

# 地質環境の長期安定性への 影響要因に関するサイト調査の方針

---

## ―段階的な調査の考え方―

2014年2月  
原子力発電環境整備機構



# 目次

---

1. はじめに
2. 段階的な調査の考え方
3. 天然現象の調査方針
  - 3.1 火山・火成活動
  - 3.2 断層活動
  - 3.3 隆起・侵食作用
4. まとめ

## 1. はじめに

- 第4回会合において、好ましい地質環境特性の擾乱となる影響要因を提示し、特に著しい影響を与える天然現象として、火山・火成活動、断層活動、隆起・侵食作用が考えられることを示した。
- 今後は著しい影響を与える天然現象を調査に基づいて回避する際の方針について審議していただく。



### ■ 今回のご説明内容

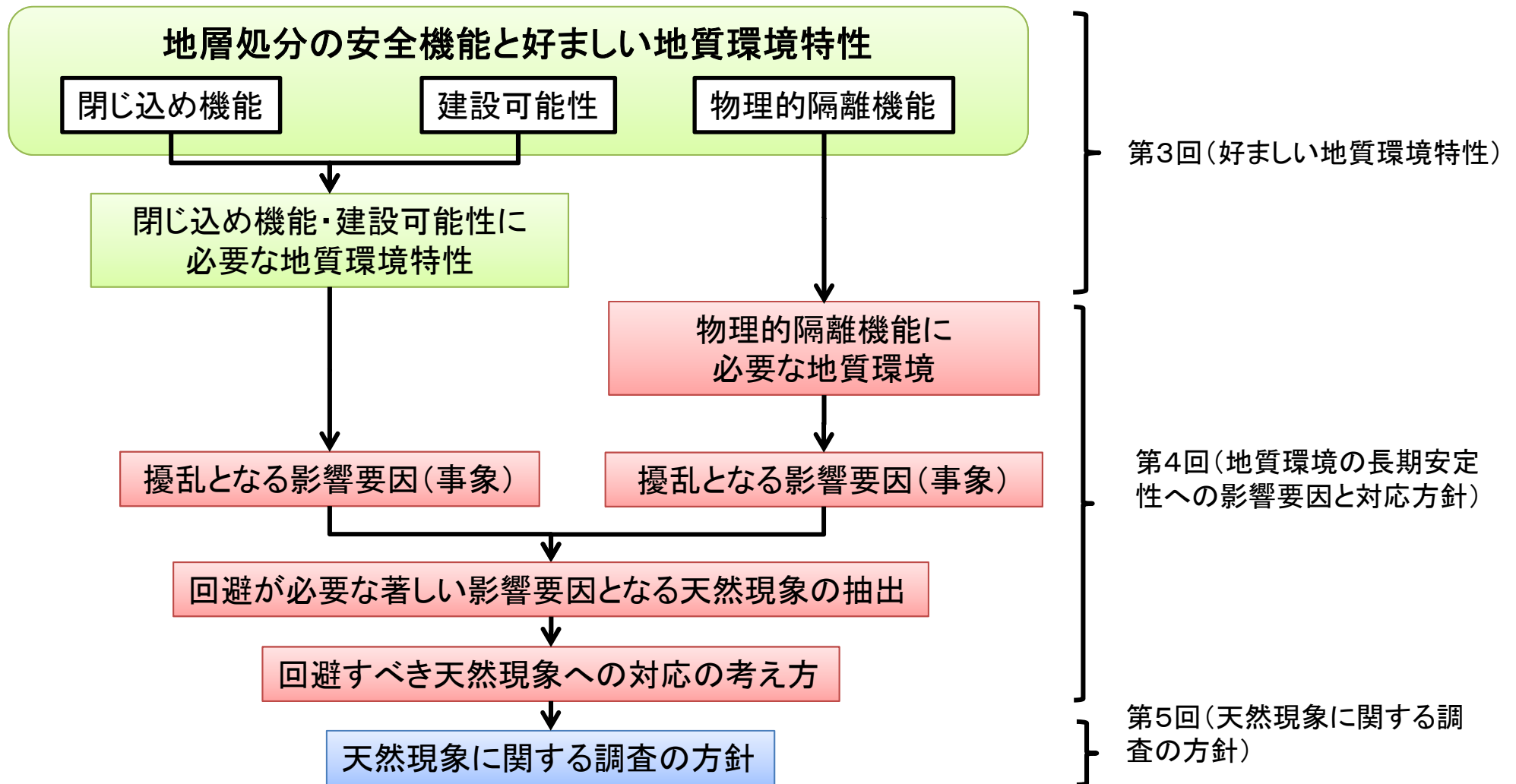
- ・ 段階的な調査の考え方
- ・ 著しい影響を与える天然現象の影響範囲、段階的な調査の考え方、および、信頼性向上の取り組み



段階的な調査および著しい影響を与える天然現象の  
調査方針や考え方が適切か？

# 1. はじめに

## 地層処分技術WGにおける説明の流れ



# 1. はじめに

## 回避が必要な著しい影響要因となる天然現象(第4回資料の抜粋)

|            |     | 天然現象               |                           |                          |                                        |
|------------|-----|--------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------------------|
|            |     | 火山・火成活動            | 地震・断層活動                   | 隆起・侵食                    | 気候・海水準変動                               |
| 閉じ込め機能の喪失  | 熱環境 | 地熱活動               | —                         | —                        | 著しい影響とはならない。なお、<br>隆起・侵食の項で侵食作用の要因となる。 |
|            | 力学場 | —                  | 処分深度に達する断層のずれ             | —                        |                                        |
|            | 水理場 | —                  | 断層のずれに伴う透水性の増加            | —                        |                                        |
|            | 化学場 | 火山性熱水や深部流体*の移動・流入  | 断層のずれに伴う透水性の増加<br>(条件による) | —                        |                                        |
| 物理的隔離機能の喪失 |     | マグマの処分場への貫入と地表への噴出 | —                         | 著しい隆起・侵食に伴う処分場の地表への著しい接近 |                                        |

\* 深部流体の影響は、火山性熱水の影響と類似であるため、「火山・火成活動」の調査方針に含めて説明する。

## 2. 段階的な調査の考え方 全体方針

対象となる地域ごとに、全国一律に評価するために、全国規模で体系的にデータが整備されている文献に基づいて、文献調査の対象となることを確認(事前確認)

### 【概要調査地区選定段階(文献調査の段階)】



地層処分に明らかに適さない地域は対象としない。

地域ごとに収集した文献情報に基づいて、最終処分施設建設地としての適性が明らかに劣る地域を含まないように、概要調査を行う地区を選定する。

### 【精密調査地区選定段階(概要調査の段階)】



調査地区の選定の判断においては、地域の意見を尊重する。

- 現地調査の結果に基づいて、文献調査の結果を確認するとともに、追加して除外すべき地域がないかを検討する。
- また、処分施設の設計・施工や、安全性の評価の観点からも、対象地域の地質環境特性の適性を評価し、精密調査を行う地区を選定する。

### 【最終処分施設建設地選定段階(精密調査の段階)】



調査地区の選定の判断においては、地域の意見を尊重する。

- 地下調査施設からの調査で新たに得られる情報を加味し、設計・および安全性の評価を実施する。地下深部の岩盤の特性が、好ましい地質環境特性の範囲にあることを、安全性、工学的実現性、経済性などについて、総合的に評価し、処分施設を建設地を選定する。

### 【認可申請】



建設地の選定の判断においては、地域の意見を尊重する。

- 対象となる地域の地質環境特性などを踏まえ、処分施設の安全性を国が確認する。

## 2. 段階的な調査の考え方

### 各調査段階の調査方針と説明範囲

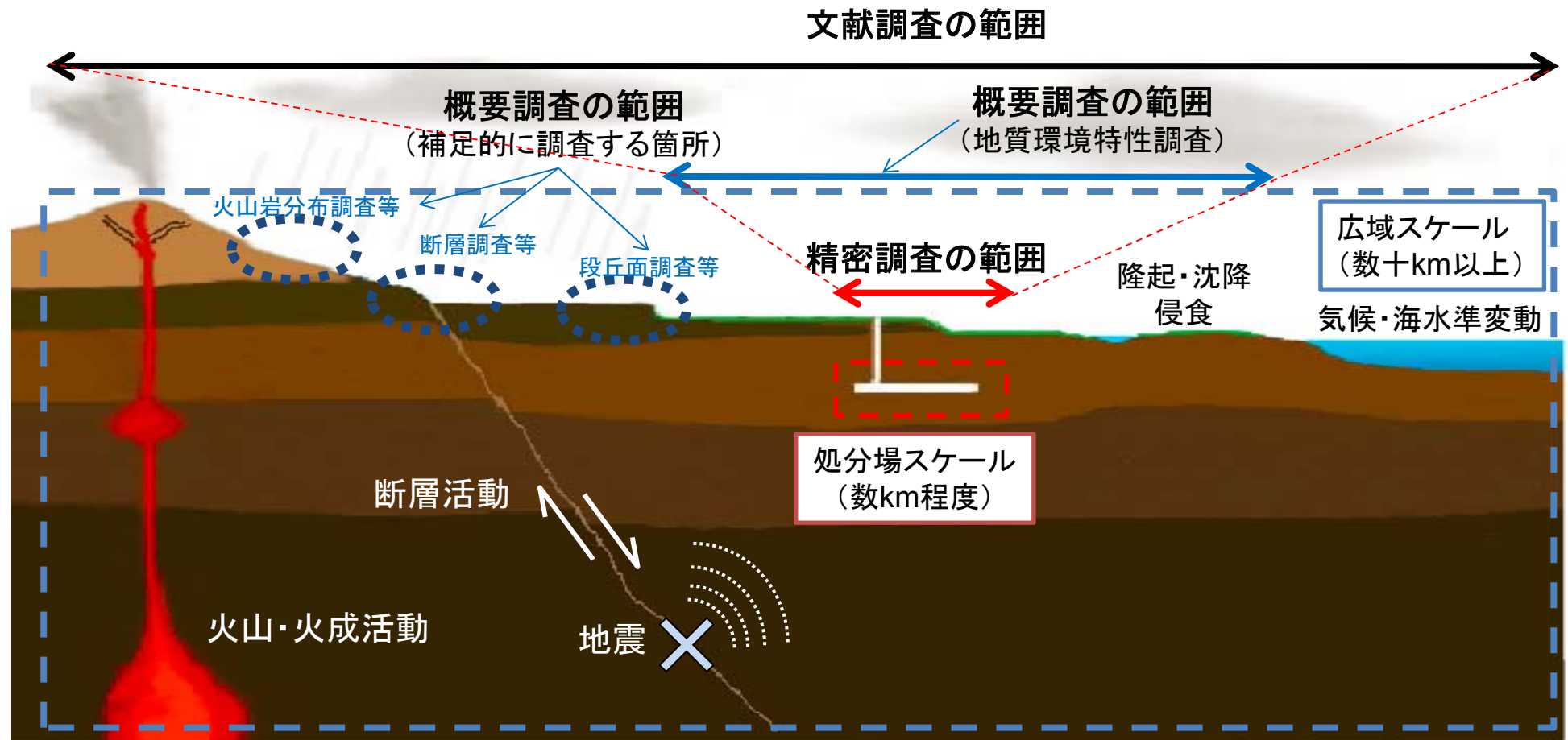
| この資料の<br>説明範囲                                    | 事前          | 文献調査の段階                  | 概要調査の段階<br>(地表調査・物理探査・<br>ボーリング調査)         | 精密調査の段階<br>(地下調査施設からの調査)                |
|--------------------------------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 著しい影響を与える<br>事象の回避                               | 全国一律<br>に評価 | 広域スケール                   | 広域スケール                                     |                                         |
|                                                  |             | 文献情報において<br>影響が明確な地域の回避  | 現地調査による痕跡の確認と<br>将来の影響領域の回避                | (新たな情報が得られた場<br>合に評価を実施)                |
| 地質環境特性の<br>適性の評価・地域<br>の絞り込み<br>(好ましい地質環<br>境特性) |             | (対象地域間の相対評価、<br>調査計画を検討) | 処分場スケール<br><br>ボーリング調査等による<br>深部の地質環境特性の把握 | 処分場スケール<br><br>地下調査施設からの<br>地質環境特性の適性評価 |
| 工学的対策<br>および<br>安全性の評価                           |             | (処分概念の適用性など<br>の概略的な検討)  | 工学的対策の<br>概念的な設計                           | 工学的対策の設計<br>工学技術の実証的確認                  |
|                                                  |             |                          | 予備的な安全性の評価                                 | 安全性の評価                                  |

資料1, 参考資料の説明範囲

## 2. 段階的な調査の考え方

### 調査対象地域の段階的な絞り込み(調査スケール)

- 著しい影響を与える天然現象が含まれないように、調査地域を段階的に絞り込むことで、好ましい地質環境特性を有する地層または岩体に処分施設を設置する。
- また、文献調査、概要調査(地表からの現地調査)、精密調査(地下調査施設からの現地調査)と段階が進むごとに、対象地域が絞り込まれるため、地下深部の地質環境について詳細に情報収集することが可能となる。







### 3. 天然現象に関する調査方針 説明の流れ

---

火山・火成活動，断層活動，隆起・侵食作用毎に以下の順に調査方針を説明する。

- 著しい影響要因となる事象
- 回避の対象と影響範囲の考え方
- 調査・評価の進め方
- 信頼性向上に向けた取り組み

## 3.1 火山・火成活動

### 著しい影響要因となる天然現象への対応の考え方

(第4回資料の抜粋)

#### ○著しい影響を与える事象

##### 【閉じ込め機能の喪失につながる要因】

- 地熱活動(熱環境)
- 火山性熱水や深部流体の移動・流入(化学場)

##### 【物理的隔離機能の喪失につながる要因】

マグマの処分場への直撃と地表への噴出

- 熱環境の好ましい条件:例えば,地温が初期に60℃程度,長期には100℃を超えない。地温勾配が10℃/100mを超えないなど。)
- 化学場の好ましい条件:低pHあるいは,高pHではない,炭酸化学種濃度が高くない(例えば0.5 mol/dm<sup>3</sup>を超えない)。

#### ○サイト選定における回避の考え方

##### 【回避対象】

- マグマの貫入・噴出が起こる可能性が高い地域
- 地熱活動が盛んな地域
- **深部流体など非火山性熱水が流出する地域**(第4回WG意見を踏まえ別項目化)

##### 【回避の考え方】

- マグマの貫入・噴出,地熱活動およびそれを引き起こす火山活動や非火山性熱水活動(深部流体も含む)は,分布は大きく変わらず,長期にわたって継続すると考えられる。
- また,新規の火山活動の発生については,マグマの発生する深度において,高温となる領域の有無の確認が必要である。さらに,マントル内のマグマ発生メカニズムに基づいた将来予測も有効と考えられる。

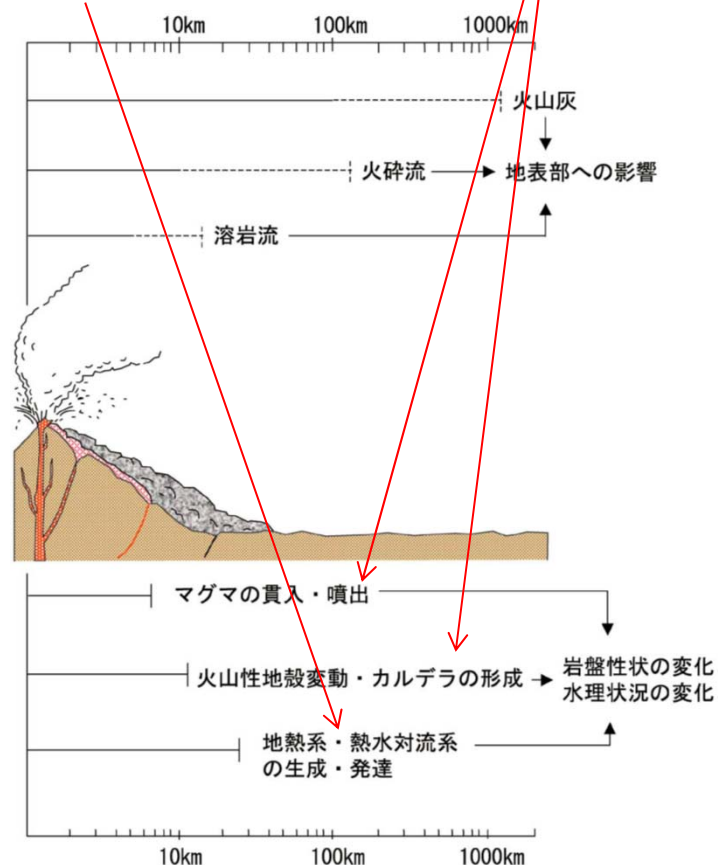
影響範囲の考え方も含め,詳細に説明

## 著しい影響を回避する対象の考え方

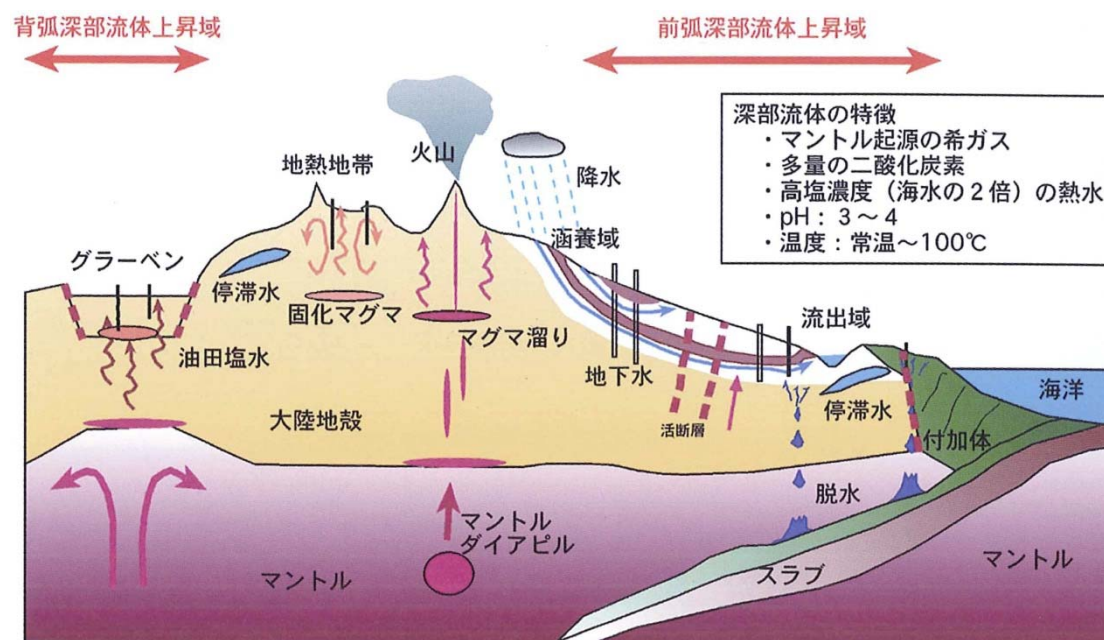
調査において回避の対象となる現象が発生する地域のイメージを示す。

### A) マグマの貫入・噴出の可能性が高い地域

## B)地熱活動が盛んな地域



### C) 深部流体など非火山性熱水が流出する地域



## 深部流体の起源に関する概念図

産総研(2007):第5回深部地質環境研究センター研究発表会資料集, p.31

火山・火成活動の概念図(石丸・角田, 2002)

### 3.1 火山・火成活動：影響範囲の考え方

#### A) マグマの貫入・噴出が起こる可能性が高い地域(1)

##### 【第2次取りまとめの考え方】

- 中新世後期～鮮新世以降における日本列島の火山活動には偏在性が認められ、東日本火山帯と西日本火山帯の範囲のみに限って活動が生じている。過去数十万年における火山活動の変化は、島弧スケールでの火山フロントの顕著な移動としてではなく、むしろ火山地域や火山列スケールでの活動域の拡大・縮小、移動などの変化としてとらえることができる(分冊1:2.4.3項)
- 10万年程度の将来については、火山地域・火山列スケールでの過去数十万年間の火山活動の時間的・空間的变化に基づき、将来の活動域を評価する手法が有効である。また、その際には地質情報からの外挿ばかりではなく、地殻応力場などのテクトニクスを考慮することや物理探査によって地下のマグマの存在の有無などを確認することも重要である(分冊1:2.4.3項)。

##### 【その後の知見】

- 日本列島周辺におけるプレートの配置や運動様式は、100万年オーダーの時間スケールで緩慢に変化することから大局的には安定であり(吉田・高橋, 2004)、このプレートの沈み込みに由来する、日本列島における火山フロントの分布も大局的には安定であると考えられる(日本地質学会 地質環境の長期安定性研究委員会, 2011)。
- 火山活動は火山フロントの背弧域に限定して繰り返し生じており(山元, 2011など)、火山が集中する火山活動域とそうではない火山空白域とに区分できる。火山活動域はホットフィンガーと呼ばれる熱構造の不均一性により制御され安定であると考えられ、それに対応して地下深部にマグマが存在している(Tamura et al., 2001など)。背弧域では、下部地殻の再加熱により火山が新規に出現したケースもあると考えられている(Yamamoto, 2007)。
- 一方、西南日本においては火山フロントが不明瞭であるものの、中国山地および日本海側の地域に限定されてきている。これは、火山活動域の変動はマントルウェッジ内へのフィリピン海プレートの潜入に関連していると考えられている(Kimura et al., 2003など)。

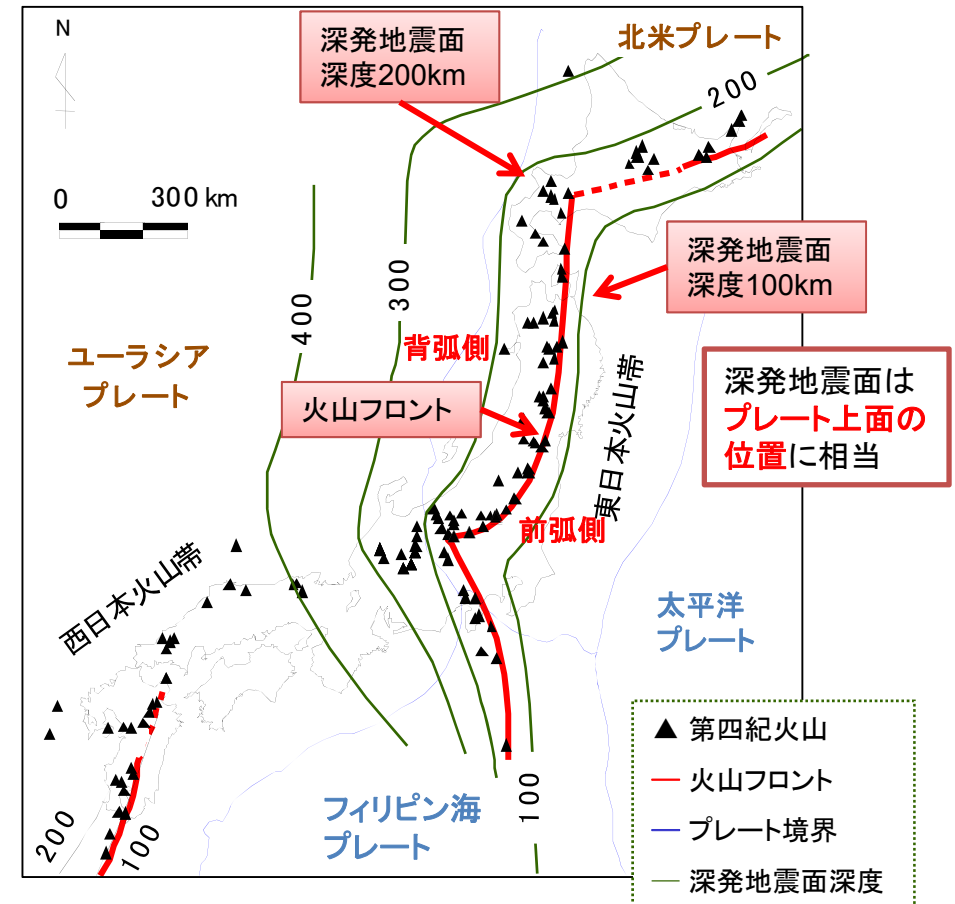
### 3.1 火山・火成活動：影響範囲の考え方

#### A) マグマの貫入・噴出が起こる可能性が高い地域(2)

##### 【NUMOの考え方】

##### ○日本列島におけるマグマの成因と火山の分布

- 海洋プレートが沈み込む際に、100-200 km程度に達する深さで、プレート上面の含水鉱物の脱水に伴い、地殻下部の岩石の融点が低下し、かつ、高温状態にあるためマグマが発生する。
- 東北地方には火山フロントが形成され、マグマの発生深度よりプレート上面の深度が浅い前弧側では、広い範囲で地温勾配が低く、火山が分布していない。
- 背弧側では、火山が分布する領域と、分布しない領域(空白域)が存在する。
- 西南日本に関しては、フロントが明確ではない。



日本列島周辺のプレート配置と第四紀火山の分布

(分冊1, 図2. 4-1)(第四紀火山カタログ委員会編, 1999を編集)



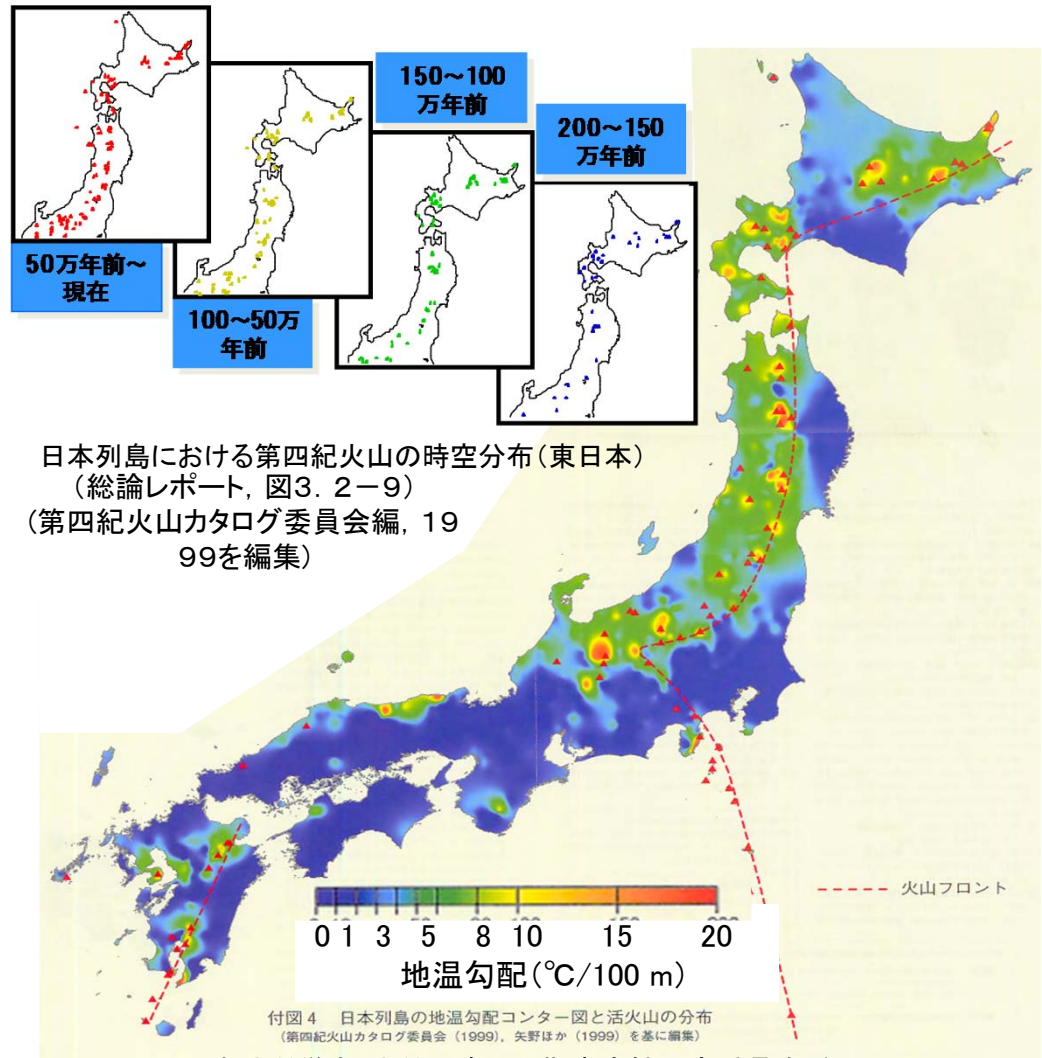
### 3.1 火山・火成活動：影響範囲の考え方

#### A) マグマの貫入・噴出が起こる可能性が高い地域(3)

##### 【NUMOの考え方】

###### ○火山活動(マグマ)の継続性

- 日本列島におけるマグマの分布は、プレートシステムと密接に関係があり、最近の地質時代に活動した火山は、特定の地域に偏って分布しているという傾向がある。
- 一般には過去200万年の間にその傾向に大きな変化は認められないことから、今後も、プレートシステムが大きく変わらなければ、現在の火山活動などの傾向が著しく変化することは考えにくい。
- なお、現在、地殻内の温度が低い(地温勾配が低い)領域において、マグマが発生する可能性は低いと考えられる。



日本地質学会 地質環境の長期安定性研究委員会(編)  
(2011): 日本列島と地質環境の長期安定性. 地質リーフレット4.

### 3.1 火山・火成活動：影響範囲の考え方

#### A) マグマの貫入・噴出が起こる可能性が高い地域(4)

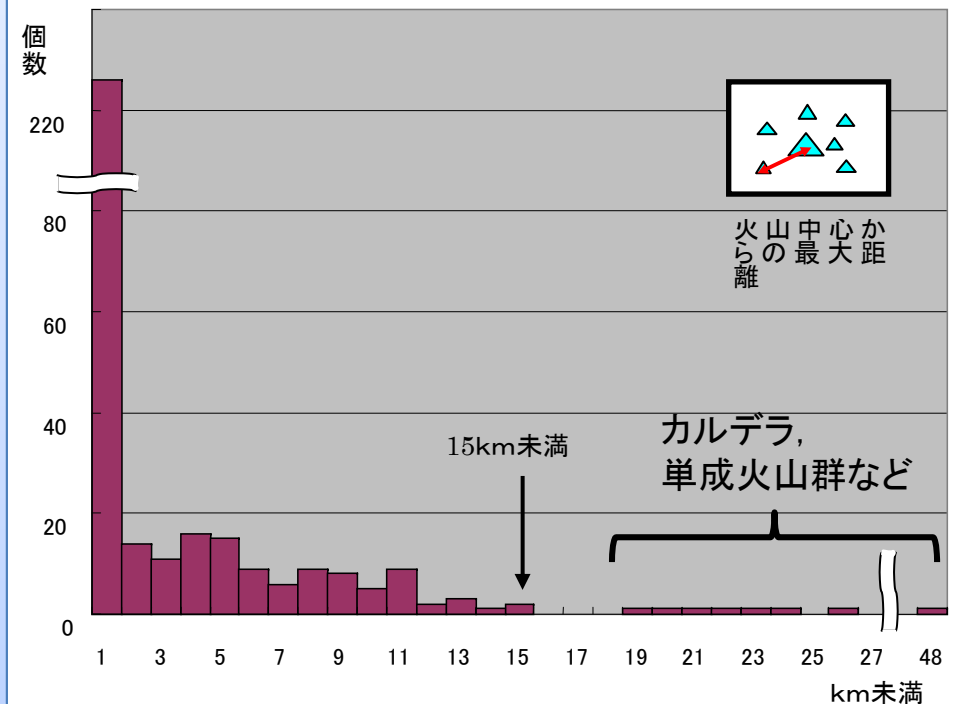
##### 【NUMOの考え方】

##### ○文献情報に基づくマグマ活動の範囲

- 文献情報(日本の第四紀火山カタログ, 1999)に基づく  
と, 陥没カルデラを形成する第四紀火山や, 単成火山群  
など8つの火山を除けば, 個々の第四紀火山の位置(そ  
の火山を代表する位置)を中心として, 多くの火山が数  
kmの範囲内にあり, すべての火山で半径15kmの円の  
範囲に収まる。したがって, 全国一律には, 上記の範囲  
を対象として, 回避することが必要と考えられる。(なお,  
産総研(2013):「日本の火山第3版」などの最新の文献を  
用いた再評価を検討している。)
- なお, 巨大カルデラなどの個別の火山におけるマグマ活  
動の範囲は, 上記の範囲を超える可能性もあることから,  
地下物理探査などを含む現地調査に基づいて評価し,  
回避する必要があると考えられる。

##### ○将来のマグマの貫入・噴出の場の評価方法

- 将来的なマグマの貫入・噴出の推定は, 既存の火山の  
活動位置, マグマの活動範囲の広がり, 火山の形成過  
程などの観点から, 火山・火成活動の規則性に関する  
評価を行うことが基本となる。
- その際, 単成火山のような不規則な活動, 巨大カルデラ  
噴火の再活動あるいは火山の新規出現の将来予測な  
ども考えられる。



第四紀火山の中心と個別火山体との距離と頻度  
(日本の第四紀火山カタログ, 1999に基づき作成)

### 3.1 火山・火成活動：影響範囲の考え方

#### B) 地熱活動が著しい地域

##### 【第2次取りまとめの考え方】

- 地温の上昇、熱水対流系の形成など、火山・火成活動によって深部地質環境の熱的状态が大きく変化し得る範囲は、一般に火山の噴出中心から数km～20km程度までとみなすことができる。
- マグマに含まれる揮発成分は火山ガスの組成などから、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{HCl}$ を主成分とする。これらはマグマの上昇に伴う圧力の低下によって放出され、地下水に溶解する。
- pH4.8未満の地下水は主に第四紀火山及びその周辺地域に分布する(分冊1:2. 4. 2)。

##### 【その後の知見】

- 高地温勾配( $>10^\circ\text{C}/\text{m}$ )地域は活火山の分布と極めて整合的で、地熱活動は火山活動と密接に関連している。また、火山フロントの背弧域における多数の熱水変質帯や鉱床の分布は、地熱活動も火山活動と同様に過去から現在にわたり偏在する地質現象であることによると考えられる(高橋・Martin, 2004, 日本地質学会 地質環境の長期安定性研究委員会, 2011)
- 現在の地熱活動域は、現在のテクトニクスが維持される限りは大きく変わらないと考えられる(八幡, 2002)。
- pHは火道近傍で4.8以下、それ以遠は中性～弱アルカリ性と考えられる(浅森ほか, 2012, 川村ほか, 2009)。
- 水質は、火道ごく近傍で $\text{SO}_4^{2-}$ 卓越、近傍では $\text{Cl}^-$ 卓越、その周りで $\text{HCO}_3^-$ 卓越(川村ほか, 2009)。
- 巨大カルデラ火山の地下水系への影響に関する事例研究では、地下水へのマグマ分離成分の影響が50km遠方にまで及ぶとの報告(産総研, 2010)もある。



### 3.1 火山・火成活動：影響範囲の考え方

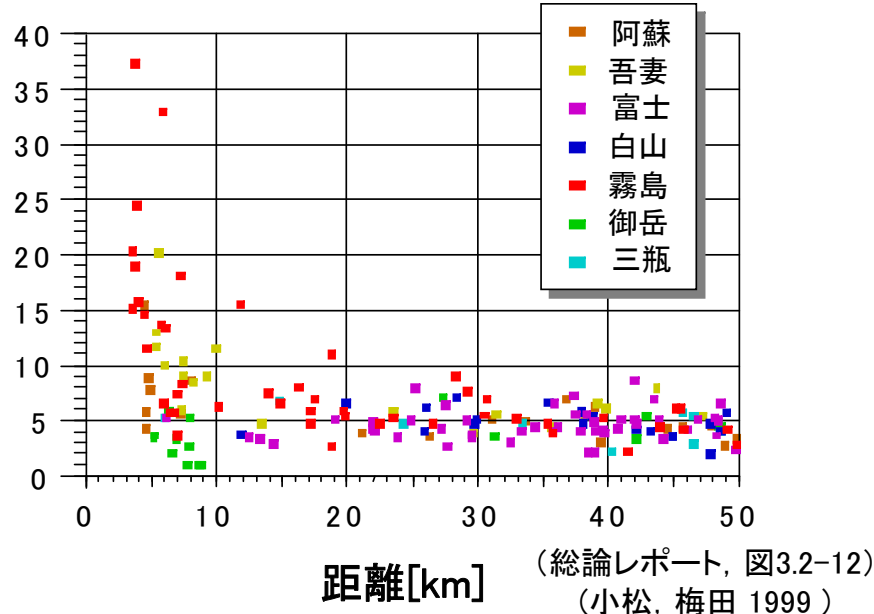
#### B) 地熱活動が著しい地域

##### 【NUMOの考え方】

○文献情報に基づく地温勾配が高い地域

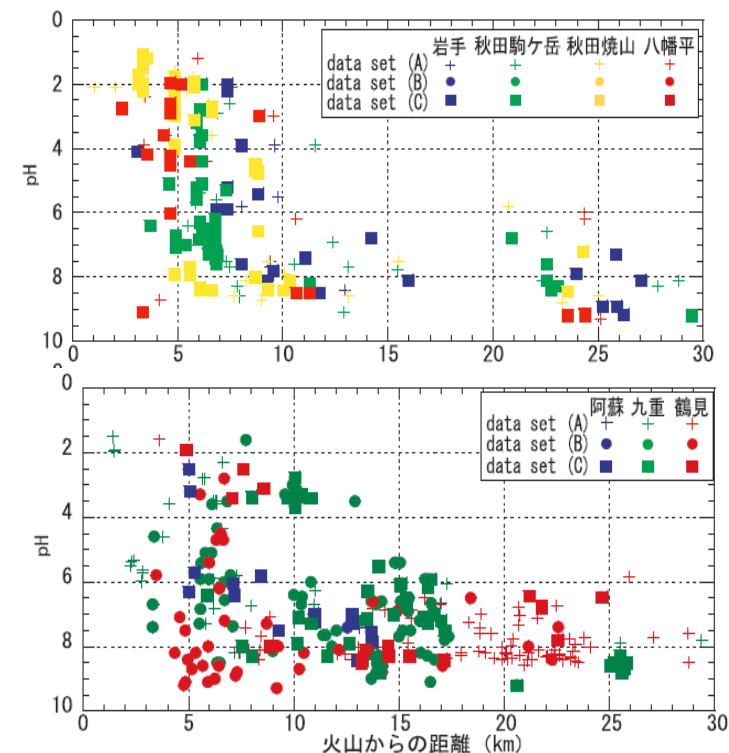
- 地温勾配が $10^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ を超える高温異常域は、火山の分布と整合的であり、少なくとも第四紀火山の中心から10kmの範囲は影響が大きいと考えられる。
- なお、カルデラなどについては、より広範囲に影響する可能性もあることから、現地調査に基づいて個別に評価する必要があると考えられる。

地温勾配 [ $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ]



○文献情報に基づく熱水による化学的な影響範囲

- 右記の事例では、熱水のpHが4程度の酸性となる領域は、火山からおおむね15km程度の範囲に分布している。
- なお、カルデラなどについては、より広範囲に影響する可能性もあることから、現地調査に基づいて個別に評価する必要があると考えられる。



火山からの距離と地下水のpHとの相関(浅森ほか, 2002)

## 3.1 火山・火成活動：影響範囲の考え方

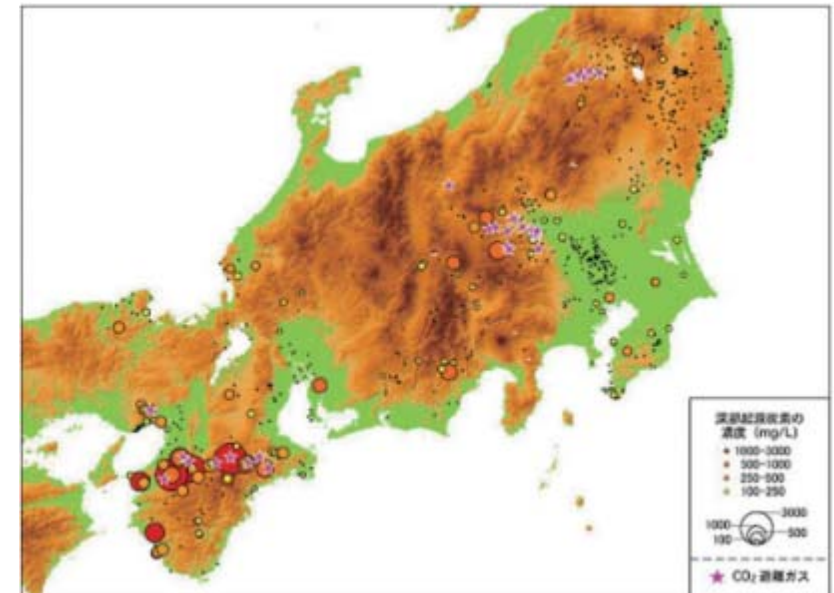
### C) 深部流体など非火山性熱水が湧出している地域

#### 【第2次取りまとめの考え方】

(記述なし)

#### 【その後の知見】

- ・ 非火山性熱水の起源は、地殻熱流量による加熱(常磐地域)、基盤岩に由来する崩壊熱による加熱(能登半島)、石油・天然ガス地帯における熱水(新潟平野)、およびスラブ起源の深部流体(紀伊半島、有馬温泉)などが報告されている(田中ほか, 2004, 産総研, 2007; 2012など)。
- ・ このうち、スラブ起源である深部流体は、高塩分濃度、低pH、多量のCO<sub>2</sub>であり、また、高温であることから、熱環境や化学場に影響を与えると考えられる。
- ・ 深部流体は、沈み込むスラブやマントルから放出される流体を起源とすると考えられており、地表にまで上昇する際には、地殻下部にまで達するような構造線や大断層が主経路であると考えられている(産総研, 2007; 2012)。



地下水中の深部起源無機炭素濃度および二酸化炭素の遊離ガスの分布(産業技術総合研究所, 2007)

#### 【NUMOの考え方】

- ・ 温度が高い非火山性熱水や深部流体の流出は、過熱や流出のメカニズムを考慮すると、偏在性があると考えられる。
- ・ また、化学的な影響の範囲については、地下水の同位体成分の分析などが必要である。ただし、全国規模で体系的にまとめた文献がないため、個別の地域で評価する必要があると考えられる。

### 3.1 火山・火成活動

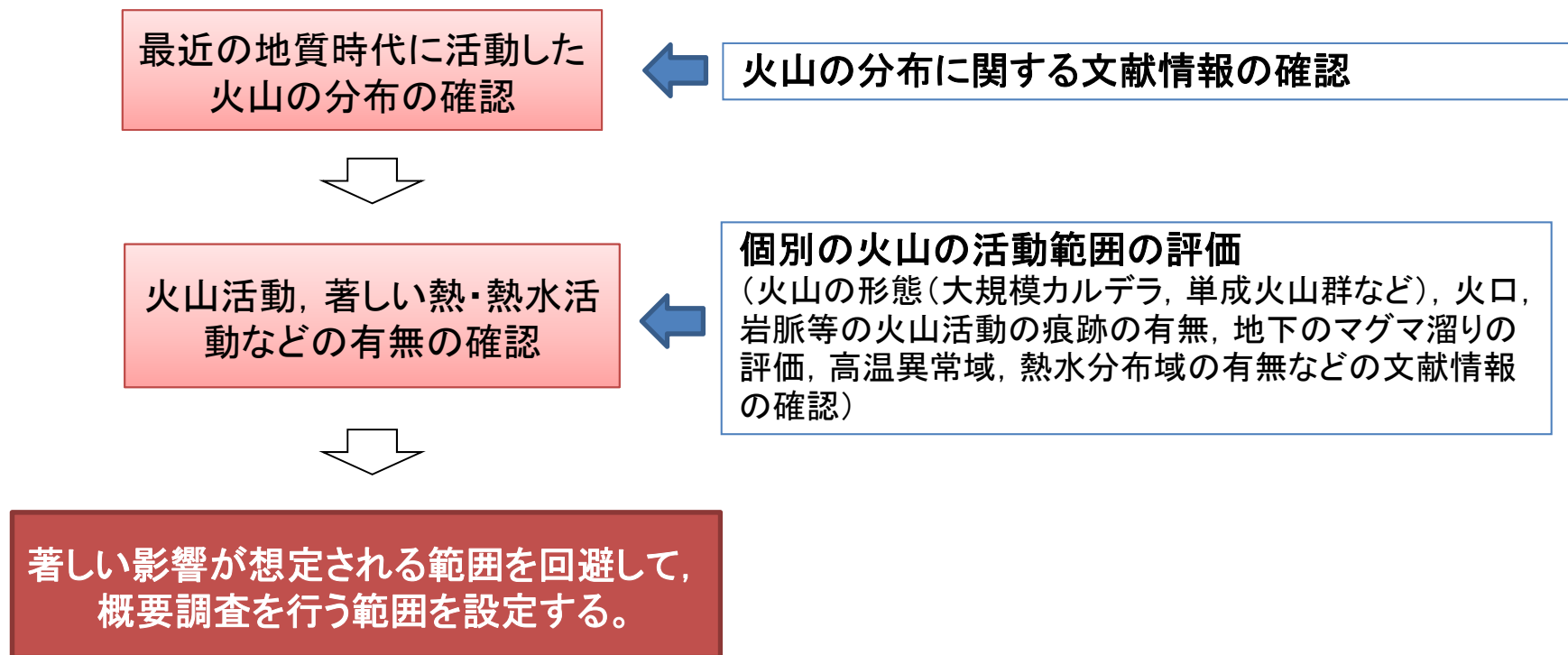
#### 評価対象と影響範囲の考え方のまとめ

| 評価対象                                                                                                                          | 影響範囲の考え方                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A) マグマの貫入・噴出が起<br>こる可能性が高い地域<br><br>(火山では、地下のマグマ溜<br>りから、火道を通じて地表に<br>マグマが上昇するので、火山<br>の分布に基づいてマグマの<br>活動範囲を推定することが基<br>本となる) | <ul style="list-style-type: none"><li>• 東北地方の火山活動は、<u>火山フロントを境界として、前弧側と背弧側で異なる</u>。<br/>この状態は、現在のプレート運動が大きく変動しない限りは、将来も継続すると<br/>考えられる。<ul style="list-style-type: none"><li>➢ 前弧域では、火山活動が200万年程度にわたり観測されていない。</li><li>➢ 背弧域では、火山が分布する地域としない地域(空白域)がある。</li></ul></li><li>• 西南日本でも、火山フロントが認められるが、東北日本よりは不明瞭である。</li><li>• 以上の分布傾向も踏まえ、最近の地質時代において活動した火山は、将来も<br/>活動する可能性があるため、回避する必要がある。<ul style="list-style-type: none"><li>➢ 全国規模で体系的に収集された文献情報に基づく、活動範囲は、個々の第四紀火<br/>山の位置(その火山を代表する位置)を中心として、<u>多くが数km以内にあり、すべての<br/>火山で半径15kmの円の範囲に収まる</u>。</li></ul></li><li>• なお、カルデラなどの個別のマグマの活動範囲や、将来の範囲については、上<br/>記の範囲の外側についても、現地調査に基づいて評価する必要がある。</li></ul> |
| B) 地熱活動が著しい地域                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"><li>• 熱環境については、<u>概ね10 km程度の範囲</u>が特に著しいと考えられる。</li><li>• 化学場については、<u>概ね15 km程度の範囲</u>が特に著しいと考えられる。</li><li>• なお、<u>カルデラなどは、上記よりも広い範囲に影響を与えることがあるので、個<br/>別の火山の影響範囲は、現地調査などに基づいて、詳細に評価する</u>。</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| C) 深部流体などの非火山<br>性熱水が湧出している地域                                                                                                 | 全国規模で体系的にまとめられた文献がないため、個別地区ごとに評価する。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

### 3.1 火山・火成活動：調査・評価の進め方

#### 文献調査の段階(A:マグマの貫入・噴出, B:地熱活動および C:非火山性熱水)

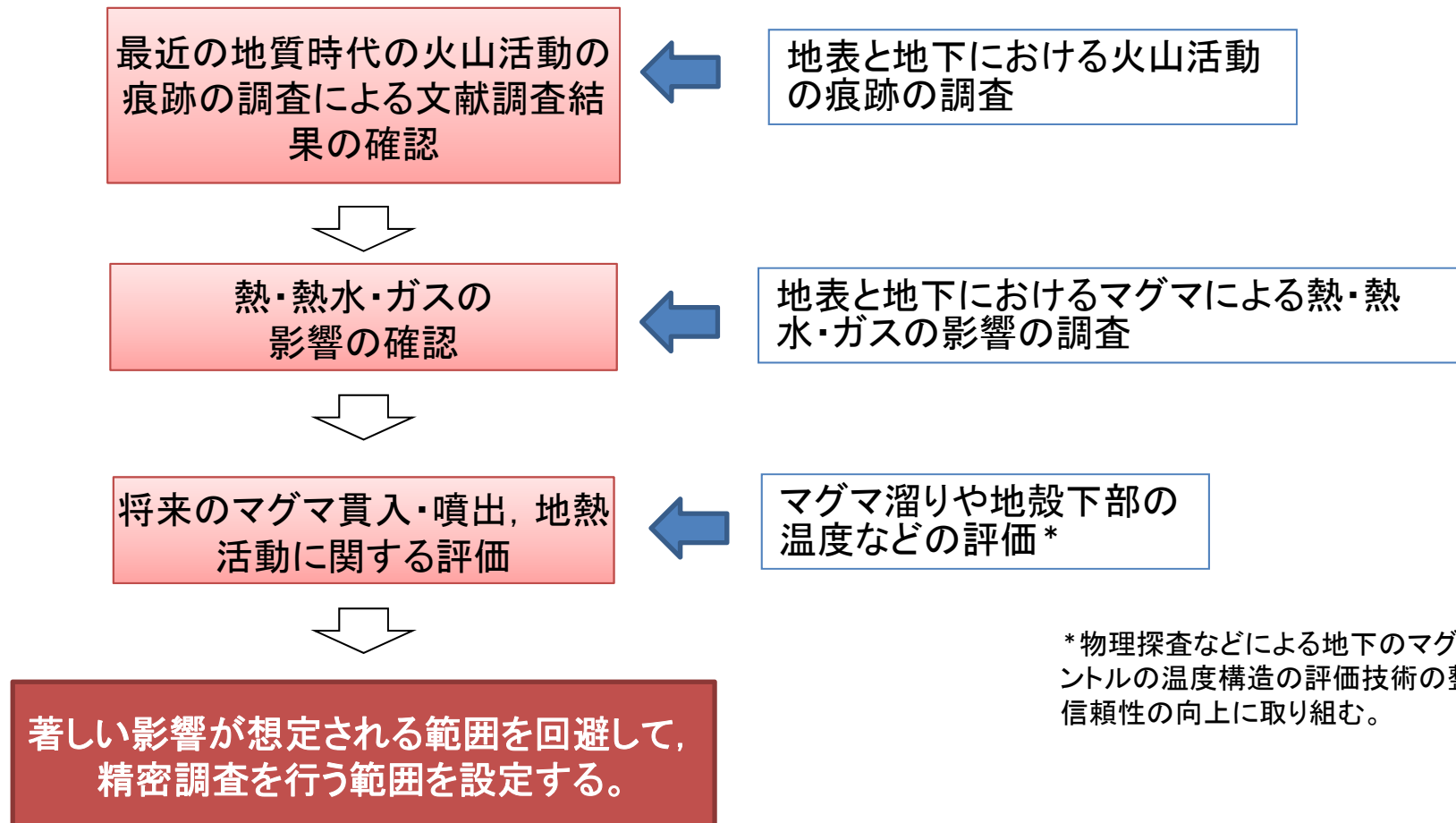
個別の断層の情報は地域によっては十分でない可能性もあるため、存在が明らかな火山とその範囲を対象として回避する。明確でない場合には、概要調査の段階も含めて判断する。なお、深部流体については、文献情報でその存在が明確に判断できる場合に、概要調査地区に含めない。



### 3.1 火山・火成活動：調査・評価の進め方

#### 概要調査の段階（地表からの調査）（A：マグマの貫入・噴出およびB：地熱活動）

現地調査が可能となるため、地表地質調査やボーリング調査により、地表および地下の活動の痕跡を確認する。また、ボーリング調査により、地下の地温の確認や地下水の化学分析を実施し、地熱活動の影響の有無および範囲を把握する。さらに、物理探査などによりマグマ溜りの存在の評価を実施する。



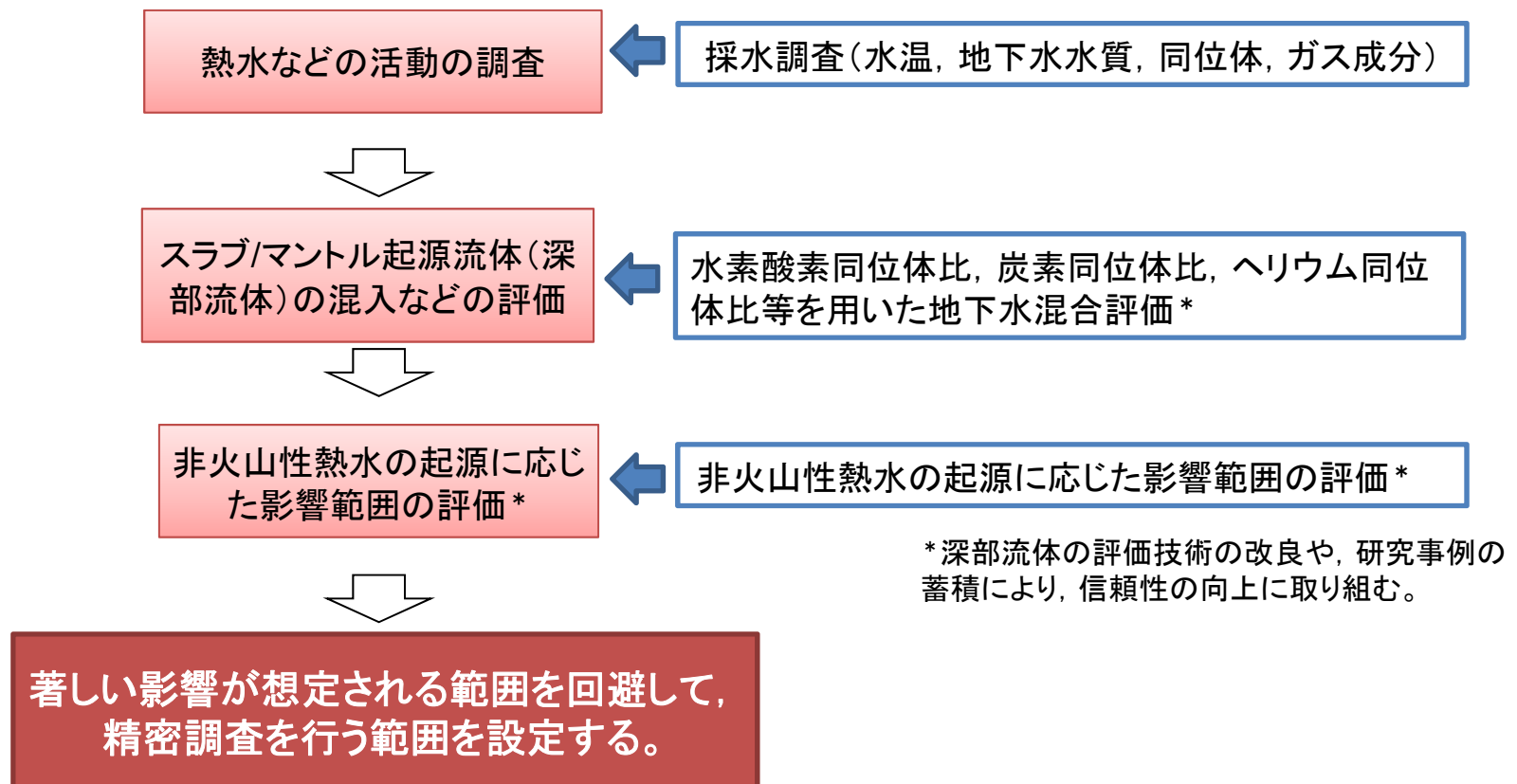
\* 物理探査などによる地下のマグマ溜りやマントルの温度構造の評価技術の整備を進め、信頼性の向上に取り組む。



### 3.1 火山・火成活動：調査・評価の進め方

#### 概要調査の段階（地表からの調査）（C：深部流体などの非火山性熱水が湧出している地域）

深部流体については、メカニズムや構造線の有無などに基づいて、影響範囲を推定するため、その他の非火山性熱水の可能性も含めて起源を特定することが必要となる。また、その他の非火山性熱水についても、温度や化学組成が適さない場合には除外する必要がある。





## 3.1 火山・火成活動 信頼性向上の取り組み

### 【信頼性向上の取り組み】

#### ○A) 火山の分布およびB) 地熱活動の評価に関する取り組み

現在、地下にマグマ溜りが存在せず、地殻下部の温度が低い地域は、当面は火山が新規に発生する可能性は低いと考えられる。ただし、地殻下部が加熱される事象(マントルからの熱源の移動)については、マグマ成因論、およびマントル内の物質移動論に基づく熱輸送モデルなどの評価手法の開発などに取り組むことも重要と考えられる。また、背弧域の火山活動については、事例研究を蓄積し、火山の空白域における将来の火山活動の評価技術の開発を継続的に進める必要がある。なお、地熱活動はマグマの分布と密接に関係があるため、上記の取り組みにおいて、一緒に検討する。

#### ○C) 深部流体などの非火山性熱水の評価に関する取り組み

非火山性熱水に関する調査事例を蓄積し、形成・移動メカニズムなどの検討成果を、調査技術や将来予測に反映する取り組みを進める必要がある。

## 3.2 断層活動

### 著しい影響要因となる天然現象への対応の考え方

#### ○著しい影響を与える事象

(第4回資料の抜粋)

##### 【閉じ込め機能の喪失につながる事象】

- 処分深度に達する断層のずれ(力学場)
- 断層のずれに伴う透水性の増加(水理場・化学場)

##### 【物理的隔離機能の喪失につながる事象】

- (天然バリアの物理的隔離機能を喪失する可能性は小さいと考えられる)

#### ○サイト選定における回避の考え方

##### 【回避対象】

- 繰り返し活動し、変位の規模が大きい断層

##### 【回避の考え方】

- 断層活動は、既存の活断層帯において過去数十万年にわたり同様の活動様式で繰り返し活動しており、十万年程度の将来も既存の活断層帯において、現在の活動様式が継続すると考えられる。また、力学的な影響範囲は数百mから数kmと考えられる。
- なお、現在認定されている活断層以外のうち、現地調査によりその存在が確認される断層については、活動性を評価するとともに、工学的対策の実施なども含めて、対応を検討する。
- また、断層の活動性の評価技術については、今後も開発を進め、精度の向上に努める。

- 力学場の好ましい条件: 岩盤の変形が大きい。
- 水理場の好ましい条件: 地下水流動が緩慢である。移行経路が長い
- 化学場の好ましい条件: 低pHあるいは、高pHではない、炭酸化学種濃度が高くない(例えば0.5 mol/dm<sup>3</sup>を超えない)、酸化性雰囲気ではないなど

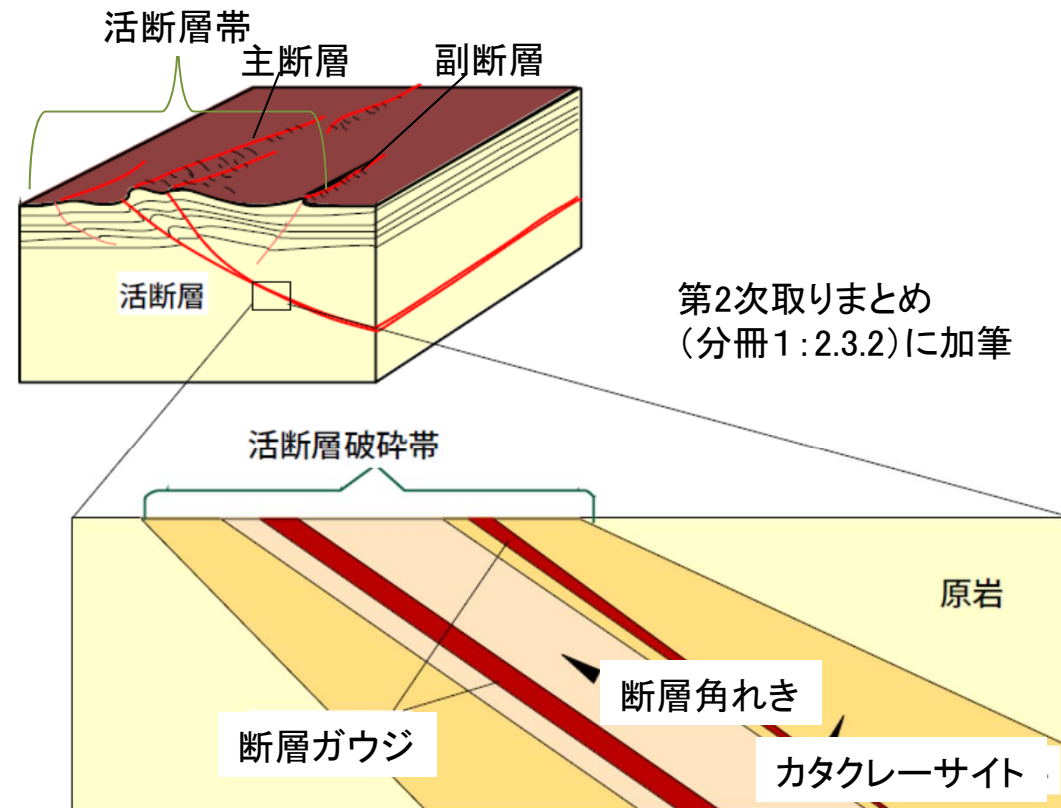
影響範囲の考え方も含め、詳細に説明

## 3.2 断層活動

### 著しい影響を回避する対象の考え方

- A)繰り返し活動し、変位の規模の大きな断層(活断層)の分布
- 上記断層の影響範囲
  - B)断層活動に伴い破砕される範囲(断層破砕帯)
  - C)断層の分岐などの活動範囲の拡大(活断層帯)

\* 断層活動に伴う地層の変位・変形の範囲(変形帯)や地形の変動(活褶曲・活撓曲の分布範囲)についても、影響が著しい場合には回避することを検討する。



## 3.2 断層活動：影響範囲の考え方

### A) 繰り返し活動し、変位の規模の大きな断層の分布

#### 【第2次取りまとめの考え方】

わが国における主な活断層はおおむね把握されているが、特に広い沖積平野など伏在断層の存在が考えられる地域や海域などについては、ボーリングや物理探査などを用いた地下構造調査によって、活断層の有無や分布を確認する必要がある(分冊1:2.3.3)。

#### 【その後の知見】

- 従来の活断層の認定は、主に空中写真を用いた地形判読のみで、そのため現地調査が不十分なものも多い。したがって、地形的に未成熟な活断層については、見落とされているものがある(産業技術総合研究所, 2007)
- 2000年以降、全国規模で抽出された既知の活断層以外で、規模の大きな地震が発生し、活断層の存在が後に指摘された主な事例として、以下があげられる。
  - 2000年鳥取県西部地震(当麻ほか, 2000; 井上ほか, 2002; 高田ほか, 2003; 草野ほか, 2010など)
  - 2004年新潟県中越地震(産業技術総合研究所, 2005; 加藤ほか, 2006; Maruyama et al., 2007など)
  - 2005年福岡県西方沖地震(岩淵ほか, 1998; 岡村ほか, 2009など)
  - 2007年能登半島地震(片川ほか, 2005; 佐藤ほか, 2007; Yoshimura et al., 2008; 草野ほか, 2010など)
  - 2007年新潟県中越沖地震(東京電力, 2007, 2008; 杉山, 2008; 原子力安全・保安院, 2008など)
  - 2008年岩手・宮城内陸地震(産業技術総合研究所, 2009a,b; 鈴木ほか, 2008; 東京大学地震研究所ほか, 2008など)
- なお、このような地形的に未成熟な断層についても、現地調査により、事前に検出は可能であり、概要調査では、地質学的に認められる既存の断層を対象とした調査が必要となる(産業技術総合研究所, 2007)。

## 3.2 断層活動：影響範囲の考え方

### A) 繰り返し活動し、変位の規模の大きな断層の分布

#### 【NUMOの考え方】

##### ○断層活動の要因と継続性

- 断層活動はプレート運動により地殻内に生じたひずみを解放するものであり、プレート運動を主な要因としている。日本列島の東西圧縮の広域応力場は、200万年前頃までにほぼ全域で成立し、現在まで大きく変わることなく維持されており、プレートの運動様式が大きく変化しない限りは、現在の広域応力場は今後も維持されると考えられる。
- なお、広域応力場は大局的には安定であるものの、局所的には、地殻応力場の時間的・空間的な変化が生じている。例えば、2011年東北地方太平洋沖地震の際には、日本列島が広い範囲で、東西方向に伸張し、これに関連すると考えられる地震が東日本各地で発生した（例えば、2011年4月11日の湯の岳断層など）。

##### ○繰り返し活動し、変位の規模が大きい断層の分布

- 第四紀以降に再活動している断層のうち、最近数十万年間（約40万年前以降）に同一の場所で繰り返し活動している断層は活断層として認定されている。
- ただし、2000年以降、これまでに活断層が認識されていなかった地域において規模の大きな地震が発生している。全国規模で整備された活断層の分布に関するデータベースは、空中写真による地形判読に基づいて、活断層を認定していることが多いことから、地表の痕跡（リニアメントなど）が不明瞭である場合などには、活断層が存在していても“見落とされる”可能性がある。
- 2000年以降の内陸地殻内地震を対象として、現地で詳細な調査が実施された結果、地表地震断層や活断層に関連する地下構造、過去の活動履歴などが確認されている。
- したがって、活断層の存在は、全国規模のデータベースの情報だけでなく、より綿密な空中写真判読、地表調査、物理探査、ボーリング調査などの現地調査に基づいて、確認する必要がある。



## 3.2 断層活動：影響範囲の考え方

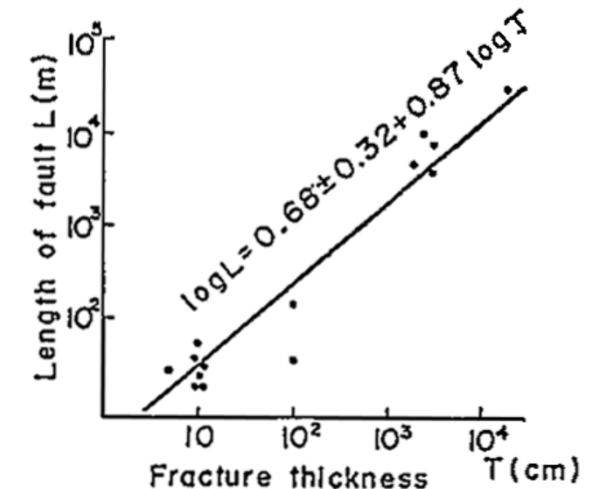
### B) 断層活動に伴い破砕される範囲(断層破砕帯)

#### 【第2次取りまとめの考え方】

断層活動による地質環境への影響は、主に活断層破砕帯とその周辺に限られる。その幅は、数mから最大でも数百m程度であり、また、断層活動に伴って、周辺岩盤中に変位が生じる可能性のある小断層などの分布範囲は、大きな活断層でも数km程度以内と考えられる(分冊1:2.3.3)。

#### 【その後の知見(破砕帯について)】

- 断層の延長が長く累積変位量が大きいほど、破砕幅も大きい。割れ目の形成および角礫化は、断層の近傍や分岐部の非常に狭い範囲(数m程度)に限定され(Shipton, et al., 2006)、カタクレサイト化はすべり面沿いに限定的である(Cloos, 2009)。
- 阿寺断層(延長60 km)、跡津川断層(延長69 km)、牛首断層(延長54 km)、山口ー出雲地震帯(全長約180 kmうち約70%が活断層あるいは推定活断層)など、規模の大きい活断層を対象として、断層活動に伴う物理的影響範囲などが調べられており、断層延長と影響範囲の関係は、従来の見積もり範囲と整合する(長友・吉田, 2009; 吉田ほか, 2009; Niwa et al., 2009, 2011; 金折・遠田, 2007, 大橋・小林, 2008など)
- 既往の断層の長さとの破砕帯の幅の関係(緒方・本荘, 1981)では、例えば活断層の長さが10kmに対し、破砕帯の幅は数十m程度と見積もられる。
- 断層のプロセスゾーンの幅Pと断層の長さLとの関係は一般的に $P \approx L/100$ の関係が成り立つ(Scholz, 2002, Sibson, 2003)。



断層の長さとの破砕帯の幅の関係(緒方・本荘, 1981)

#### 【NUMOの考え方】

- 断層の破砕帯幅については、累積変位量および長さとの間に、ある一定の関係があると考えられ、個別地区ごとの検討により得られたデータを総合的に判断することによって、活断層の直接的な影響範囲を推定する。
- 既往の報告事例から、破砕帯幅の保守的な目安として、長さの1/100程度が考えられる。



## 3.2 断層活動：影響範囲の考え方

### C) 断層の分岐などの活動範囲の拡大(活断層帯)

#### 【第2次取りまとめの考え方】

日本列島に分布する規模の大きな活断層は、地表付近でしばしば分岐したり、副次的な断層を伴うことから、活断層の場の変化を評価する際には、分岐断層や副断層を含めたいくつかの断層から構成される活断層帯として、その活動や変化を把握する必要がある。また、逆断層の場合、その活動が盆地側に向かって数km程度拡大する可能性がある(分冊1:2.3.3)。

#### 【その後の知見】

- ・ 活断層詳細デジタルマップでは、活断層をp.29に示す考え方でグループ化し、「活断層帯」としてその分布を示した(中田・今泉編, 2002)。
- ・ 高レベル放射性廃棄物処分地の選定に際して、地表付近での断層出現位置の移動等の現象や、地表地震断層による活断層近傍の変形の現象に対処するためには、近い距離にほぼ平行や雁行、あるいは断続的に存在する活断層には含まれる区間を「活断層帯」として評価することが重要(土木学会, 2006)。

#### 【NUMOの考え方】

- ・ 活断層の拡大・分岐、進展等については、活断層の分布、走向、センスなどの性状の類似性などの観点から、活断層帯としてその範囲を評価することが有効である。その際、断層の分類(正断層、逆断層、横ずれ断層)に応じた活動域の違いを評価に反映する。
- ・ なお、影響範囲については、個別地域毎に評価する。

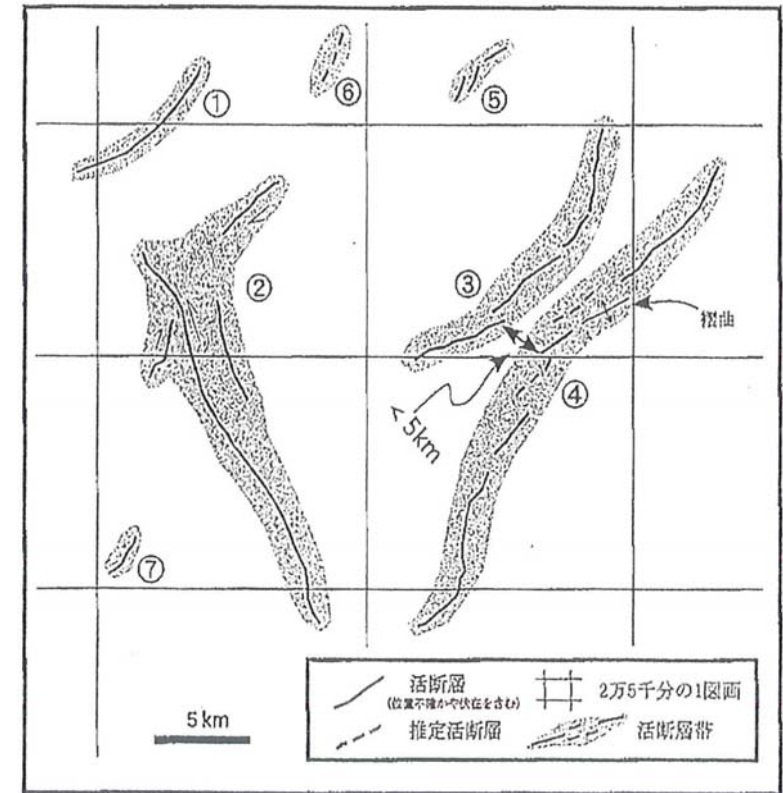
## 3.2 断層活動：影響範囲の考え方

### C) 活断層帯の検討例

活断層帯の評価では、下図も参考としつつ、個別の文献などで明らかになった断層も加えて活断層帯のグループ化作業を実施し、評価に利用することが考えられる。

#### 主要活断層帯のグループ化作業の基本

- A. 活断層が、長さ10 km以上であるもの（①～④、ただし、⑤～⑦のように10 km未満の活断層・推定活断層もグループ化作業を行い「活断層帯名称なし」とした）。
- B. 活断層線が5 km以上の間隔をもって独立しているもの（隣り合った線分との間隔が5 km以上であること。ただし、5 km未満であっても地形・地質構造のデータなどから分離可能と判断できる場合は分けた：③と④）。
- C. 走向・断層のタイプ・変位センスが同じもの（共役断層を含む：②）。
- D. 「活断層」の間に「推定活断層」や活褶曲、伏在断層などが連続的に配列している場合は、活断層帯としてまとめた（④）。



活断層帯のグループ化の考え方(中田・今泉編, 2002)

## 3.2 断層活動

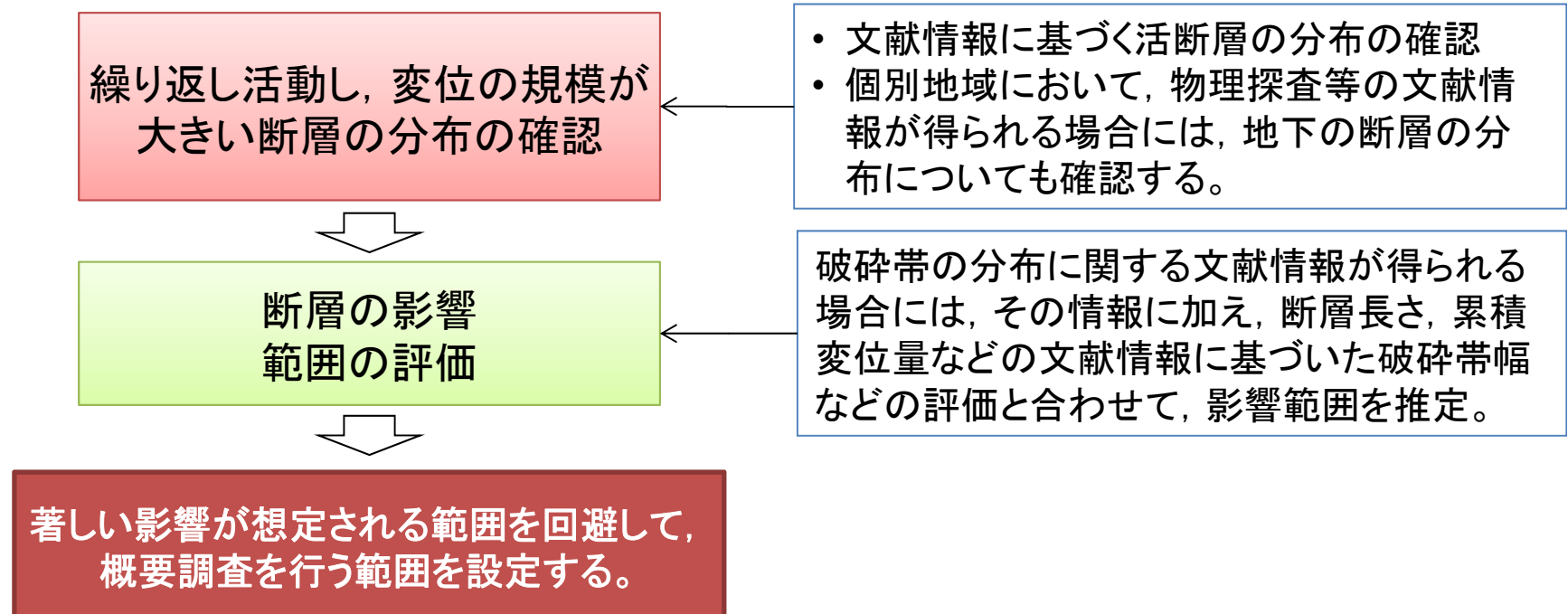
### 回避対象と影響範囲の考え方のまとめ

| 回避対象                      | 影響範囲の考え方                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A) 繰り返し活動し、変位の規模の大きな断層の分布 | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 過去数十万年間繰り返し活動している断層は、今後10万年程度は同様の活動を継続すると考えられる。</li><li>・ 全国規模で体系的にまとめられた活断層のデータベースに記載がある断層が分布する地域を回避することが必要である。</li><li>・ なお、<u>未成熟な断層や地表の痕跡が不明瞭な断層</u>は、上記の全国規模の文献などに記載されない可能性があることから、<u>個別地域ごとに調査</u>する必要がある。</li></ul> |
| B) 断層破碎帯                  | <p>【断層破碎帯】</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 個別地域ごとに調査するが、断層の長さに基づいて、推定することは可能。既往の報告事例から、破碎帯幅の保守的な目安として、<u>断層長さの1/100程度</u>が考えられる。</li></ul>                                                                                                             |
| C) 活断層帯                   | 断層の性状(変位方向など)の情報が必要なため、個別地域ごとに調査。                                                                                                                                                                                                                                  |

## 3.2 断層活動：調査・評価の進め方

### 文献調査の段階

個別の断層の情報は地域によっては十分でない可能性もあるため、文献調査の段階は、存在が明らかな断層のみを対象として回避する。明確でない場合には、概要調査の段階も含めて判断する。



## 3.2 断層活動：調査・評価の進め方

### 概要調査の段階（地表からの調査）

現地調査が可能となるため、高精度航空測量、地表地質調査やトレンチ調査などにより、地表の活動痕跡を確認するとともに、物理探査手法やボーリング調査などにより、地下に伏在する断層についても調査する。

#### 断層の分布の確認

##### ○断層の分布の確認方法

- ・ 地表の活動痕跡の確認（高精度航空測量，地表地質調査，トレンチ調査など）
- ・ 地下に伏在する断層・地表の断層の地下での連続性の評価（物理探査手法（反射法地震探査など），ボーリング調査など）

#### 断層の活動性の評価

##### ○断層の活動性の評価方法（ここでは、繰り返し活動し、変位の規模が大きいことの確認を主な対象とする。）\*

- ・ 上載地層法（第四紀地層の断層変位など）を適用した評価が基本となる。
- ・ 上載地層法の適用が困難な場合は、変動地形，破碎帯性状\*\*および活断層帯との関係などに基づいて総合的に評価する必要があるが，調査・評価技術に関して，信頼性向上の取り組みが必要である。
- ・ また，活動性が低く，累積変位量が小さい場合には，断層および破碎帯の性状に応じて，断層が分布する箇所に廃棄体を定置しないなどの工学的対策を検討する必要がある（処分場スケールでは回避しないことも考えられる）。
- ・ 調査により情報が十分得られないなど，活動性評価が困難な場合には，限られた情報に基づいて，判断する必要があると考えられる。その場合にも，出来る限りの情報収集に努めつつ，限られた情報に基づいて，工学的対策を検討し，さらに，影響が顕在化した場合を想定した評価を実施することなどが考えられる。そのため，断層・破碎帯の性状の理解に基づいた，現実的な評価方法の整備など，信頼性向上の取り組みが必要となると考えられる。

#### 断層の影響範囲の評価

##### ○断層の影響範囲の評価

- ・ 変動地形が認められる範囲，破碎帯の分布，断層関連褶曲の有無，微小地震の偏在する範囲，活断層帯のグルーピングなど。

著しい影響が想定される範囲を回避して，精密調査の範囲を設定する。

\* 上載地層法が適用できない場合を想定して，既存の断層を対象とした評価指標の開発や，事例調査の蓄積により，信頼性の向上の取り組みを進める。

\*\* 断層または破碎帯の性状：断層（破碎帯）の透水性や，亀裂の頻度，活断層との位置関係などが考えられる。



## 3.2 断層活動

### 信頼性向上に向けた取り組み

#### 【信頼性向上に向けた取り組み】

##### ○繰り返し活動し、変位の規模が大きな断層の分布の評価に関する取り組み

2000年以降に発生した規模の大きな地震に関連する活動痕跡が不明瞭な活断層の事例調査を進め、現地調査(地表調査・物理探査、ボーリング調査)などの調査技術を適用する際の課題などを分析し、調査計画に反映する。

##### ○断層の活動性の評価に関する取り組み

地質断層の再活動性に関する事例調査(梅田ほか、2010など)を蓄積し、活動性評価に反映するとともに、上載法の適用が困難な断層の活動性の評価方法(例えば、断層内の鉱物の生成年代測定技術など)の整備に継続的に取り組む。

##### ○断層の影響範囲の評価に関する取り組み

個別の断層の影響範囲については、現地調査に基づいて評価することが基本となる。そのため、既存の活断層の破砕帯の分布などの事例調査を蓄積し、その成果を調査技術や影響範囲の評価に反映することが必要である。



### 3.3 隆起・侵食作用

#### 著しい影響要因となる天然現象への対応の考え方

(第4回資料の抜粋)

##### ○著しい影響を与える事象

###### 【閉じ込め機能の喪失につながる要因】

(閉じ込め機能の喪失につながる要因はないと考えられる)

###### 【物理的隔離機能の喪失につながる要因】

著しい隆起・侵食作用に伴う処分場の地表への著しい接近

##### ○サイト選定における回避の考え方

###### 【回避対象】

・隆起速度が著しく大きな地域, 主として著しい隆起速度は主として褶曲山脈と逆断層地塊からなる山地。

###### 【回避の考え方】

- ・隆起・侵食作用による隔離機能の喪失をさけるために, 隆起速度が著しく大きな地域を回避する。
- ・なお, 沿岸部を対象とする場合には海水準変動(海水面低下)の際の処分場の設置位置・深度, 侵食量も合わせて考慮する。

影響範囲の考え方も含め,  
詳細に説明

### 3.3 隆起・侵食作用：影響範囲の考え方

#### 【第2次取りまとめの考え方】

・隆起・沈降運動は地域ごとに一定の傾向と速度で数十万年間継続している場合が多い。十万年あたり100 mを越える大きな隆起速度は、主として褶曲断層山脈と逆断層地塊からなる山地や地震隆起をする海岸で認められ、最大で十万年あたり数百mに達する地域もごく一部で存在する。一方、ほかの多くの地域の隆起・沈降運動の速さは、十万年あたり50 m程度かそれ未満であることが多い。【分冊1：2.5.3項「まとめ」】

#### 【その後の知見】

- ・侵食は面的侵食と線的侵食（下刻：下刻は隆起量に依存する）に大別されるが、地表接近という観点からは、一般に後者の影響の方が大きい（土木学会，2006）。
- ・予測侵食量が埋設深度以上になり、廃棄体が地表に露出する可能性がある地域は避ける必要がある（産総研，2007）。

#### 【NUMOの考え方】

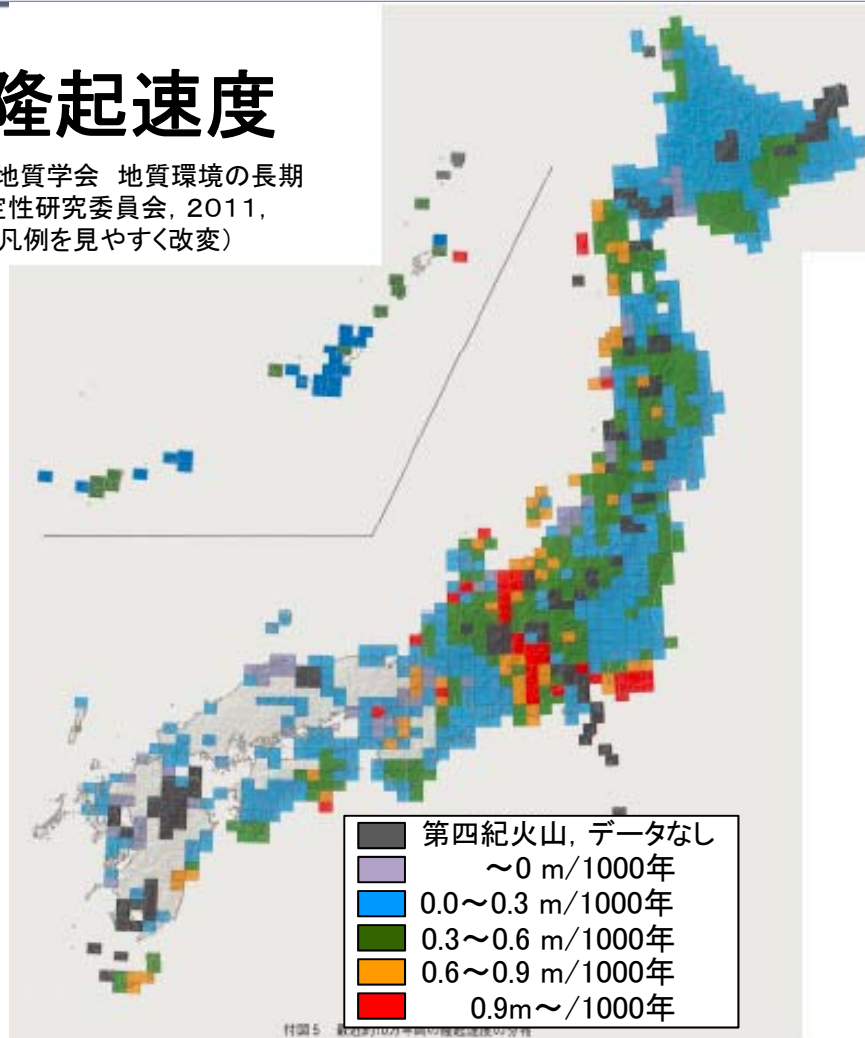
- ・日本における隆起・沈降は、主にプレート運動に起因する近く応力場に対応して、地域ごとに一定の傾向に沿って継続しており、今後も同様に継続すると考えられる。
- ・隆起量については、過去数十万年前から現在、および将来の変動傾向を段丘の地形面等から把握することができる。
- ・一方、侵食については、隆起と異なり、長期の変動傾向を把握することは困難である。一般に、隆起によって生じる侵食量は、隆起量より小さいと考えられるが、線的侵食（下刻）により局所的に侵食が進む可能性もある。
- ・また、沿岸部では、海水面の低下による侵食についても合わせて検討する必要がある。
- ・隆起は、処分場スケールよりも広い範囲で発生すると考えられることから、著しく隆起速度が速い場合には、対象地域一帯が速い可能性がある。

### 3.3 隆起・侵食作用

#### わが国の平均隆起速度および平均侵食速度の分布例

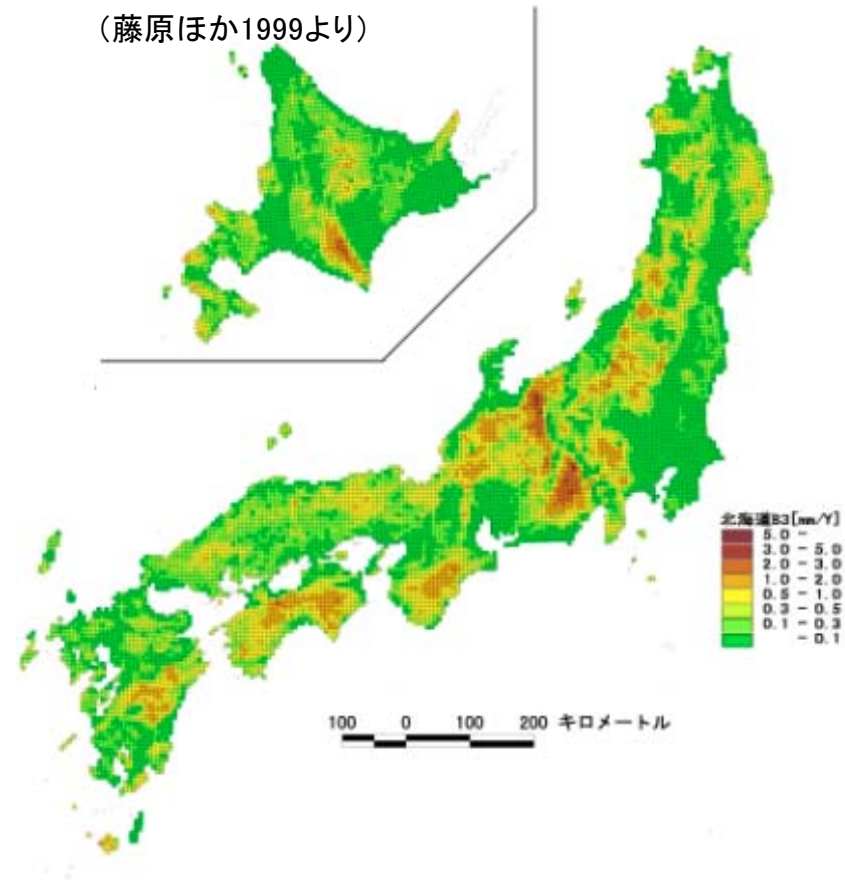
##### 隆起速度

(日本地質学会 地質環境の長期  
安定性研究委員会, 2011,  
凡例を見やすく改変)



##### 侵食速度

(藤原ほか1999より)



- 例えば, 10万年あたり300m (3m/1000年)を超える隆起量の報告は, 丹沢山地の3-4m/1000年(250万年間の平均; 貝塚, 1987), 房総半島の4m/1000年, 三浦半島の3.3m/1000年などに限られる(第2次取りまとめ参照)。侵食速度は, 隆起速度が大きい山地で著しい傾向がある。

### 3.3 隆起・侵食作用：調査・評価の進め方

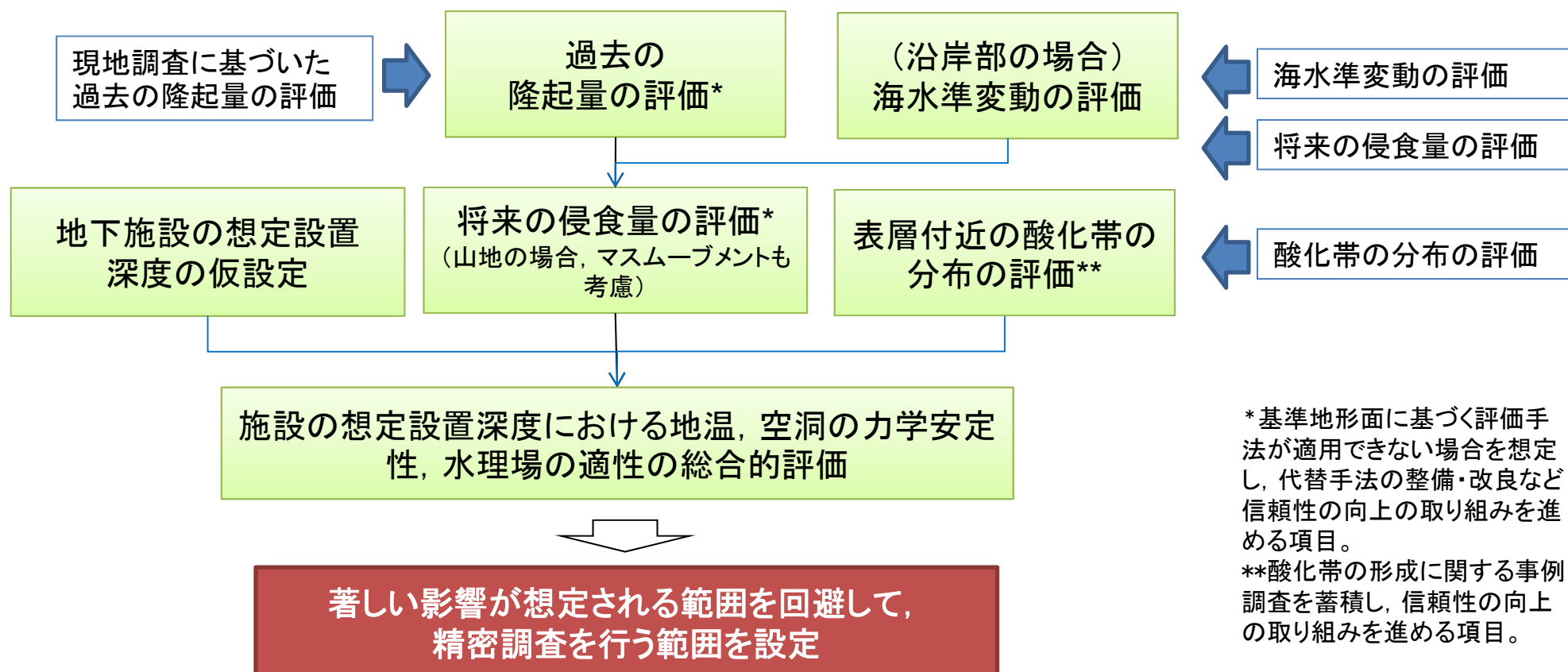
#### 文献調査の段階

---

- 約12.5万年前にできた地形面は全国的に良く残っており、これらの地形面をもとにおよそ10万年間の隆起量が比較的精度よく求められる。
- 侵食量は最も厳しい場合を想定して、隆起量と同じ量が侵食されるものと仮定することにより評価する。
- 以上に基づいて、過去数十万年程度の地質学的な記録をもとに、過去十万年間の隆起の総量を隆起・侵食に関する評価の目安とする。
- 処分施設の地表近くへの著しい接近については、処分施設の設置深度などと合わせて検討すべきものであるが、地層処分は地下300m以上と定められていることから、文献調査の段階においては、過去十万年間の隆起量が300mを超えていることが明らかな地域を含めないように、概要調査を行う範囲を設定する。

### 3.3 隆起・侵食作用：調査・評価の進め方 概要調査の段階（地表からの調査）

概要調査の段階は、隆起量や、海水準変動の評価に基づいて、将来の侵食量を評価し、処分施設の設置の実現可能性も加味して、隆起・侵食作用の適格性を判断する。



### 3.3 隆起・侵食作用

#### 信頼性向上に向けた取り組み

#### 【信頼性向上に向けた取り組み】

##### ○隆起量・侵食量の評価に関する取り組み

- ・ 隆起量評価は、段丘面などの過去の基準となる地形面の変動に基づいた外挿が基本となる。基準となる地形面が得られない場合には、地形学的な手法や、侵食堆積物の年代測定などに基づいて、隆起量あるいは侵食量を推定するなどの技術を適用する可能性があり、これらの技術の適用性の確認が必要である。
- ・ 海水準変動に伴う、侵食作用あるいは堆積作用については、地表面の地形変化の影響要因となるため、地下深部の水理場や化学場などへの影響について、隆起量なども考え合わせて、変化に対する感度を個別の地域で確認する必要がある。

##### ○表層付近の酸化帯分布の評価に関する取り組み

国内外の地下研究所などにおける事例調査に基づいて、表層付近の酸化帯の形成メカニズムの理解などの取り組みを進め、それらの成果を調査計画や評価に反映する必要がある。





## 4. まとめ

---

- サイト選定は、文献調査，概要調査，精密調査の3段階で進める。
- 各段階における主体となる調査方法は以下の通り。
  - 文献調査の段階：既存文献に基づく調査
  - 概要調査の段階：地表調査，物理探査，ボーリング等の地表からの調査
  - 精密調査の段階：地下調査施設からの調査
- また，概略検討を含め，各段階で処分施設等の設計，安全性の評価を実施。
- 回避する天然現象に関する考え方は次の通り。
  - 文献調査の段階：天然現象の影響が明らかな地域を回避。
  - 概要調査の段階：回避を確実なものとする。
  - 精密調査の段階：追加情報があった場合に詳細調査を実施
- 回避するための技術は基本的に整備されていると認識。ただし，信頼性向上の観点からは，次ページに例示するような継続的な取り組みが必要である。

#### 4. まとめ：天然現象の評価に関する信頼性向上の取り組みの例

以下の取り組みを代表，今後も信頼性を向上させるために，地質現象に関する事例調査に基づいた科学的知見の拡充や調査・評価技術の改良・整備に取り組む。

|         | 反映先                       | 信頼性向上の取り組みの例                                                                                                             | 反映時期     |
|---------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 火山・火成活動 | 火山の分布および地熱活動の評価           | <ul style="list-style-type: none"> <li>・背弧域の火山活動，単成火山などの事例調査</li> <li>・マグマの新規発生の可能性を評価するための地殻下部への熱源移動に関する評価技術</li> </ul> | 概要調査段階以降 |
|         | 深部流体などの非火山性熱水の評価          | <ul style="list-style-type: none"> <li>・非火山性熱水，特に深部流体に関する事例調査の蓄積</li> </ul>                                              | 概要調査段階以降 |
| 断層活動    | 繰り返し活動し，変位の規模が大きな断層の分布の評価 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・未成熟な活断層の調査手法などの事例調査の蓄積</li> </ul>                                                | 概要調査段階以降 |
|         | 活動性の評価                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・上載法の適用が困難な断層の活動性の評価方法（断層ガウジの組織・性状の評価，破砕帯内の充填鉱物生成年代測定など）</li> </ul>               | 概要調査段階以降 |
|         | 断層の影響範囲の評価                | <ul style="list-style-type: none"> <li>・既存の活断層の破砕帯の分布などの事例調査の蓄積</li> </ul>                                               | 概要調査段階以降 |
| 隆起・侵食   | 隆起量・侵食量の評価                | <ul style="list-style-type: none"> <li>・地形学的な手法や，侵食堆積物の年代測定などに基づく，隆起量あるいは侵食量の測定技術</li> </ul>                             | 概要調査段階以降 |
|         | 表層付近の酸化帯分布の評価             | <ul style="list-style-type: none"> <li>・表層付近の酸化帯にかかわる研究調査の蓄積</li> </ul>                                                  | 概要調査段階以降 |

## 参考文献(1／4)

### ■3.1 火山・火成活動

- ・ 石丸恒存, 角田地文(2002): 研究報告 日本列島における大規模火砕流の特徴と熱的影響解析. サイクル機構技報, 14, 161-170.
- ・ 産業技術総合研究所(2007): 第5回深部地質環境研究センター研究発表会資料集.
- ・ 吉田鎮男, 高橋 晋(2004): 日本近海の中新世以降のプレート運動史. 月刊地球, 26, 349-355.
- ・ 日本地質学会 地質環境の長期安定性研究委員会(編)(2011): 日本列島と地質環境の長期安定性. 地質リーフレット4.
- ・ 山元孝広(2011): 地質学から見た高レベル放射性廃棄物処分の安全評価—事象のシナリオに基づく長期予測の方法論. シンセオロジー, 4, 200-208.
- ・ Tamura, Y., Tatsumi, Y., Zhao, D., Kido, Y., Shukuno, H.(2001): Distribution of Quaternary volcanoes in the Northeast Japan arc: geologic and geophysical evidence of hot fingers in the mantle wedge. Proc. Japan Acad., Ser. B, 77, 135-139.
- ・ Yamamoto, T.(2007): A rhyolite to dacite sequence of volcanism directly from the heated lower crust: Late Pleistocene to Holocene Numazawa volcano, NE Japan. J. Volcanol. Geotherm. Res., 167, 119-13.
- ・ Kimura, J., Kunikiyo, T., Osaka, I., Nagao, T., Yamauchi, S., Kakubuchi, S., Okada, S., Fujibayashi, N., Okada, R., Murakami, H., Kusano, T., Umeda, K., Hayashi, S., Ishimaru, T., Ninomiya, A., Tanase, A.(2003): Late Cenozoic volcanic activity in the Chugoku area, southwest Japan arc during back-arc basin opening and reinitiation of subduction. Island Arc, 12, 22-45.
- ・ 矢野雄策, 田中明子, 高橋正明, 大久保泰邦, 笹田政克, 梅田浩司, 中司昇(1999): 日本列島地温勾配図(1:3,000,000), 地質調査所.
- ・ 日本地質学会 地質環境の長期安定性研究委員会(編)(2011): 日本列島と地質環境の長期安定性. 地質リーフレット4.
- ・ 産業技術総合研究所(2013): 200万分の1地質図「日本の火山第3版」.
- ・ 高橋正樹, Martin, A.J.(2004): 今後10万年間どこに火山はできるか?—マグマ供給システムの長期安定性をめぐって. 月刊地球, 26, 386-394.
- ・ 八幡正弘(2002): 北海道における後期新生代の鉱化作用および熱水活動の時空変遷. 北海道立地質研究所報告, 73, 151-194.
- ・ 浅森浩一, 丹羽正和, 花室孝広, 山田国見, 草野友宏, 幕内 歩, 高取亮一, 國分(齋藤)陽子, 松原章浩, 石丸恒存, 梅田浩司(2012): 地質環境の長期安定性に関する研究 年度報告書(平成23年度). JAEA-Research 2012-024.
- ・ 小松 亮, 梅田浩司(1999)日本列島における温泉・熱水変質帯について. サイクル機構技報, 4, 121-128.
- ・ 川村賢二(2009): 氷床コアから探る第四紀後期の地球システム変動. 第四紀研究, 48, 109-129.
- ・ 産業技術総合研究所(2010): 平成 21 年度核燃料サイクル施設安全対策技術調査(放射性廃棄物処分安全技術調査等のうち地層処分に係る地質情報データの整備)事業報告書.
- ・ 田中明子, 山野 誠, 矢野雄策, 笹田政克(2004): 日本列島及びその周辺地域の地温勾配及び地殻熱流量データベース. 数値地質図P-5, 産業技術総合研究所 地質調査総合センター.
- ・ 産業技術総合研究所(2012): 平成23年度核燃料サイクル施設安全対策技術調査(放射性廃棄物処分安全技術調査等のうち地層処分に係る地質評価手法等の整備). 平成23年度事業報告書.

## 参考文献(2/4)

### ■3.2 断層活動

- 当麻純一, 佐藤清隆, 矢島 浩, 東 貞成, 芝 良昭, 佐藤浩章, 栃木 均, 河井 正, 金澤健司, 岡田哲実, 豊田幸宏, 宮腰勝義, 上田圭一, 幡谷竜太, 阿部信太郎, 濱田崇臣, 青柳恭平(2000):平成12年鳥取県西部地震調査速報, 電力中央研究所報告, U00019.
- 井上大栄, 宮腰勝義, 上田圭一, 宮脇明子, 松浦一樹(2002):2000年鳥取県西部地震震源域の活断層調査. 地震, 54, 557-573.
- 高田圭太, 中田 高, 野原 壯, 原口 強, 池田安隆, 伊藤 潔, 今泉俊文, 大槻憲四郎, 鷺谷 威, 堤 浩之(2003):震源断層となりうる活断層とリニアメントの検討ー中国地方を事例として, 活断層研究, 23, 77-91.
- 草野友宏, 浅森浩一, 黒澤英樹, 國分(齋藤)陽子, 谷川晋一, 根木健之, 花室孝広, 安江健一, 山崎誠子, 山田国見, 石丸恒存, 梅田浩司(2010):「地質環境の長期安定性に関する研究」第1期中期計画期間(平成17年度～平成21年度)報告書(H22レポート). JAEA-Research 2010-044.
- 産業技術総合研究所(2005):新潟県中越地震震源域の地質構造. 地震予知連絡会会報, 73, 403-405.
- 加藤直子, 越後智雄, 佐藤比呂志(2006):浅層反射法地震探査から見た2004年新潟県中越地震の断層モデル. 月刊地球号外, No.53, 103-109.
- Lin, A., Maruyama, T., Kobayashi, K.(2007):Tectonic implications of damage zone-related fault-fracture networks revealed in drill core through the Nojima fault, Japan. Tectonophysics, 443, 161-173.
- 岩淵 洋, 西川 公, 田賀 傑, 宮寄 進(1998):福岡湾付近の断層分布. 水路部技報, 16, 95-99.
- 岡村 眞, 松岡裕美, 中島徹也, 中田 高, 千田 昇, 平田和彦, 島崎邦彦(2009):博多湾における警固断層の活動履歴, 地震, 61, 175-190.
- 佐藤比呂志, 岩崎貴哉, 金沢敏彦, 宮崎真一, 加藤直子, 酒井慎一, 山田知朗, 宮内崇裕, 伊藤谷生, 平田 直(2007):反射法地震探査・余震観測・地殻変動から見た2007年能登半島地震の特徴について. 東京大学地震研究所彙報, 82, 369-379. 佐藤 務, 坂井隆太郎, 大沢英昭, 古屋和夫, 児玉敏雄(1999):淡路島で地震後異常に湧出した地下水の酸素, 水素同位体比. 日本水文科学会誌, 29, 13-24.
- Yoshimura, R., Oshiman, N., Uyeshima, M., Ogawa, Y., Mishina, M., Toh, H., Sakanaka, S., Ichigara, H., Ogawa, T., Miura, T., Koyama, S., Fujita, Y., Nishimura, K., Takagi, Y., Imai, M., Honda, R., Yabe, S., Nagaoka, S., Tada, M., Mogi, T.(2008):Magnetotelluric observations around the focal region of the 2007 Noto Hanto Earthquake (Mj 6.9), central Japan. Earth Planet. Space, 60, 117-122.

## 参考文献(3/4)

### ■ 3.2 断層活動(つづき)

- ・ 草野友宏, 浅森浩一, 黒澤英樹, 國分(齋藤)陽子, 谷川晋一, 根木健之, 花室孝広, 安江健一, 山崎誠子, 山田国見, 石丸恒存, 梅田浩司(2010):「地質環境の長期安定性に関する研究」第1期中期計画期間(平成17年度～平成21年度)報告書(H22レポート). JAEA-Research 2010-044.
- ・ 東京電力(2007):新潟県中越沖地震に対する柏崎刈羽原子力発電所の耐震安全性の検討状況について. 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会 地震・津波, 地質・地盤合同ワーキンググループ(第2回)配付資料, 合同W2-1-2, 平成19年12月5日.
- ・ 東京電力(2008):東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所敷地周辺海域の地質・地質構造. 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会 地震・津波, 地質・地盤合同ワーキンググループ(第6回)配付資料, 合同W6-1, 平成20年4月18日.
- ・ 原子力安全・保安院(2008):新潟県中越沖における海上音波探査について(中間報告). 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会 地震・津波, 地質・地盤合同ワーキンググループ(第12回)配付資料, 合同W12-1, 平成20年6月27日.
- ・ 産業技術総合研究所(2009a):地質学的歪みと測地学的歪みの集中域と地震との関係. 地震予知連絡会会報, 81, 98.
- ・ 産業技術総合研究所(2009b):岩手・宮城内陸地震震源域の重力構造. 地震予知連絡会会報, 81, 137-138.
- ・ 鈴木康弘, 渡辺満久, 中田 高, 小岩直人, 杉戸信彦, 熊原康博, 廣内大助, 澤 祥, 中村優太, 丸島直史, 島崎邦彦(2008):2008年岩手宮城内陸地震に関わる活断層とその意義——関市厳美付近の調査速報. 活断層研究, No.29, 25-34.
- ・ 東京大学地震研究所, 地球科学総合研究所, 岩手大学工学部(2008a):2008年岩手宮城内陸地震震源域北部の稠密アレイ観測による余震分布と地殻構造. 第191回地震調査委員会資料, 1-4.
- ・ 東京大学地震研究所, 東北大学大学院理学研究科, 岩手大学工学部(2008b):2008年岩手宮城内陸地震震源域盤井側沿いの反射法地震探査結果. 第191回地震調査委員会資料, 5-7.
- ・ Shipton, Z.K., Soden, A.M., Kirkpatrick, J.D., Bright, A.M., Lunn, R.J.(2006):How thick is a fault? Fault displacement-thickness scaling revisited. Am. Geophys. Union Monogr., 170, 193-198.
- ・ Chapman, N., Apted, M., Beavan, J., Berryman, K., Cloos, M., Connor, C., Connor, L., Ellis, S., Jaquet, O., Kiyosugi, K., Litchfield, N., Mhony, S., Smith, W., Sparks, S., Stirling, M., Villamor, P., Wallace, L., Goto, J., Miwa, T., Tsuchi, H., Kitayama, K.(2009):Development of Methodologies for the Identification of Volcanic and Tectonic Hazards to Potential HLW Repository Sites in Japan, Summary Report. NUMO-TR-09-03.
- ・ 長友晃夫, 吉田英一(2009):断層と割れ目系およびその充填鉱物を用いた阿寺断層の地質的履歴解析. 地質学雑誌, 115, 512-527.
- ・ 吉田英一, 大嶋章浩, 吉村久美子, 長友晃夫, 西本昌司(2009):断層周辺に発達する割れ目形態とその特徴——阿寺断層における‘ダメージゾーン’解析の試み. 応用地質, 50, 16-28.
- ・ Niwa, M., Mizuochi, Y., Tanase, A.(2009):Reconstructing the evolution of fault zone architecture: field-based study of the core region of the Atera Fault, central Japan. Island Arc, 18, 577-598.
- ・ Niwa, M., Kurosawa, H., Ishimaru, T.(2011):Spatial distribution and characteristics of fracture zones near a long-lived active fault: a field-based study for understanding changes in underground environment caused by long-term fault activities. Eng. Geol., 119, 31-50.



## 参考文献(4／4)

### ■ 3.2 断層活動(つづき)

- 金折裕司, 遠田晋次(2007): 中国地方西部に認められるプレート内山ロー出雲地震帯の成因と地震活動. 自然災害科学, 25, 507-523.
- 大橋聖和, 小林健太(2008): 中部地方北部, 牛首断層中央部における断層幾何学と過去の運動像. 地質学雑誌, 114, 16-30.
- 緒方正徳・本荘静光(1981): 電力施設の耐震施設における断層活動性の評価, 応用地質, 22, pp.67-87.
- Scholz, C.H.(2002): The Mechanics of Earthquakes and Faulting, 2nd Edition. Cambridge Univ. Press.
- Sibson, R.H.(2003): Thickness of the seismic slip zone. Bull. Seismol. Soc. Am., 93, 1169-1178.
- 土木学会 岩盤力学委員会 岩盤の熱環境に関する研究小委員会(編)(2006): 熱環境下の地下岩盤施設の開発をめざして—熱物性と解析.
- 藤原治, 三箇智二, 大森博雄(1999): 日本列島における侵食速度の分布. サイクル機構技報, 85-93.
- 貝塚爽平(1987): 関東の第四紀地殻変動. 地学雑誌, 96(4), 223-240.
- 中田 高, 今泉俊文(編)(2002): 「活断層詳細デジタルマップ」付図200万分の1日本列島活断層図. 東京大学出版会.
- 日本地質学会 地質環境の長期安定性研究委員会(編)(2011): 日本列島と地質環境の長期安定性. 地質リーフレット4.
- 産業技術総合研究所(2007): 第5回深部地質環境研究センター研究発表会資料集.
- 梅田浩司, 安江健一, 浅森浩一(2010): 高レベル放射性廃棄物の地層処分における断層研究の現状と今後の展望. 月刊地球, 32, 52-63.