



ラドンで覗く地下の変化 ～地殻変動は予測できるか～

川端 訓代
(鹿児島大学共通教育センター)



“防災”とは

- ・地震や水害などの自然災害に備えることを一般に防災と呼ぶ
- ↑人を死なせないため

防災へのアプローチ

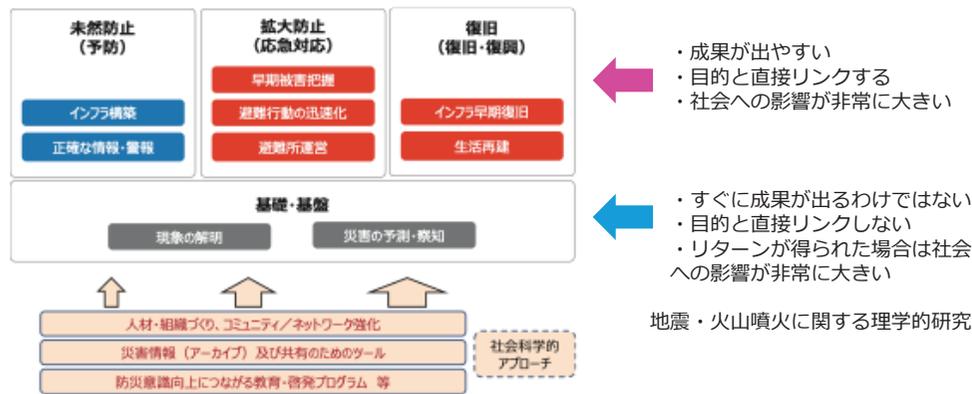


図 2-4 防災対策の各分野に寄与する防災科学技術

[防災科研2019]

防災へのアプローチ

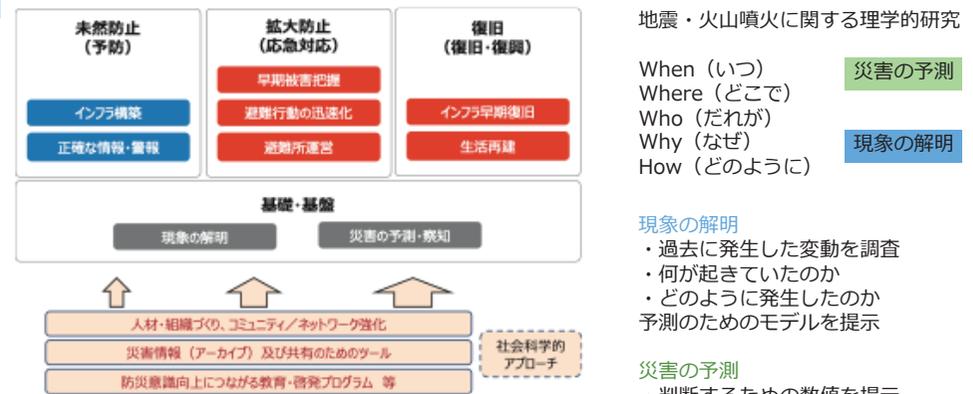


図 2-4 防災対策の各分野に寄与する防災科学技術

[防災科研2019]

地震予知？ 予測？

• 地震予知

- 「いつ・どこで・どの規模の」地震が発生するかを具体的に提示
- ある地震が起こる前に、正確な日時や場所を特定
(明日の午後3時、〇〇地域でマグニチュード6.0の地震が起こる) というような具体的な情報)

• 地震予測

- 長期的・統計的に地震の発生確率や被害リスクの見積もりを提示
- 過去の地震活動や地質データをもとに、ある一定期間内に地震が発生するか確率や規模を推定
(「今後30年間で〇〇地域にマグニチュード7以上の地震が発生する確率は70%」 というような情報)

地震予知

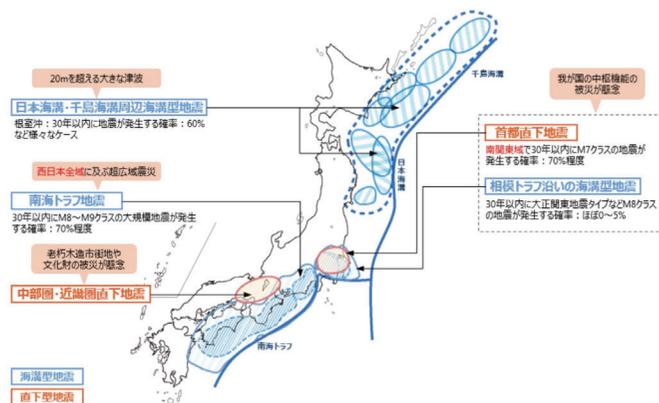
地震を事前に予測すること

[気象庁ウェブサイト]

- 地震を予知するという事は、地震の起こる時、場所、大きさの三つの要素を精度よく限定して予測することです。例えば「(時)一年以内に、(場所)日本の内陸部で、(大きさ)マグニチュード5の地震が起こる」というようなあいまいな予測や、毎日起きているマグニチュード4程度以下の小さな地震を予測するような場合はたいてい当たりますが、それに情報としての価値はあまりないと考えます。少なくとも「(時)一週間以内に、(場所)東京直下で、(大きさ)マグニチュード6~7の地震が発生する」というように限定されている必要がありますが、現在の科学的知見からは、そのような確度の高い地震の予測は難しいと考えられています。
- 以上により、一般に、日時と場所を特定した地震を予知する情報はデマと考えられます。お聞きになった情報で心配される必要はありませんが、日本は地震国であり、地震が起こらない場所はないと言っても過言ではありません。日ごろから地震に対する備えをお願いいたします。

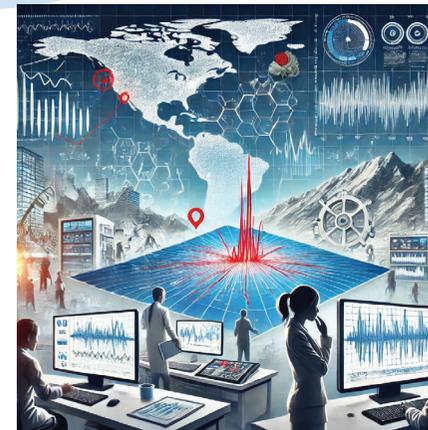
地震予測：大規模地震の発生確率

※発生予測確率は、地震調査研究推進本部による(平成29年1月時点)



[内閣府ウェブサイト]

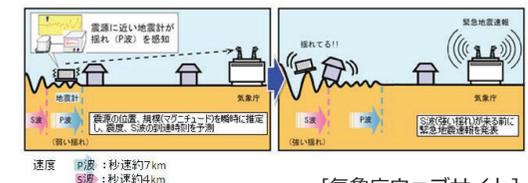
地震予測



地震発生後、

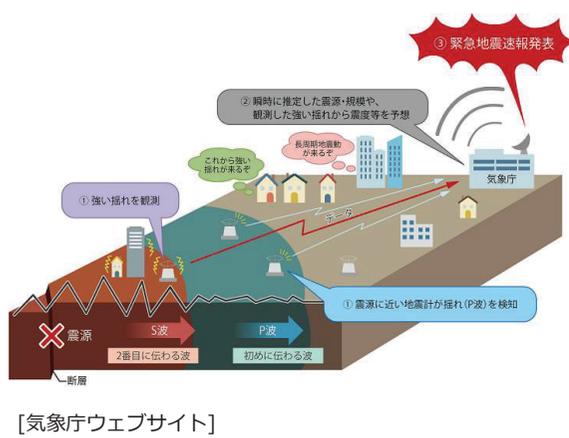
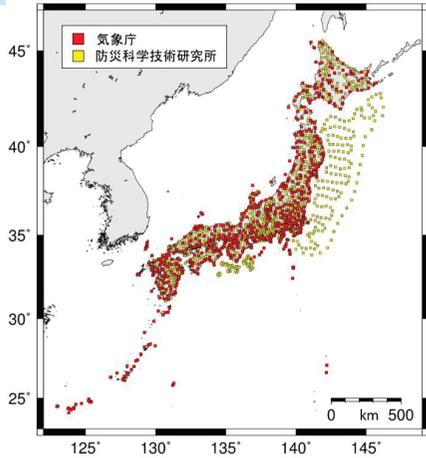
S波の到達を予測する
津波の発生を予測する

緊急地震速報



[気象庁ウェブサイト]

地震予測



地震予測

地震を事前

• 地震宏观現象



Chat-GPT 「地震宏观現象」

地震予知 前兆現象

地震を事前に予測すること → できる？

• 地震宏观現象 (じしんこうかんげんしょう)

- 地下水の変化：
井戸水の水位の上昇・下降
水の濁り、異臭
湧き水の噴き上げや枯渇
- 気象現象：
空の色や月の光が通常と異なる
特異な雲の出現
地鳴り：
雷のような音
風が吹くような音
爆発のような音

- 動物の異常行動：
通常と異なる暴れ方
異常な鳴き声や吠え方
突然の逃走
- その他の現象：
電磁波やイオン・ラドン濃度の変化
発光現象
電気機器の故障
体の痛み

地震予知

地震を事前に予測すること → できる？

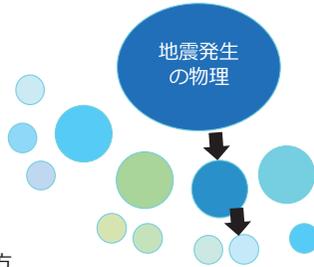
• 地震宏观現象 (じしんこうかんげんしょう)

- 地下水の変化：
井戸水の水位の上昇・下降
水の濁り、異臭
湧き水の噴き上げや枯渇
- 気象現象：
空の色や月の光が通常と異なる
特異な雲の出現
地鳴り：
雷のような音
風が吹くような音
爆発のような音

- 動物の異常行動：
通常と異なる暴れ方
異常な鳴き声や吠え方
突然の逃走
- その他の現象：
電磁波やイオン・ラドン濃度の変化
発光現象
電気機器の故障
体の痛み

物理モデルがしっかりしている
統計的有意性が確認されている

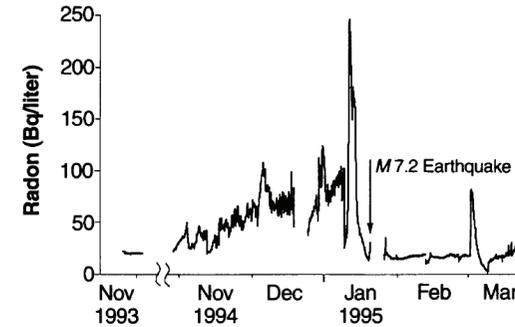
より短期間の
予測が可能になる



ラドンガスと地殻変動

- 1960年代から、地震発生前に地下水中のラドン濃度が上昇するという報告が相次ぎ、ラドンが地震の前兆現象となる可能性が注目されている
- 1995年**兵庫県南部地震**を機に、ラドン観測による地震予知の可能性が改めて注目され、多くの研究機関が観測を開始した
- 地下水ラドン観測所が設けられ、ラドン濃度と地殻変動の関係に一定の有意性があるとされる（しかし、場所による）

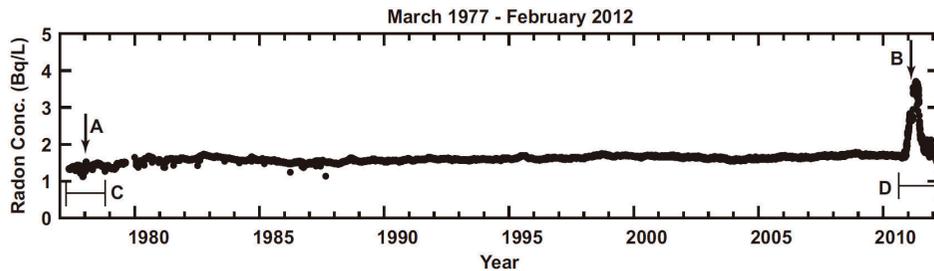
地震の前、地震時、にラドン濃度が変化！



1995年
兵庫県南部地震

Fig. 2. Radon concentration data at the well in the southern part of Nishinomiya city, Hyogo prefecture, Japan.

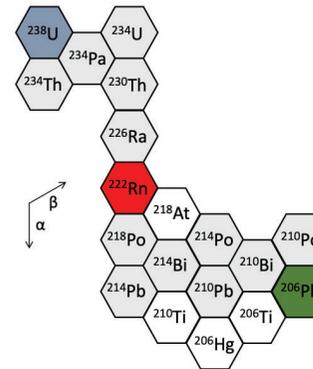
地震の前、地震時、にラドン濃度が変化！



2011年 東北地方太平洋沖地震

世界的にみると、地震前に減る事例もある

ラドンとは？



ラジウム、ポロニウムの発見

ラドンの発見は
フリードリヒ・エルンスト・ドロン

ラジウムから生まれる気体という意味



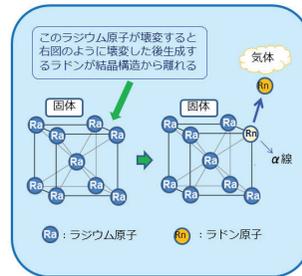
- 元素
- ウランからはじまる壊変で生成したラジウムが壊変したもの
- 無味無臭の気体
- 水に溶けやすい
- 安定
- 半減期は3.8日

ラジウム→ラドン



どこにでもある

- 岩石
- 土
 - 固体のラジウムから気体のラドンが生成される
 - あらゆる地面からラドンが出て空气中をただよっている
 - 自然放射線のおよそ半分はラドン
 - 土壌・肥料を通じて植物にも蓄積する



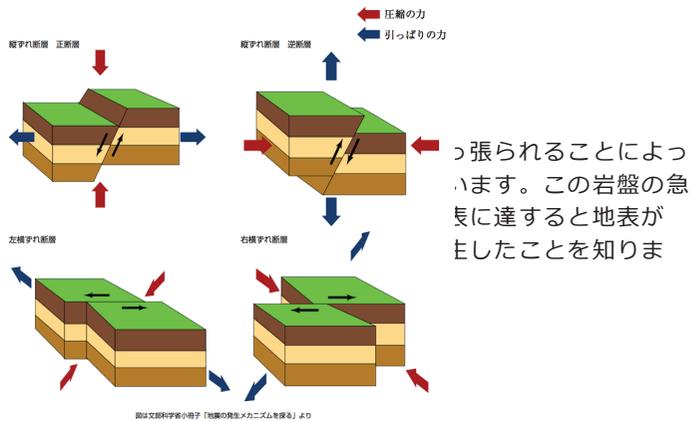
[環境省]

地殻変動とラドンガス

地震ってなに？

• 地面が震える

「地震とは、地下で、ある面を境と激なずれによる揺れ「揺れ」ます。私です。」



断層

• 断層 地面のズレ



断層

- 断層 地面のズレ
- もっと地下深くでは？

1. バリバリ割れている

2. 溶けている

3. ぐねっと曲がっている

断層

- 断層 地面のズレ
- もっと地下深くでは？

1. 脆性変形（破壊・破碎）

2. 溶融

3. 延性・塑性変形

断層 深部へ亦形

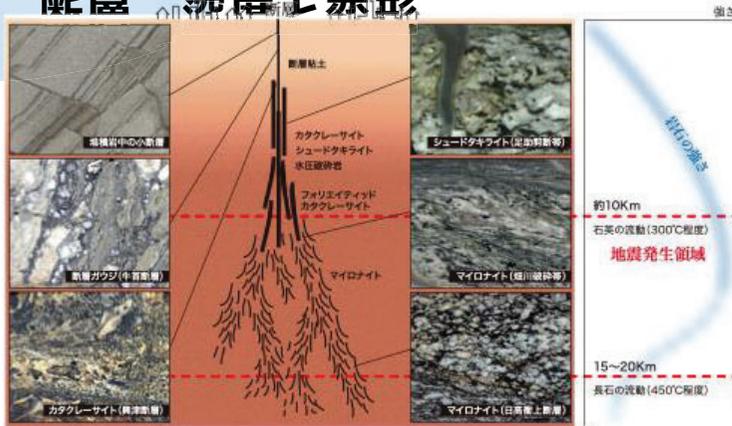
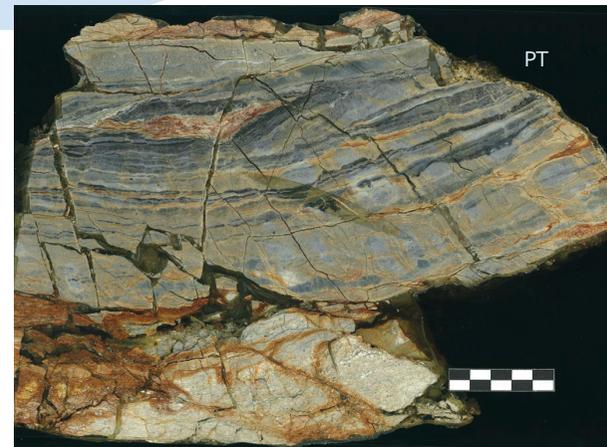
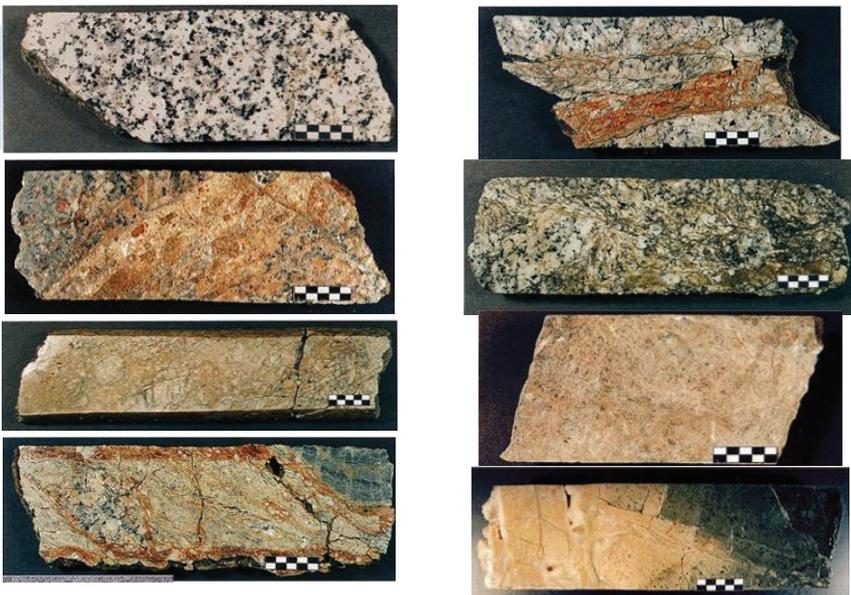


図1 断層形成環境による断層岩の違い
温度が高くなることによって断層岩に含まれる鉱物の強度が変化する。温度変化と鉱物組み合わせによって岩石全体の強度が変化し、変形様式が異なる。

断層岩





ラドンの濃度

- 鉱物の境界でラドンになると大気や水中に放出される
- ラドンの濃度

ラジウムの含有量
→岩石の種類

岩石/鉱物の境界の量
→比表面積

ラドン

- ラドンの濃度

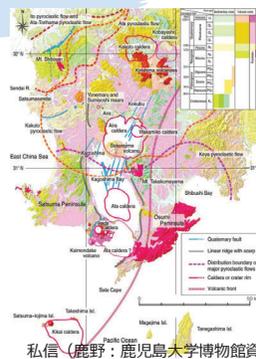
$$C_w = \frac{C_{Ra}\rho \frac{E}{\lambda} S_v(1-\varepsilon)/\varepsilon}{(1-r_s)/K_d + r_s}$$

- 表面積が増えれば (= 岩石が破壊すれば)、増える

C_{Ra} : radium concentration
 ρ : density
 λ : half life of radon
 S_v : surface area per unit volume
 ε : mean porosity
 E : emanation rate

C_a, C_w : radon concentration in the gas and water phase in the pore space
 r_s : saturation ratio in the system

鹿児島始良カルデララドン観測



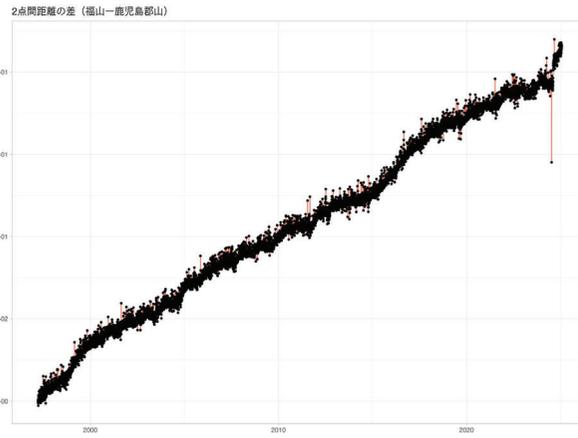
私信 (鹿野: 鹿児島大学博物館資料)

- 始良カルデラ下にはマグマ溜まりが存在するとされ、カルデラ内には活動的な火山「桜島」や海底火山の「若尊」が存在し、マグマの活動、噴火に伴う地殻変動が観測されている。
- 鹿児島県下には多数の温泉（2700以上、源泉数2位（市単位だと1位））が存在する。
- 温泉を分析することによって
 - 地質構造・マグマとの関係を調べる
 - 定期観測を行い、地殻変動と温泉成分変動の関係を調べる

短い周期で地殻変動が発生する場合は、流体（温泉・地下水）と地殻変動の関係を調べる上で適した場

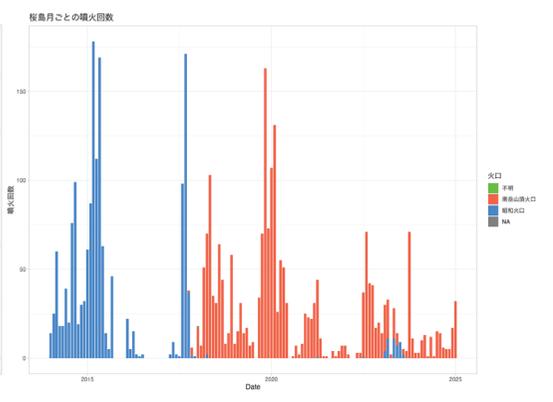
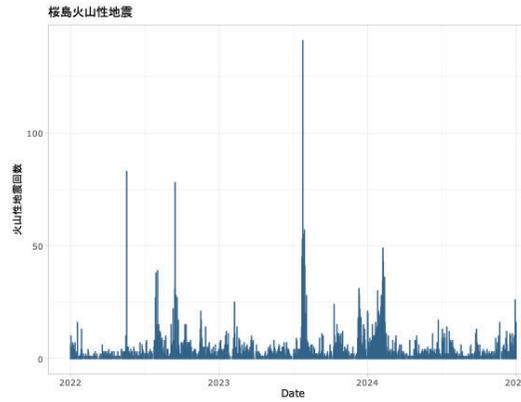
- 特徴的な温泉（マントル由来ガス含有温泉・マグマ水混合温泉・高ラドン温泉）

地殻変動



[データは国土地理院より]

地殻変動



[データは気象庁より]

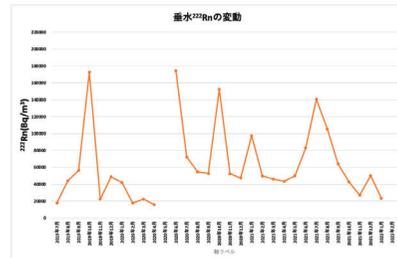
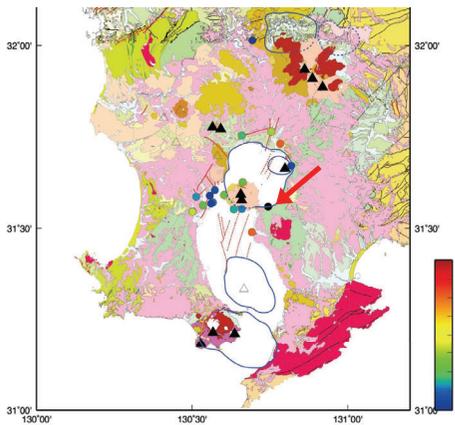
ラドン温泉

垂水の温泉

高いラドン濃度 →花こう岩の影響？
スパイク的に変化（増加）する

地殻変動を表しているのでは？
変化速度（パターン）は？
他のデータとの相関は？

連続観測（間隔が密な測定）
が必須



地震（短期間）予測にむけて



- ラドン観測の多点化
 - 国際的には土壌ラドン観測網が構築された国がいくつかあり、実績を出している
 - ビッグデータ解析等、統計解析技術の進展により以前より地殻変動との関連性が見えてきている
- その他地震宏观現象の観測と研究
 - 有象無象を含めた現象の報告



$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 \dots$$

ラドン 電磁気 電離層