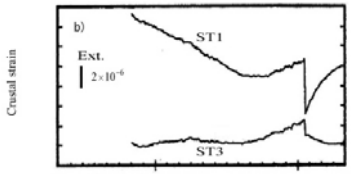
元データー：笠間太郎, & 岸本兆方. (1974). 神戸と地震, 神戸市総務局・土木局, 48p.

研究者達による1995年兵庫県南部地震の前兆の観測[3)]

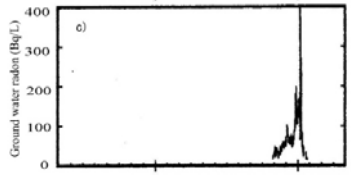
①



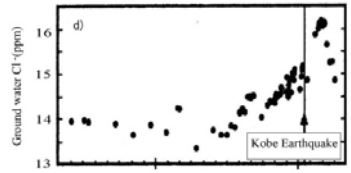
②



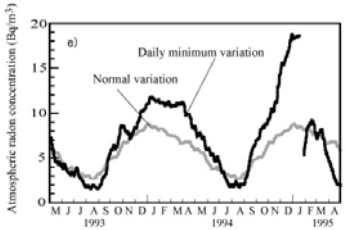
③



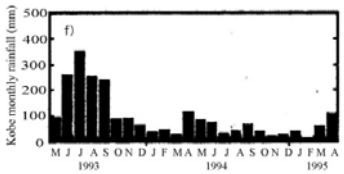
④



⑤



⑥



① RTS地点　地下水湧水量の変化[1)]

② RTS地点　地殻の水平歪の変化[1)]

③ NMY地点　地下水中のラドン濃度の上昇（井戸17m ）[1)]

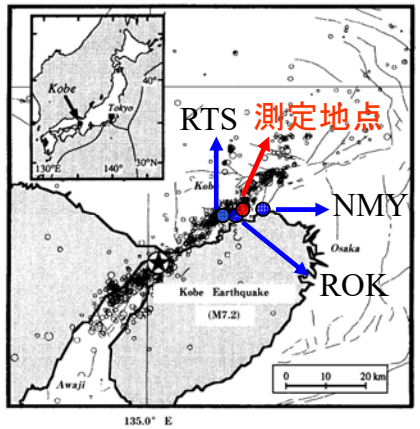
④ ROK地点　地下水中の塩化物イオン濃度の変化(井戸100m)[1)]

↓

臨界現象モデルの適用可[2)]

⑤ 大気中のラドン濃度の変化
（神薬大）

⑥ 神戸市の毎月の降雨量[1)]



1) Tsunogai and Wakita, *J. Phys. Earth*, **44**, 381–390 (1996).
2) Johansen et al., *Eur. Phys. J.*, *B***15**, 551-555 (2000).
3) Yasuoka, Y., et al., Electromagnetics in Seismic and Volcanic Areas, Yubunsha, Saitama, pp. 29-34 （2008）.

1995兵庫県南部地震前兆　地下水中ラドン

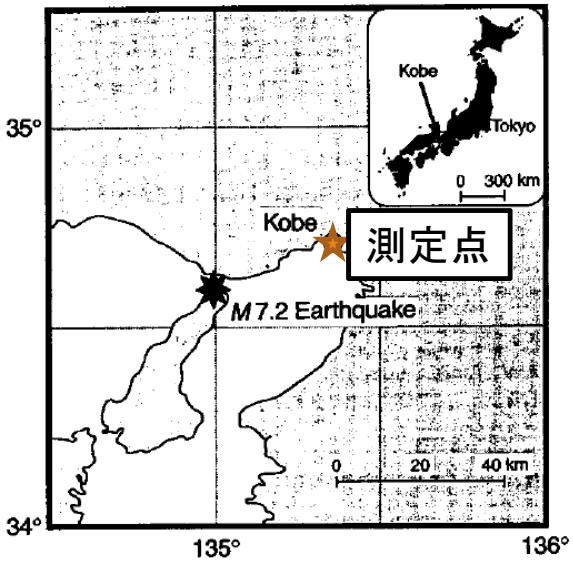
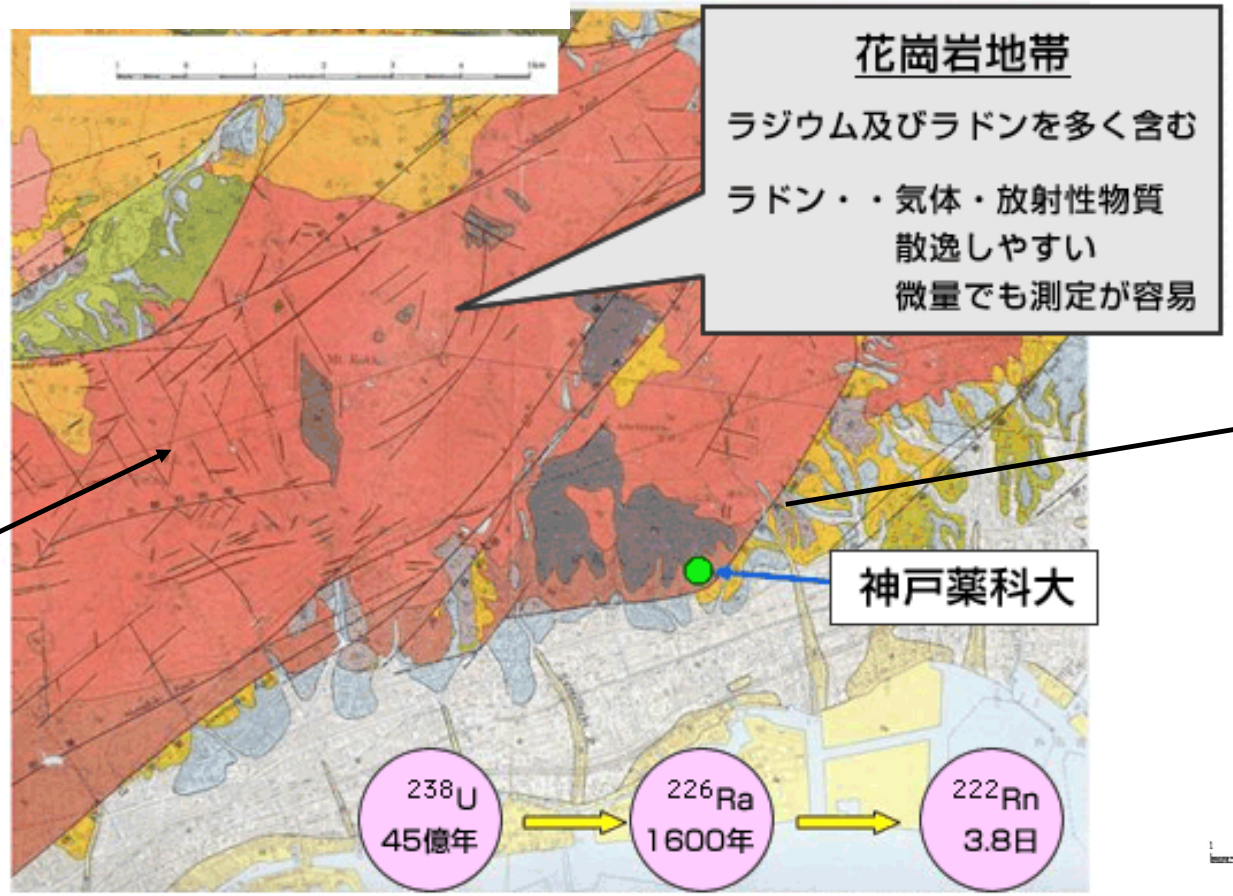


Fig. 1. Map of the continuous radon monitoring station and the epicenter of the Kobe earthquake (from Japan Meteorological Agency).

Igarashi et al., Science 269, 60-61 (1995).

原子放射線の影響に関する国連科学委員会　2000年報告書掲載

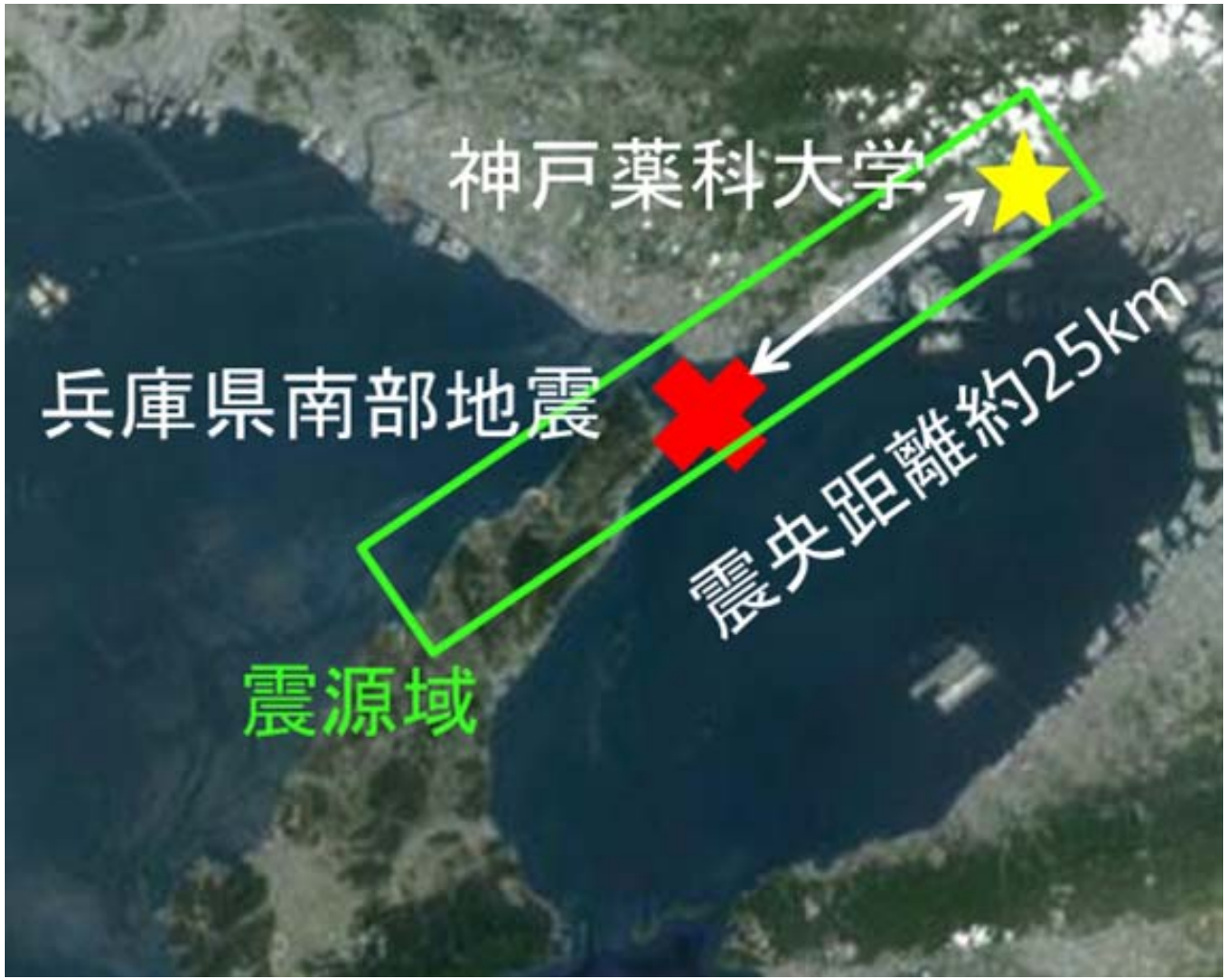
神戸薬科大学の場所　六甲山系の地質図



藤田ら、神戸市及び隣接地域地質図より(1976年)

(図2)六甲山系の地質(大気中のラドン濃度の測定)

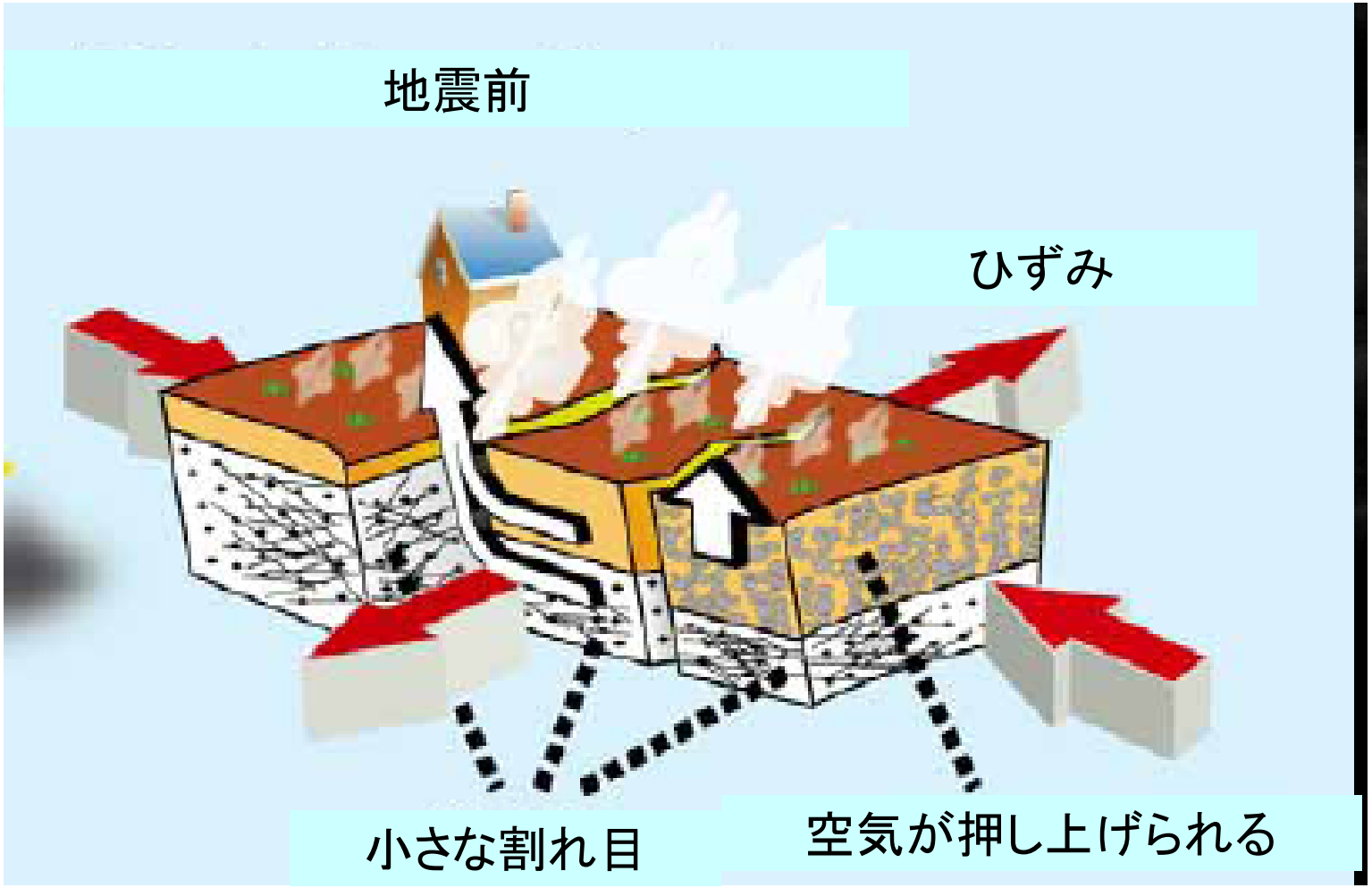
藤田 他, 神戸市及び隣接地域地質図, (1976)　量研機構Webサイト https://www.qst.go.jp/site/qms/1575.html .



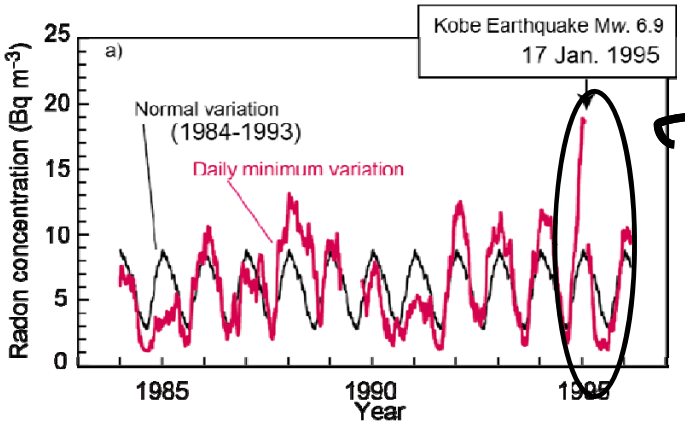
“© OpenStreetMap contributors

配付8

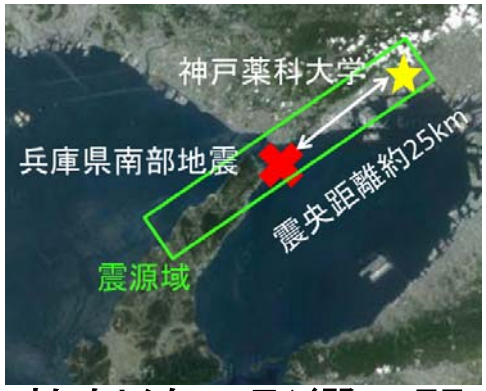
地震前のラドン拡散

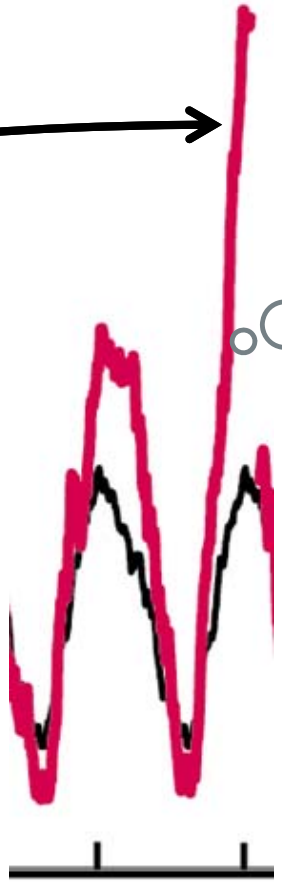


阪神淡路大震災前(1995.1.17)にラドン上昇



神戸薬科大学にて測定





大気中ラドン濃度
地震前の
約2～3か月上昇

原子放射線の影響に関する国連科学委員会　2000年報告書掲載

データのモデル式への適用（予知の可能性）

兵庫県南部地震（1995/1/17発生）の前に
異常に上昇した大気中のラドン濃度

↓

臨界モデル式を適用させることができるか

↓

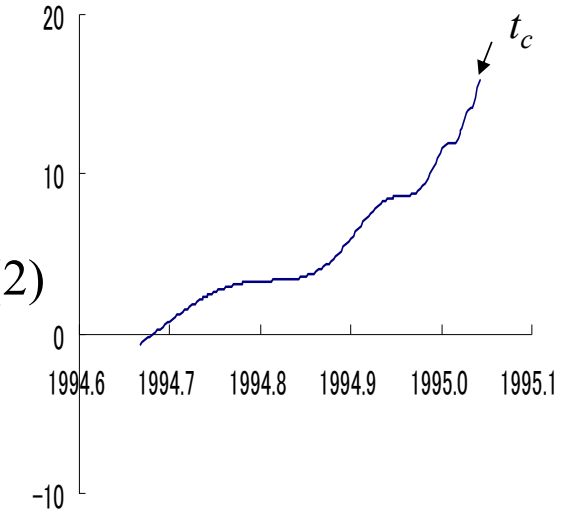
臨界点は地震発生日を示すか？（予知の可能性）

臨界モデル式（周期変動指数式）

地震発生前に地殻にかかる応力は、緩慢を繰り返しながら臨界点に達すると言われており、下記のような式が提案されている

$$C_R \approx C_1 + C_2(t_c - t)^m \times \{1 + C_3 \cos(\omega \log(t_c - t) + \phi)\} \cdots (2)$$

C_R:事象
t_c:地震発生時　　t:　時間
m:臨界指数
ω: 角周波数　　φ:初期位相　　C_1, C_2, C_3:定数

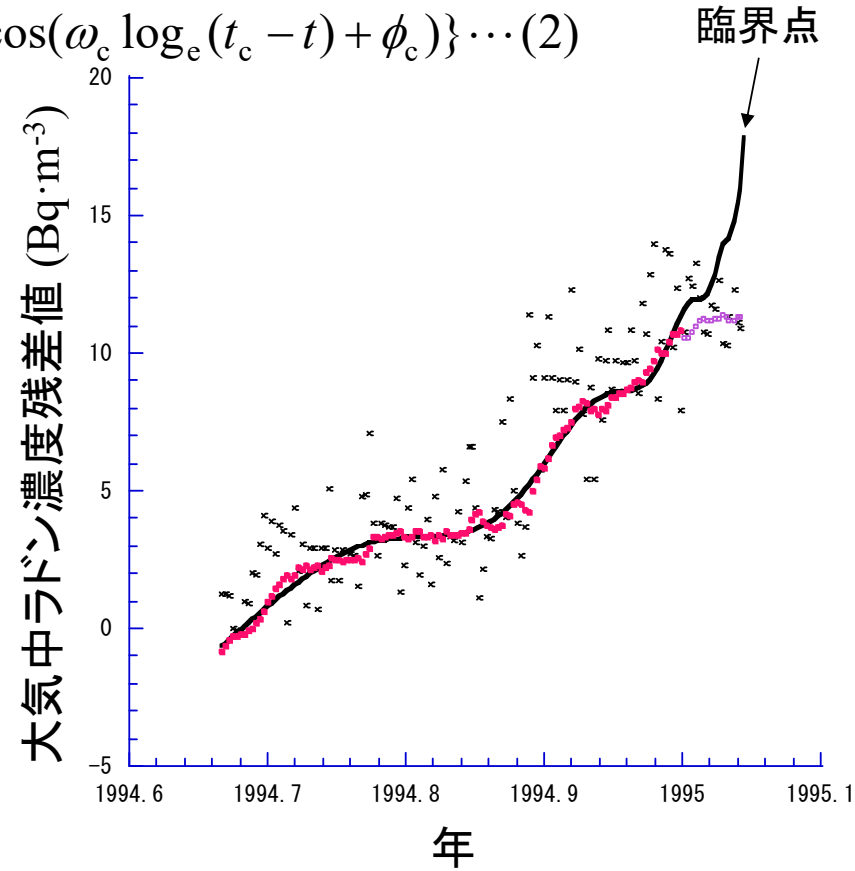


臨界モデル式の適用例－
兵庫県南部地震前の大気中ラドン濃度の変動

$$C_R \approx C_1 + C_2(t_c - t)^{m_c} \times \{1 + C_3 \cos(\omega_c \log_e(t_c - t) + \phi_c)\} \cdots (2)$$

条件	$0.2 \le m_c \le 0.6$ $6 \le \omega_c \le 12$
t_c	1995/1/11～1995/1/23
χ^2	10.5～11.8

1/17を含む



$$C_R \approx 17.9 - 28.9 \times (1995.045 - t)^{0.47}[1 - 0.067 \times \cos(6.51 \times \log_e(1995.045 - t) + 1.75)]$$

Yasuoka et al., *Applied Geochemistry*, **21**, 1064-1072 (2006).

震源域の大気中ラドン濃度上昇

阪神淡路大震災(兵庫県南部地震)前に本学で観測

阪神大震災の直前

ラドン濃度 急上昇

震源地近く 大気中

放医研など分析

「予知 役立てたい」

放射線医学総合研究所（千葉市）と神戸薬科大（神戸市東灘区）などは16日、阪神大震災（95年1月17日）前に震源地近くで大気中のラドン濃度が異常に上昇していたとする分析結果を発表した。特殊なモデルにあてはめると、発生日を17日前後と予測することにも成功しており、今後の地震予知研究につなげたいという。

地震の前に地下水や大気のラドン濃度が上昇したという報告はこれまでにもあり、地震との関係が研究されてきた。

大震災の震源地周辺は放射性物質のラジウムやラドンを多く含む花こう岩地帯。震源地から25キロ北東に位置する神戸薬科大では、自然放射線監視のため、構内で大気中のラドン濃度を84年1月から常時観測していた。

研究グループはこのデータを分析。93年12月までの9年間の平年値と、震災前のデータを比べると、94年9月ごろから、ラドン濃度が上昇し始め、同12月以降には平年の2倍以上に達した。

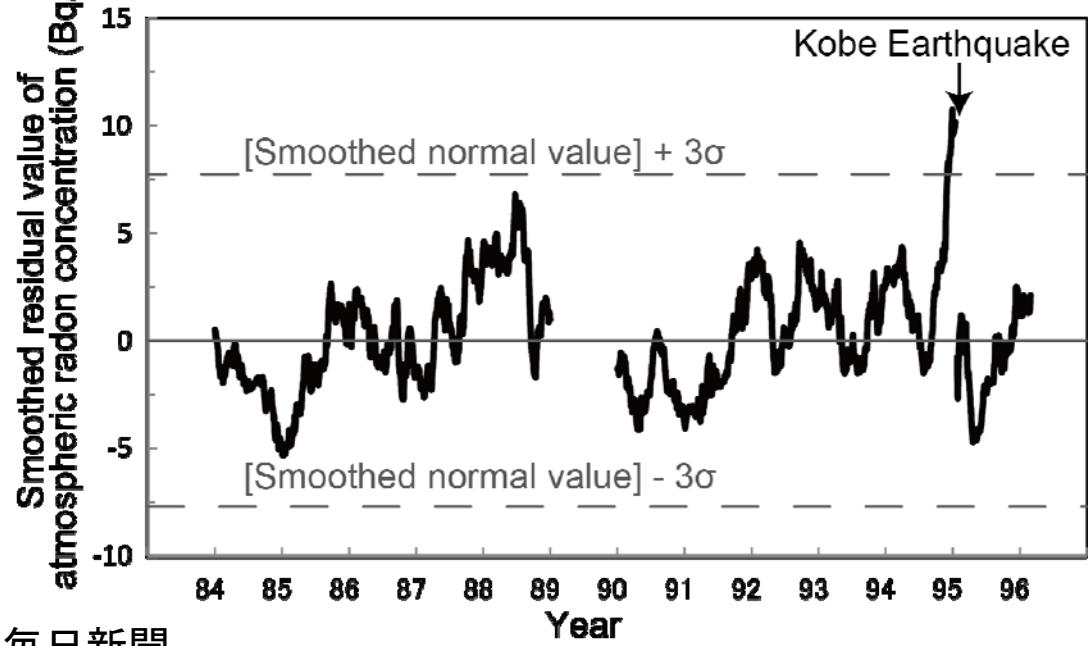
さらに、94年9月から12月までのデータを、地震発生までのエネルギーの状態を表すモデルにあてはめると、翌年の1月13～27日にエネルギーが解放されるという結果が出て、実際に地震が起こった17日が含まれていることが確かめられた。グループでは、大地震の前に起こる微少な地震活動などにより、岩石中にわずかな亀れ目ができ、ここからラドンが放出されたと推論している。

【下桐実雅子】

東京大地震研究所の阿部勝征教授（地震学）の話

ラドンと地震との関係は昔から指摘されてきたが、実証性に疑問が残っていた。今回、成功したとしても、他のケースに適用できるかについては、確実な実証とメカニズムの解明が必要だ。

神戸薬科大学で得られた
大気中ラドン濃度の異常上昇*）



2007/1/17 日刊　毎日新聞

Kawada, Y.,et al. Nonlinear Processes in Geophysics, 14, 123-130 (2007).

ラドンの散逸率の増加

地殻に歪がかかる

クラックや空隙が
増加し連結度増加
(ラドンのemanation増加)

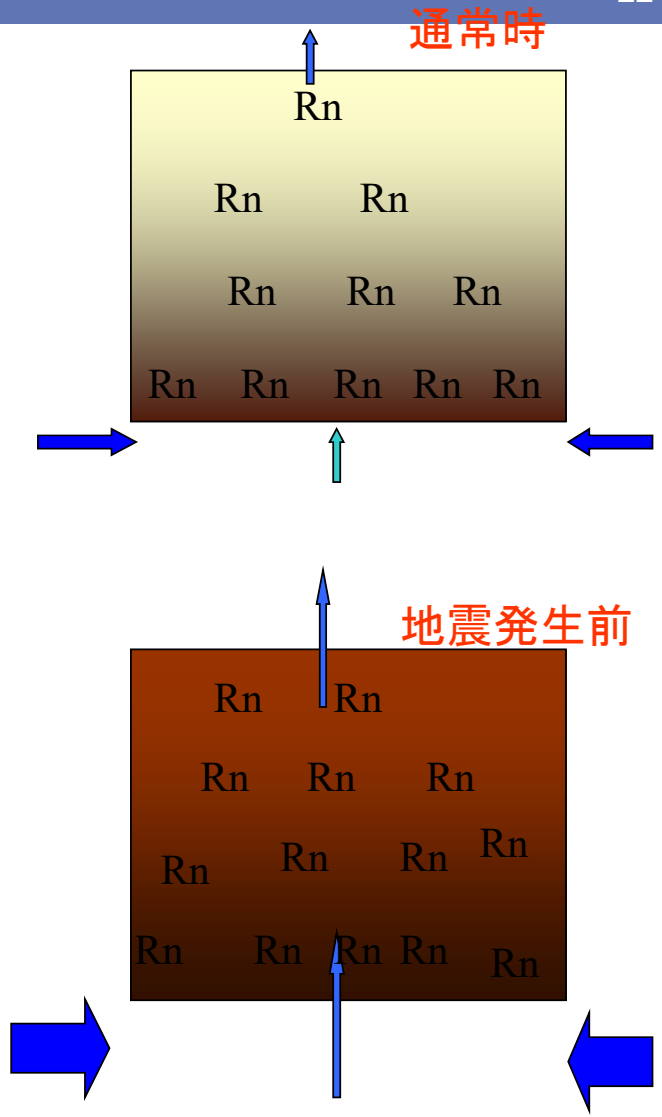
地殻内の気体や地下水
にかかる圧力の増加

通路が増加
(ラドンの移入、
拡散の増加)

気体や地下水の
移流量増加

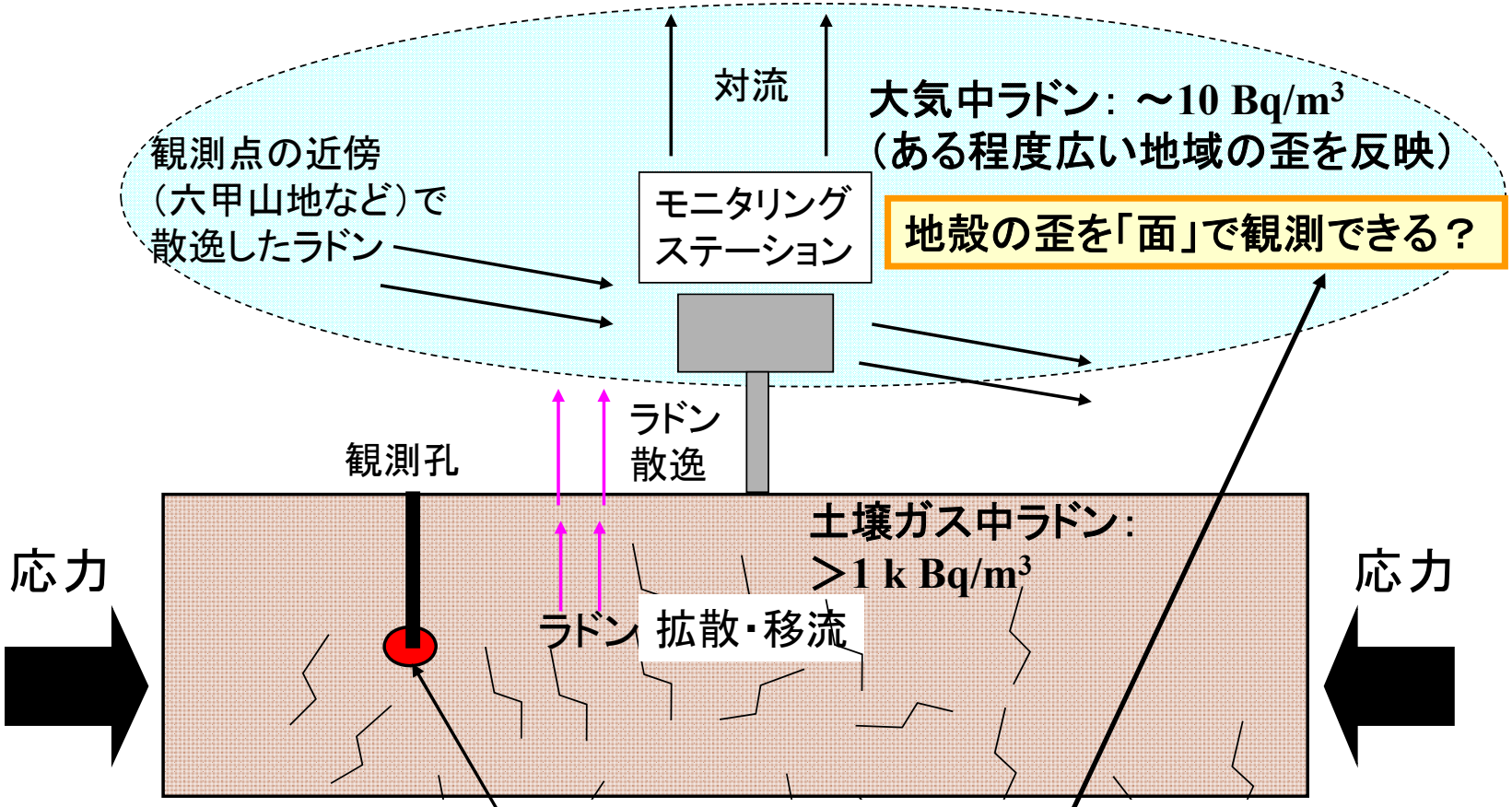
地表面へラドンを
押し上げる

ラドンの
exhalation増加



Kawada et al., *Nonlin. Processes Geophys.*, **14**, 123–130 (2007).

大気中ラドンは比較的広範囲を歪を反映？



歪計で測定（局所的な歪を反映）

- 地殻の歪を「点」で観測
- 敏感な「つぼ」で観測すれば感度は高い
- 逆に「つぼ」に当たらなければ、前兆を捉えられない？