

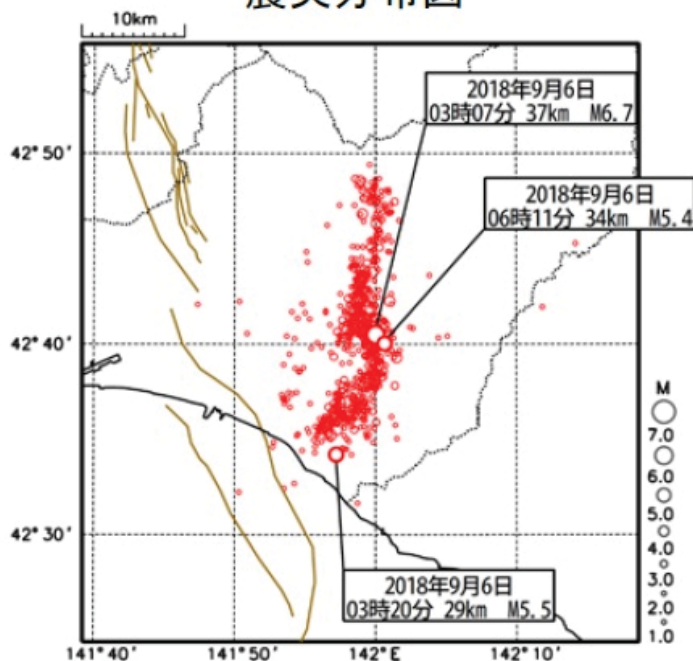
胆振東部地震の特徴

谷岡勇市郎

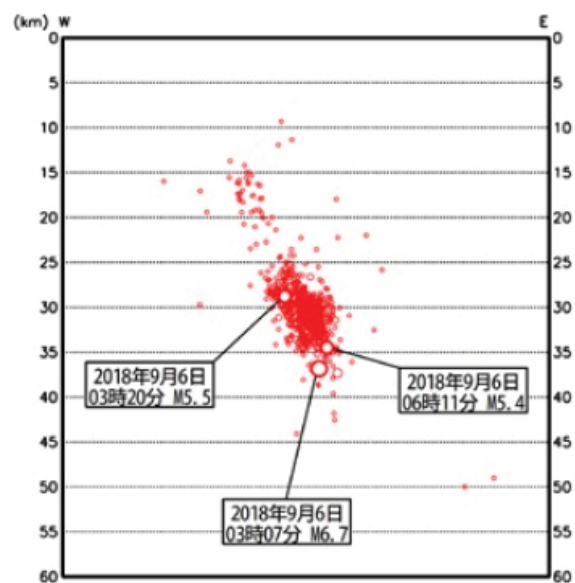
(北海道大学理学研究院地震火山研究観測センター)

2018年胆振東部地震(M6.7)

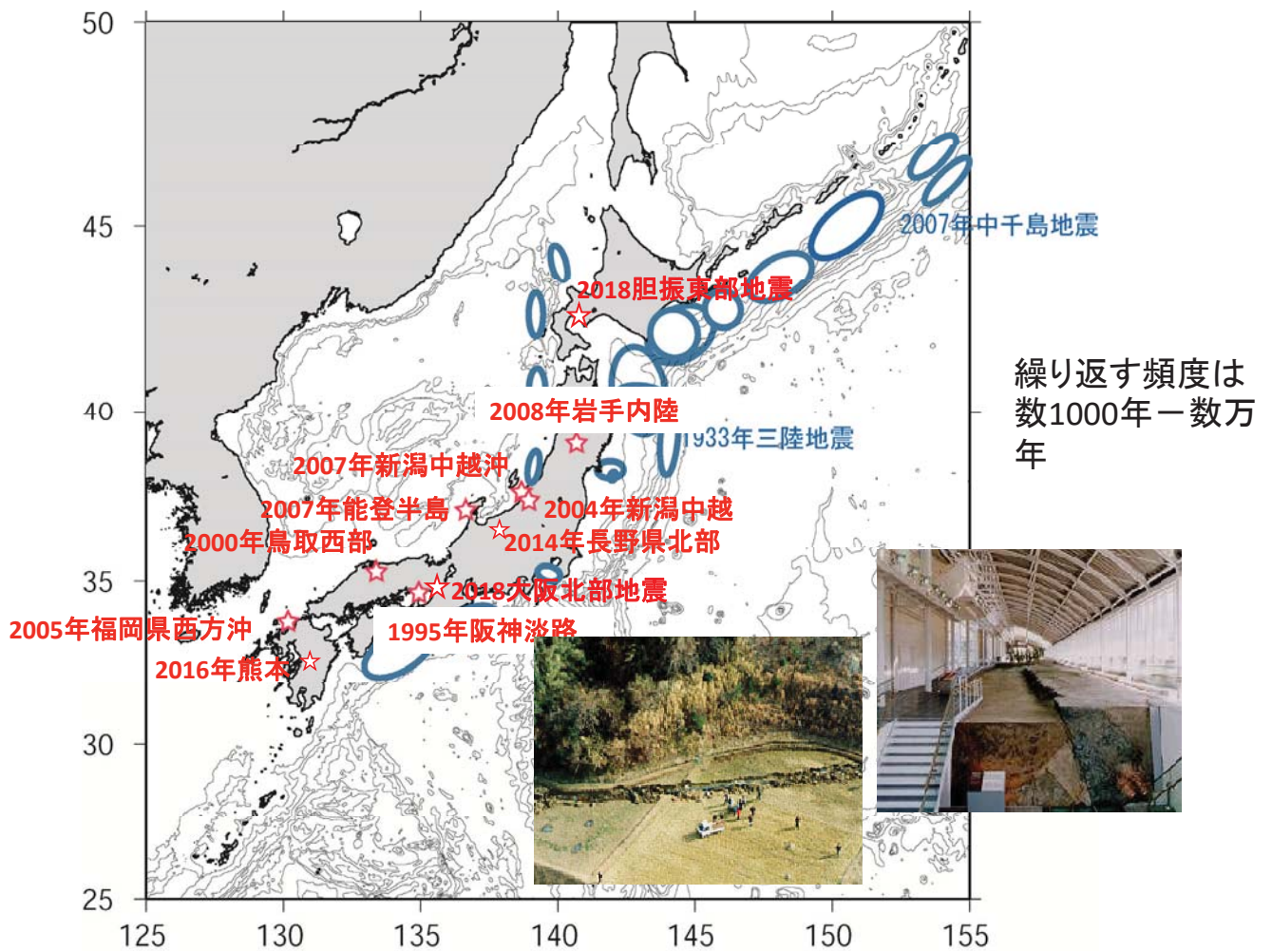
三次元速度構造を用いたDD法による震源再計算結果
震央分布図



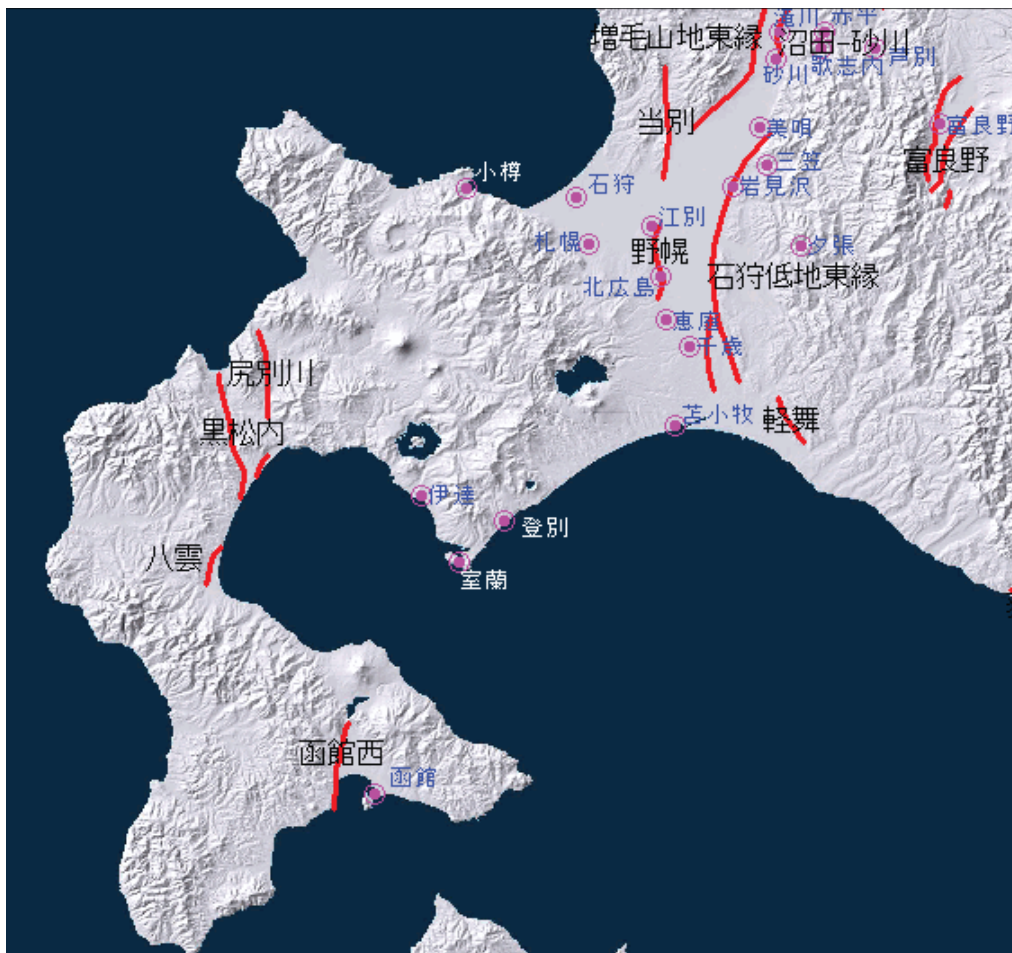
左図の断面図(東西投影)



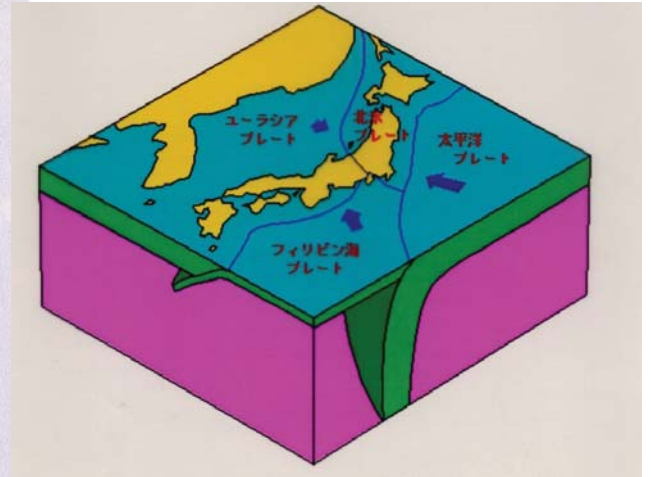
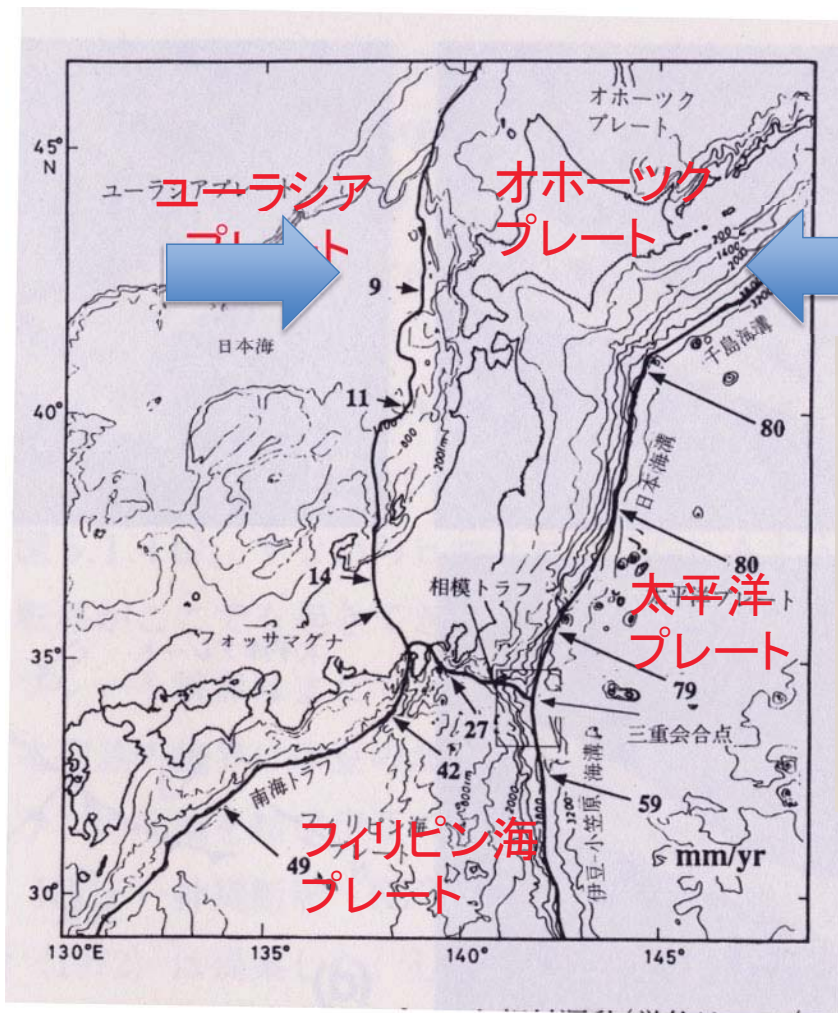
最近発生した内陸大地震



内陸の活断層

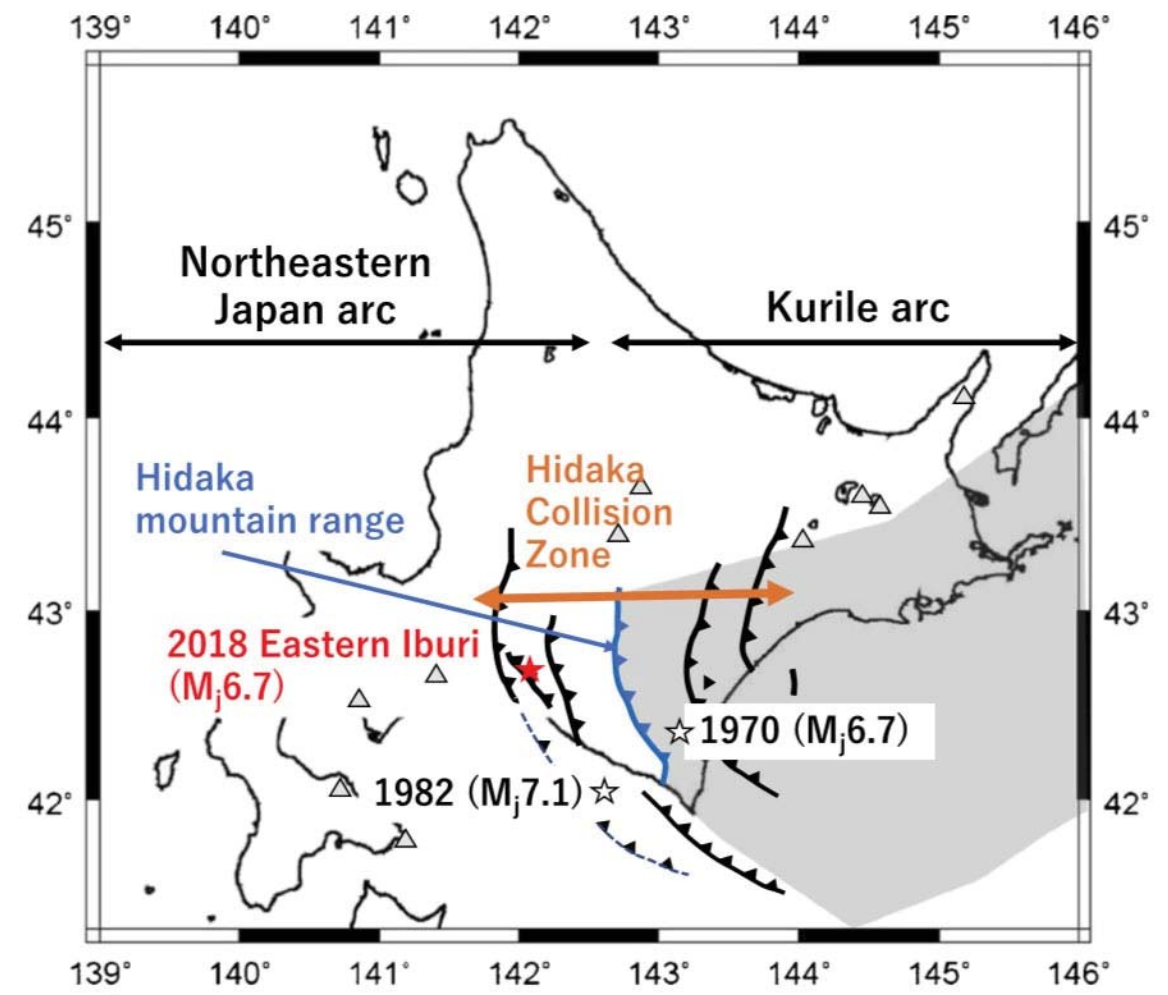


日本周辺のプレート



北海道周辺の地体分布とテクトニクス

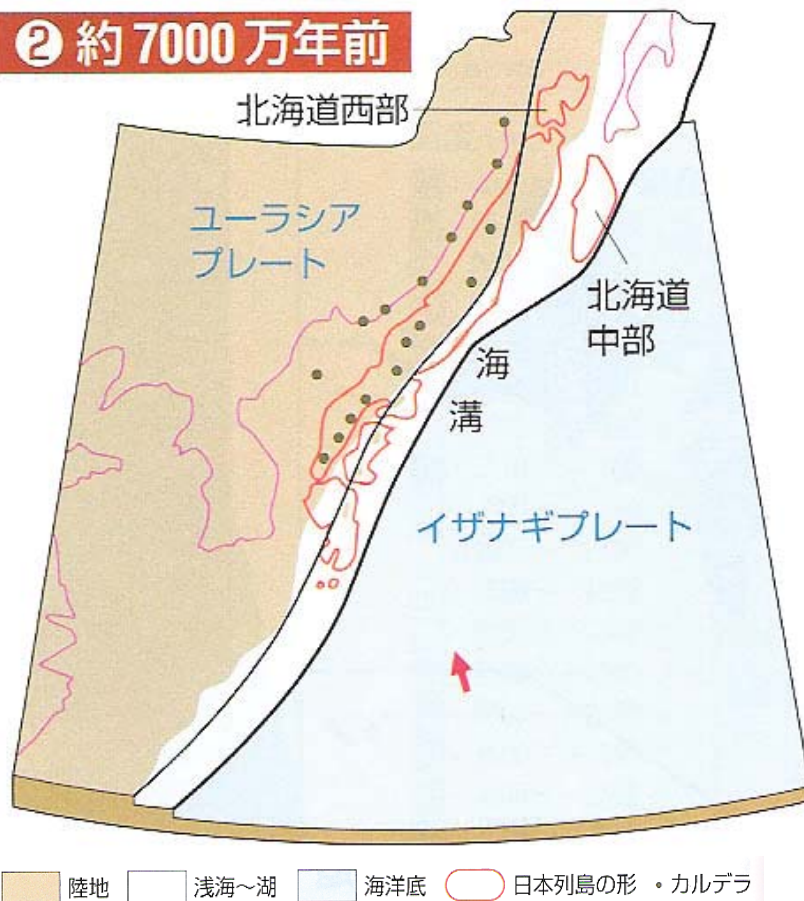




白亜紀後期

大陸東縁の時代

② 約7000万年前

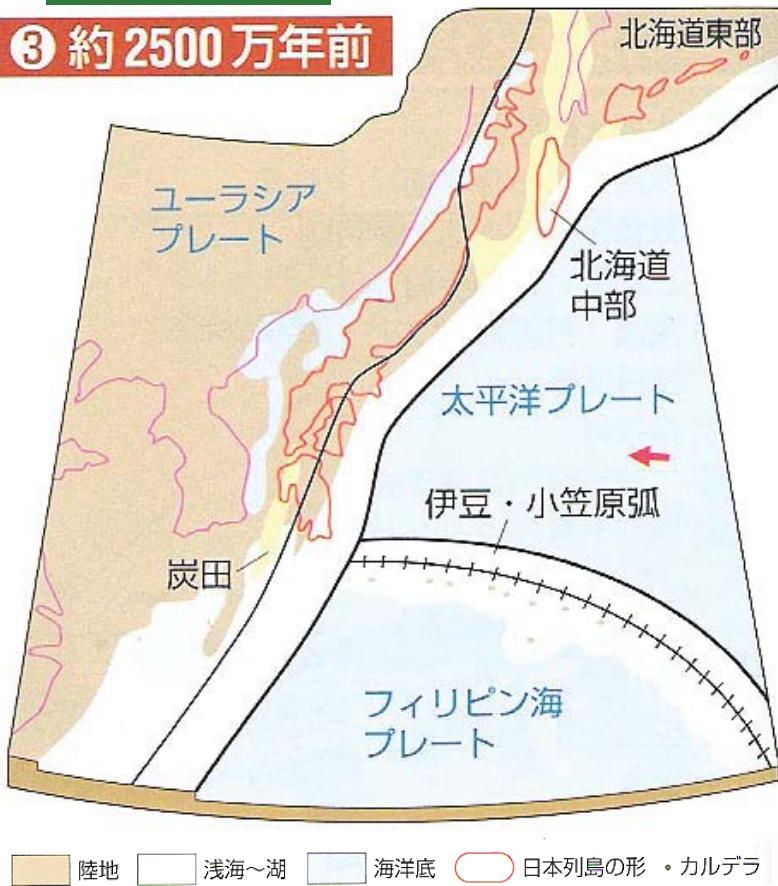


イザナギプレートに乗って来た外帯が内帯に接合

日本海はまだない

古第三紀漸新世

③ 約 2500 万年前

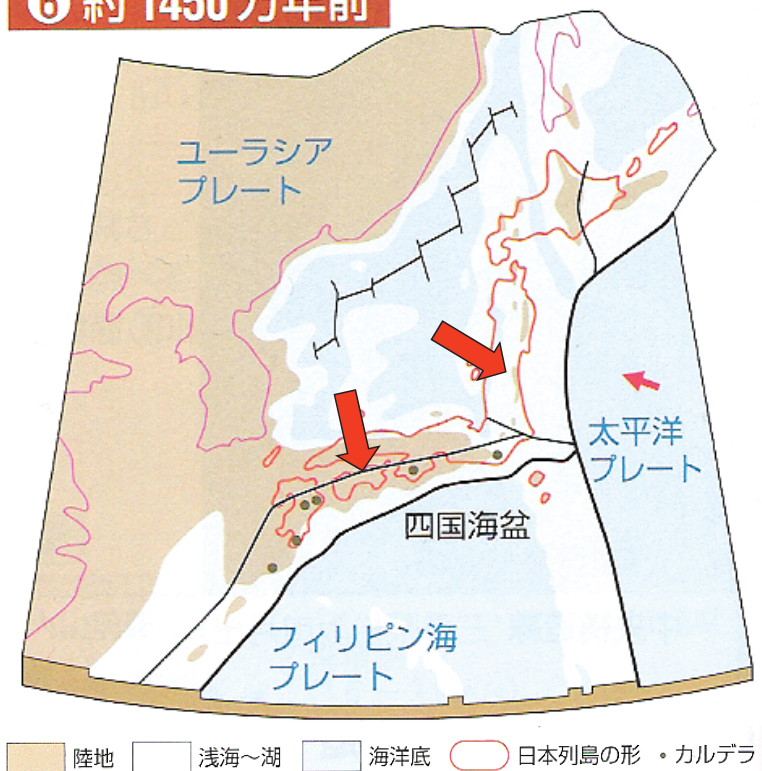


大陸東縁の時代

大陸のへりが割れ始め、これが日本海の元となった

新第三紀中新世

⑥ 約 1450 万年前



島弧形成の時代

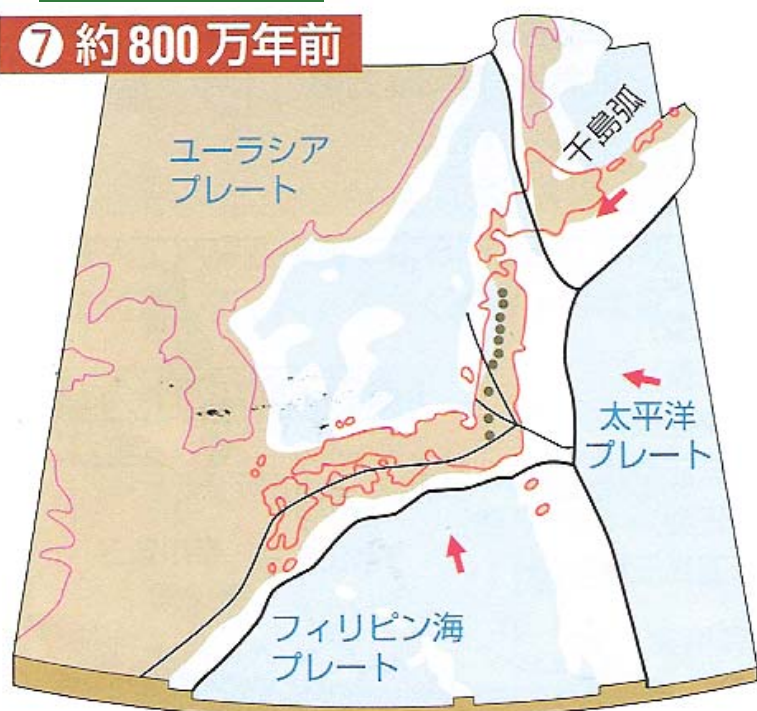
日本海が拡大した。オホーツク海も拡大し、千島弧ができた

ようやく北海道の姿が見えてきた

新第三紀中新世

弧状列島の成立と島弧変動

⑦ 約800万年前



太平洋プレートの沈み込みに伴って、東北日本が隆起し始め、カルデラの活動が盛んになった

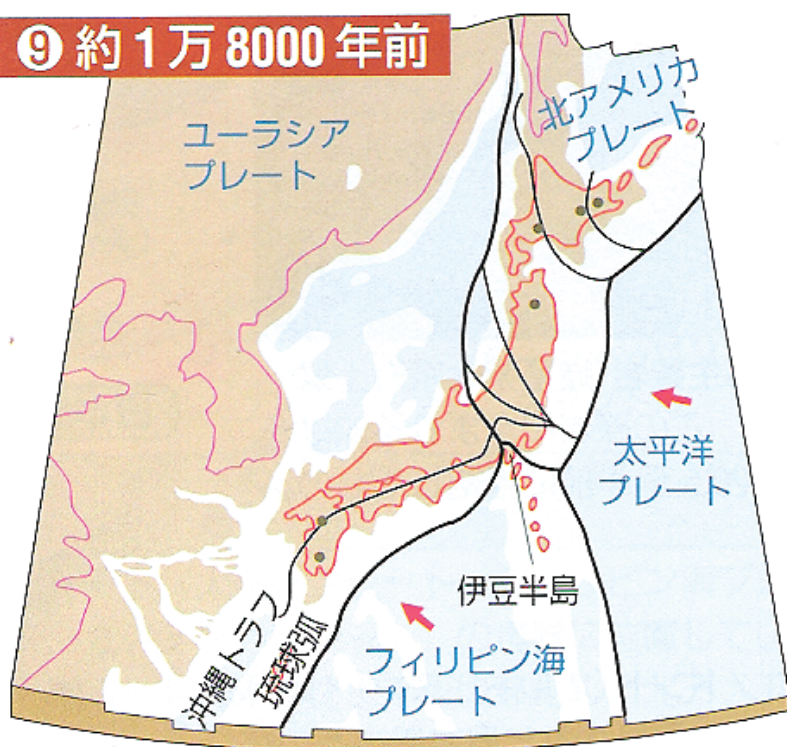
千島弧の前部が北海道に衝突し日高山脈を隆起させた

陸地 浅海～湖 海洋底 日本列島の形・カルデラ

新第三紀鮮新世～第四紀更新世

現在の日本列島

⑨ 約1万8000年前

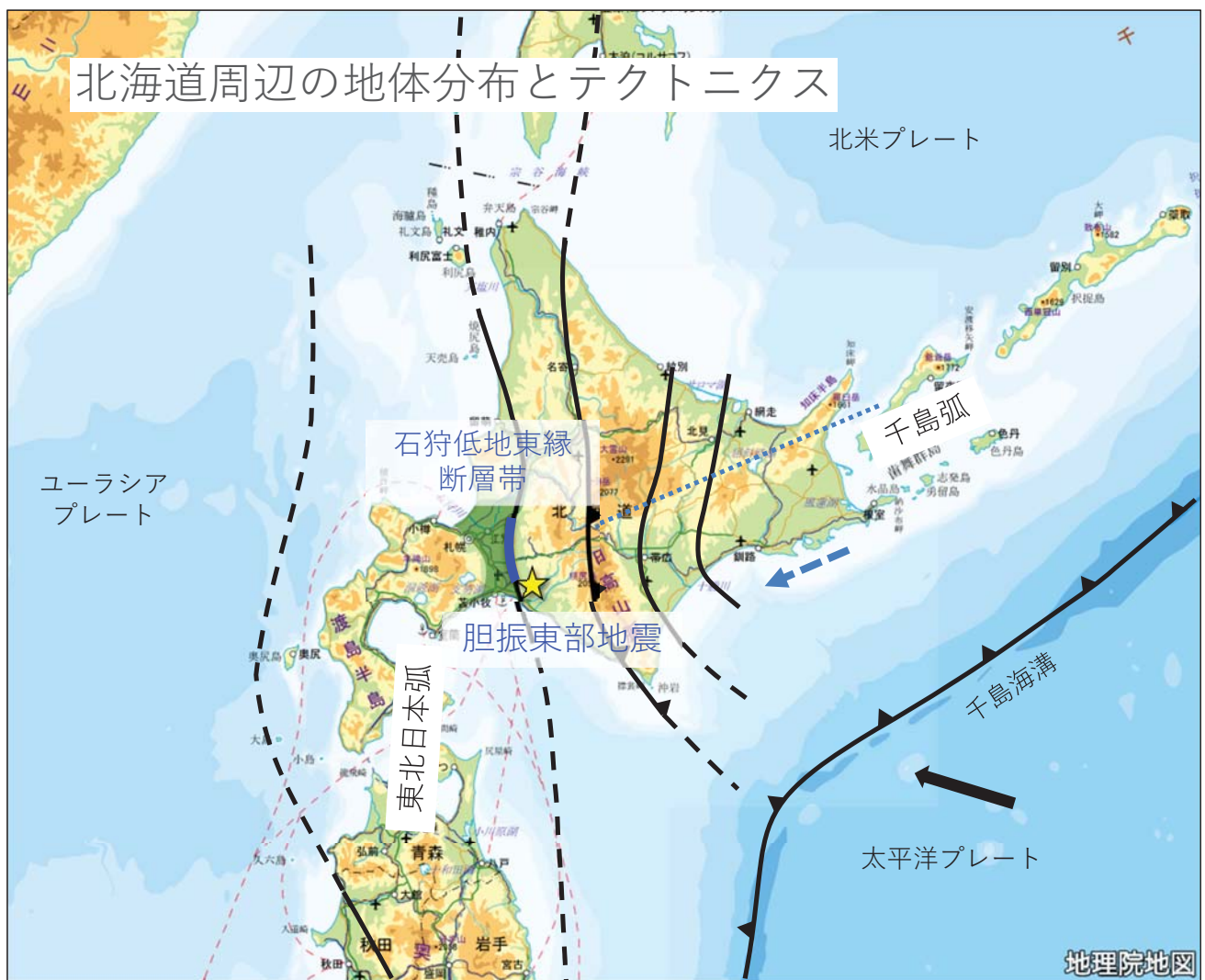


氷河期のため海水面は現在よりも120mほど低下。日本と大陸は北側で陸続きに

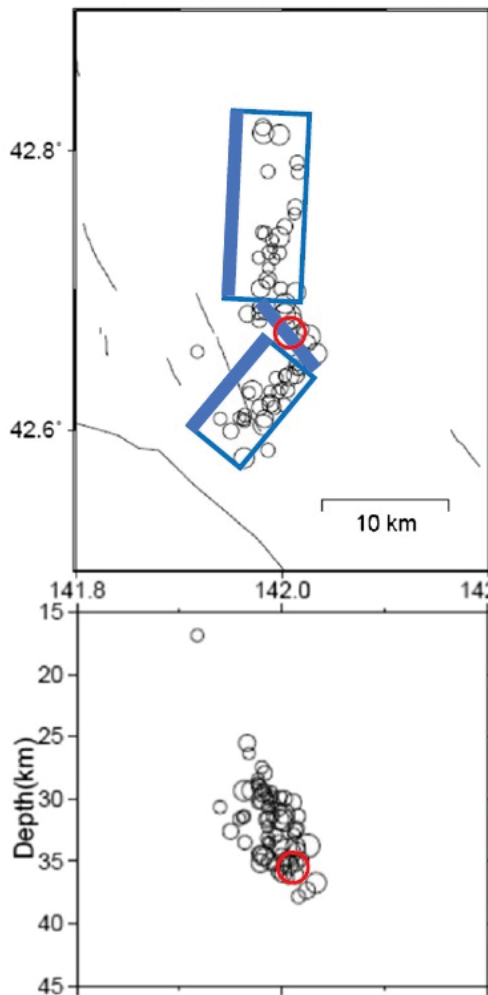
その後、氷河期の終了とともに海面が上昇し（縄文海進）、日本は大陸から離れて現在の形となった

陸地 浅海～湖 海洋底 日本列島の形・カルデラ

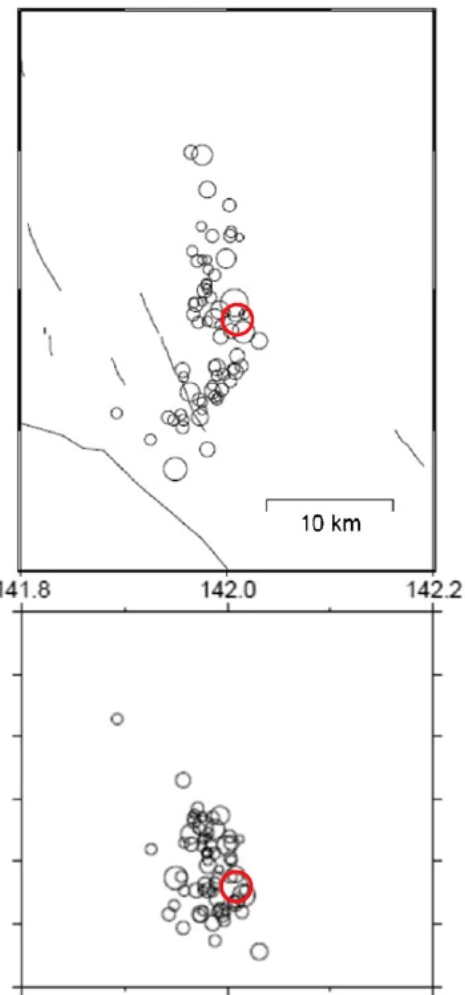
北海道周辺の地体分布とテクトニクス



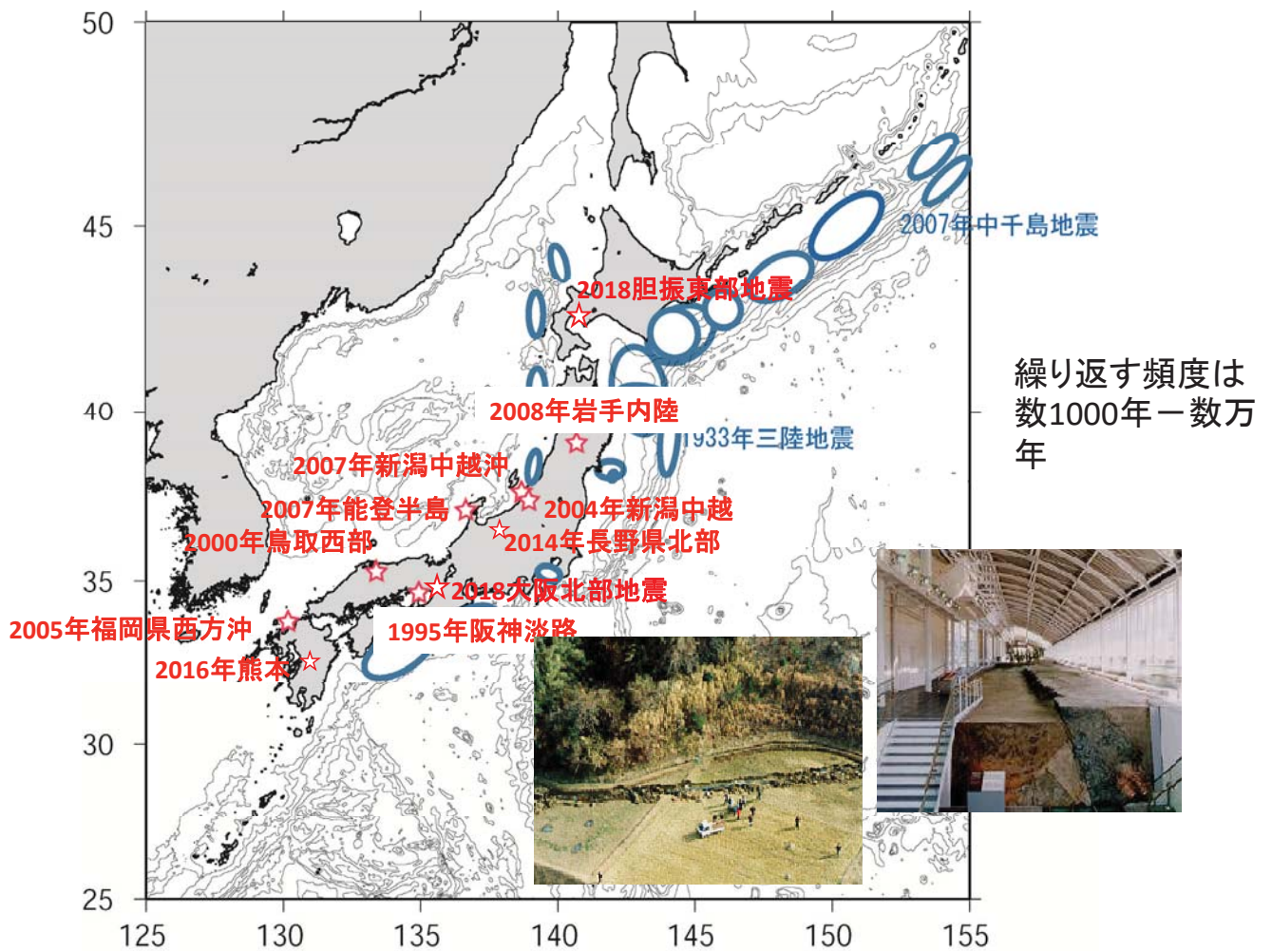
a Katsumata et al.



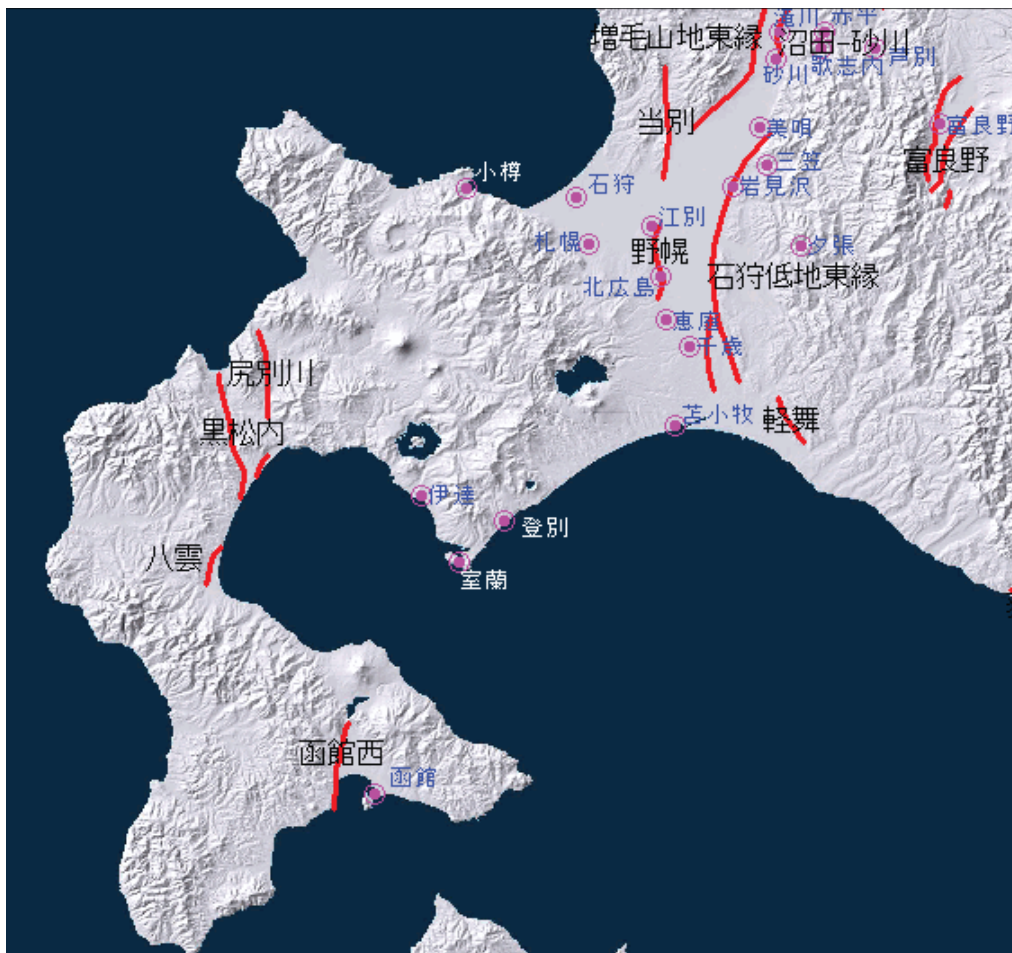
b JMA



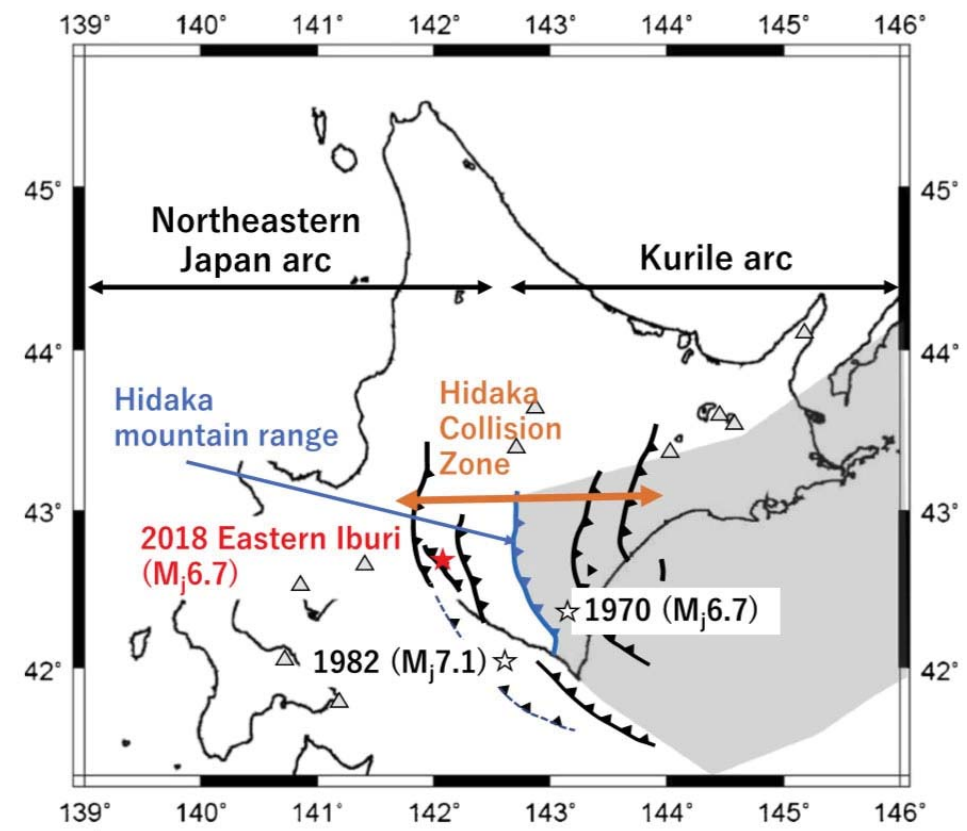
最近発生した内陸大地震



内陸の活断層



日高地方では今後も同様の地震に備えることが必要



地震による急傾斜地の崩壊と土砂移動の特徴, 対策

北海道大学広域複合災害研究センター 山田 孝



火山灰で被覆された山地での地震による斜面崩壊と崩土の流出(2018年9月6日厚真町)



厚真での土砂災害警戒区域(急傾斜地)の設定に係る問題点

- ①全国的に適用されている斜面のこう配(30度以上)よりも**緩いこう配**で相当数の斜面崩壊が発生した。
- ②全国的に適用されている危険区域よりも**遠くまで土砂が到達した**箇所がある。

※これまでの方法は、降雨によって発生した斜面崩壊を対象に作成されたものである。

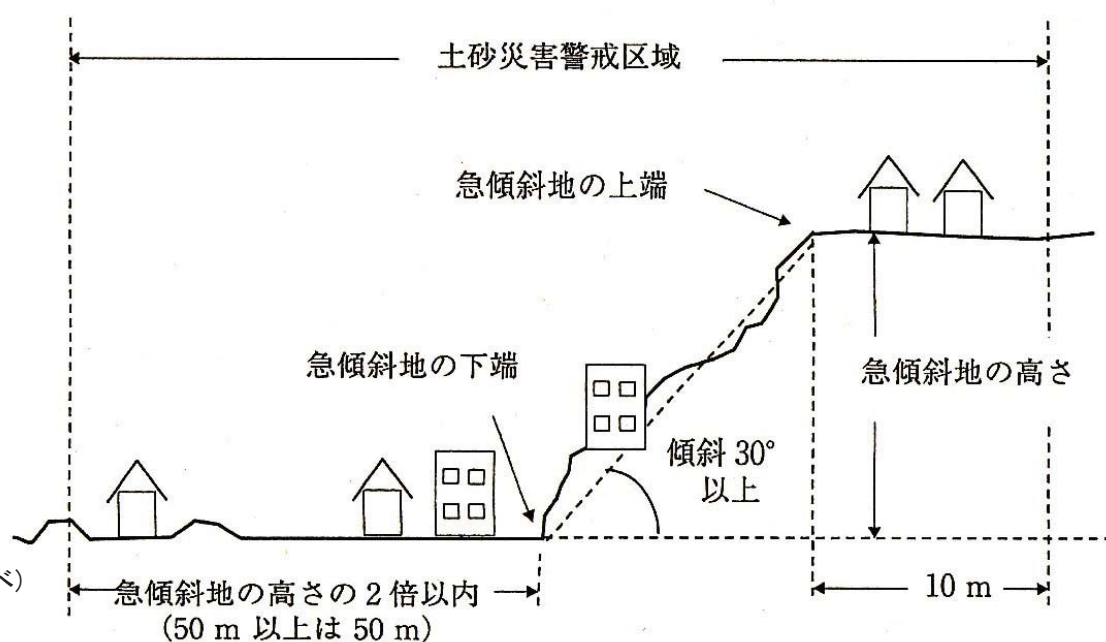
全国的に適用されている土砂災害警戒区域(急傾斜地)の設定方法

全国の危険区域
(急傾斜地)
330,156箇所

北海道の危険区域
(急傾斜地)
6,466箇所

厚真町の危険区域
(急傾斜)
39箇所

(国土交通省、北海道、厚真町調べ)



急傾斜地の崩壊における土砂災害警戒区域 (国土交通省河川局河川水政課・砂防部, 2002 を改編)

全国的に適用されている土砂災害警戒区域(急傾斜地)の勾配30度以上の根拠

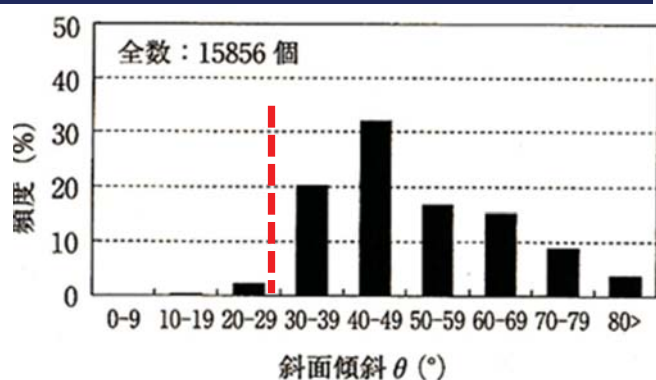
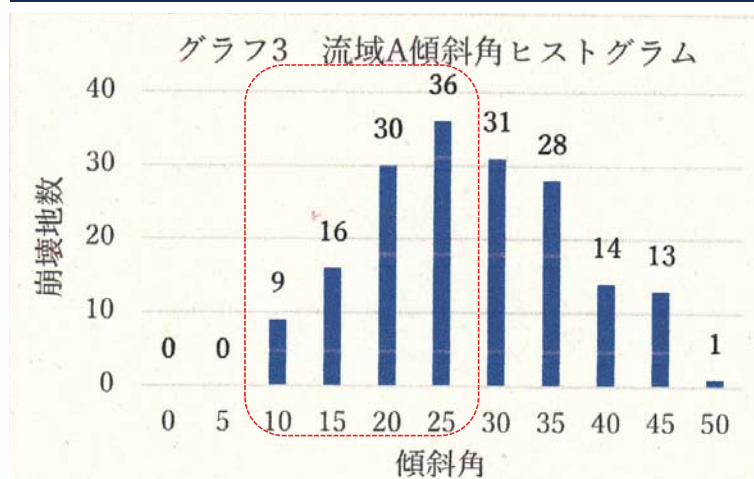


図 3.72 かけ崩れ斜面の勾配分布

(出典：砂防学(2019)、朝倉書店、元データ：建設省土木研究所)

2018年9月に厚真町で多発した斜面崩壊の勾配分布



北海道大学農学部森林科学科 竹中源弥作成

降雨による斜面崩壊のほとんどはこう配30度以上の斜面で発生している。

こう配30度以下の斜面でも斜面崩壊が多発した。

全国的に適用されている土砂災害警戒区域(急傾斜地)の斜面高さに対する崩土の移動距離の比

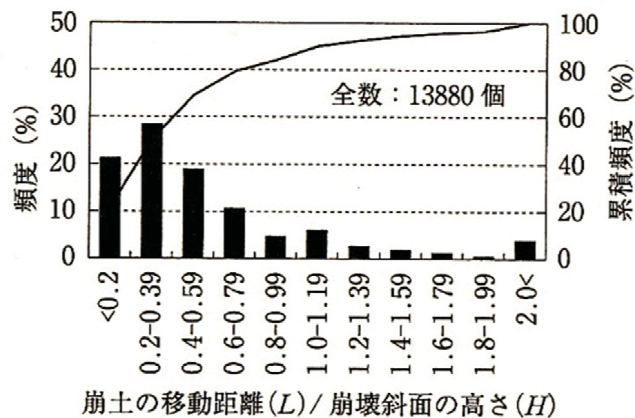
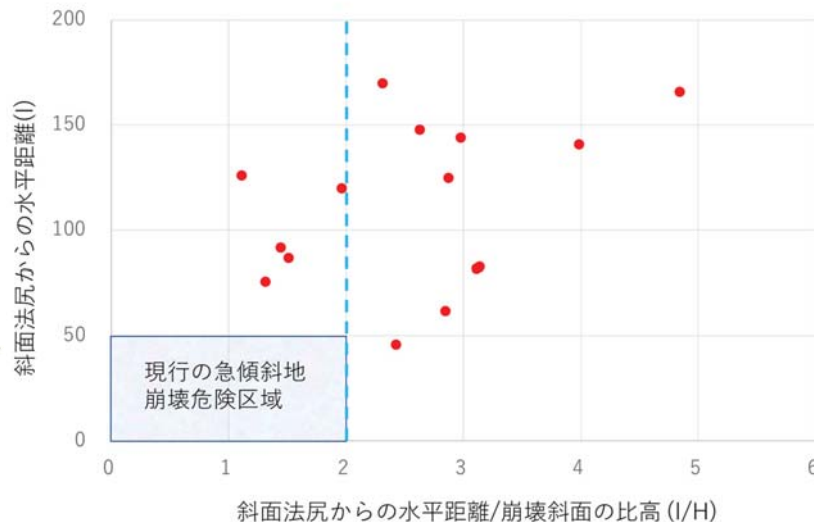


図 3.73 斜面高さ (H) に対する崩土の移動距離 (L) の比率

(出典：砂防学(2019)、朝倉書店、元データ：建設省土木研究所)

2018年9月に厚真町で多発した斜面崩壊の斜面高さに対する崩土の移動距離の比



斜面高さに対する崩壊した土砂の移動距離は、2倍以内

降雨による斜面崩壊よりも遠くまで土砂が到達する可能性がある。

樽前山の火山灰 (Ta-d 約9000年前) が風化した層の存在

その層が大量の水を保水していること

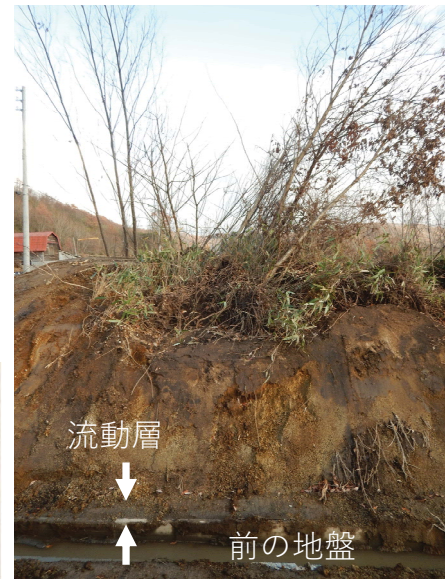
これまでの危険区域設定基準に合わない「特殊な地質条件、水分条件、地震動の組み合わせ」によって斜面崩壊が発生

地震動

斜面崩壊と土砂の移動



火山灰(Ta-d)の風化層が流動層となり崩壊土砂が移動・氾濫・堆積した箇所が多い



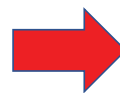
火山灰(Ta-d)の風化層は振動によって簡単に流動する！



振動機



振動を加えると



勾配があればすぐに流れる



今後の土砂災害減災の課題

●家屋などの保全対象区域の見直し

⇒対策工事がなされていない箇所では、山腹直下は避けるよう土地利用を誘導
火山灰が堆積した山地での地震による崩壊危険斜面の抽出手法、
斜面の崩壊による土砂氾濫・堆積影響区域(時間や被害予測も)設定出法の開発

●垂直避難(ただし住宅が流失しない区域)

地震動の予知ができないとすれば、事前の避難は不可能
緊急地震情報を受けたら直ちに二階に垂直避難することが望ましい

※土砂災害で2階にいた人が亡くなった事例(流失した木造家屋の事例以外)は報告されていない。

●ハード対策の促進⇒減災に大きな効果

※今回の地震においても対策を実施している箇所で
大きく崩壊した事例はない。



●自然の動的認識、減災知識・経験知の蓄積・伝承システム

※「動くこと山の如し」⇒自然を動的に認識することの大切さ

平成30年北海道胆振東部地震を振り返り
今後の減災・復興を考える

話題提供

北海道の火山灰質土の 工学的性質と斜面災害

2019年10月27日(日) 10:00～12:00
厚真町総合福祉センター

北海道大学大学院工学研究院
教授 石川 達也

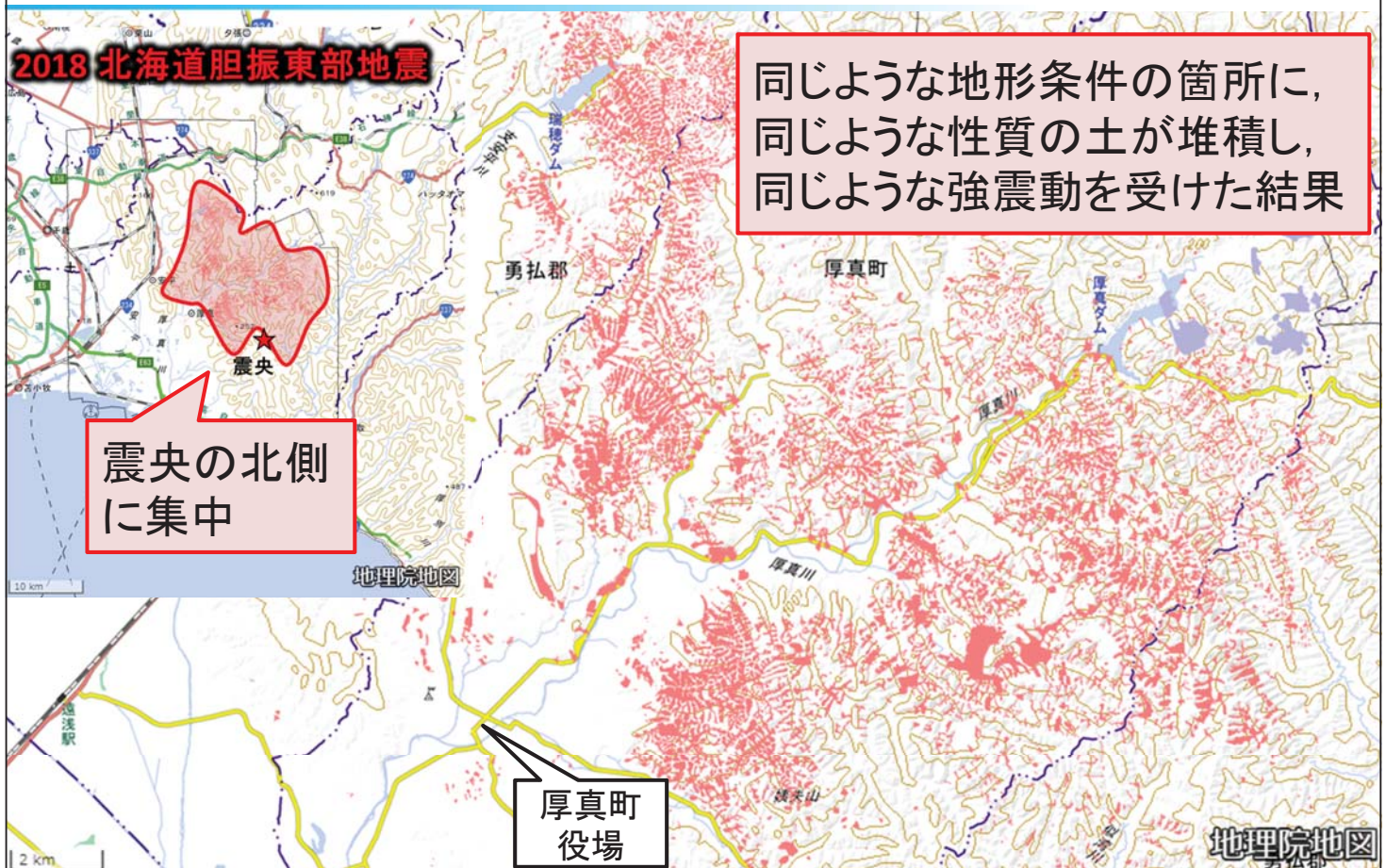


Faculty of Engineering, Hokkaido University

1

斜面崩壊および土砂堆積の範囲

厚真町シンポジウム



Faculty of Engineering, Hokkaido University

2

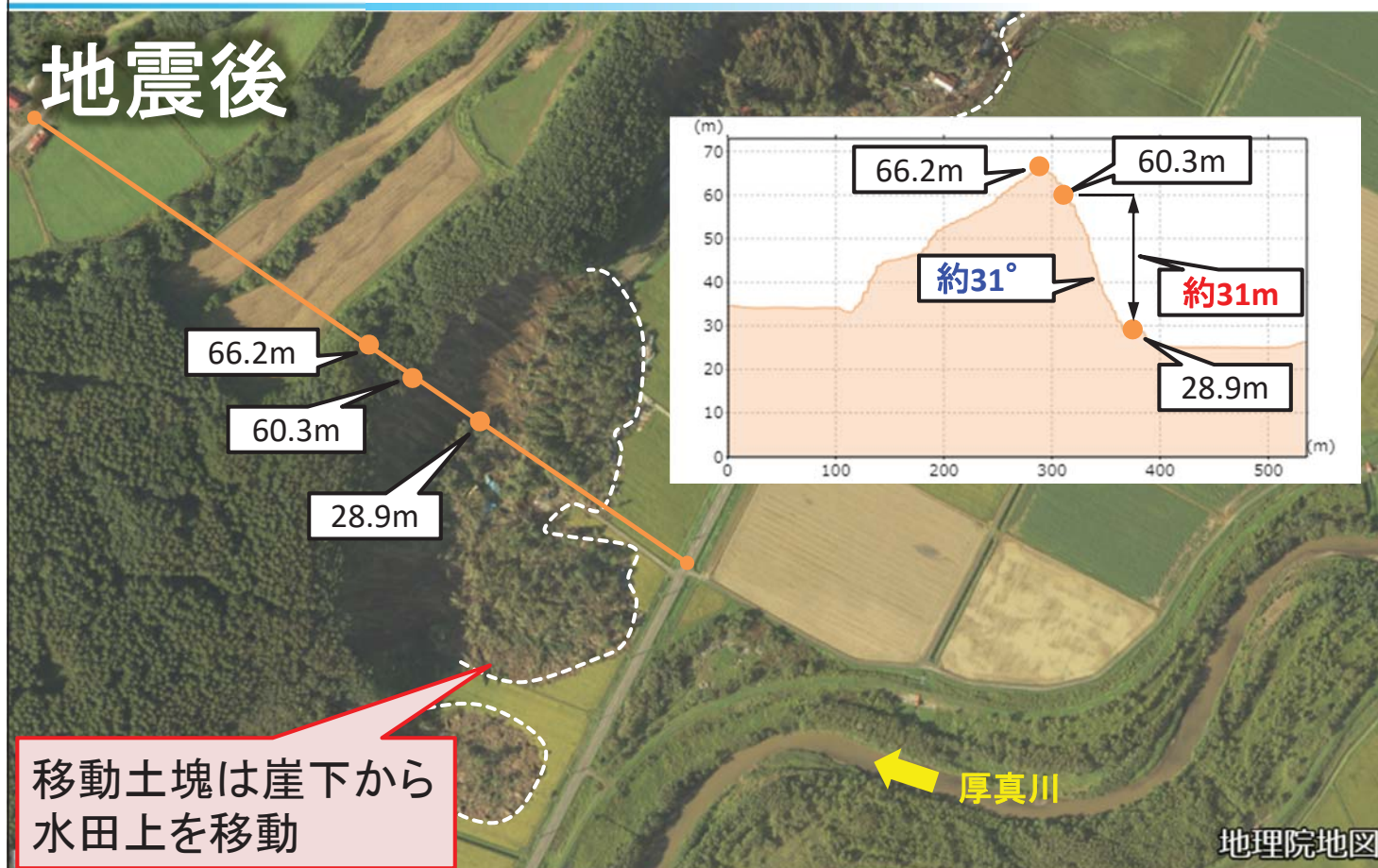


厚真町吉野
(北大 渡部先生2018/9/12撮影)

被災後の状況

厚真町シンポジウム

地震後





斜面崩壊状況



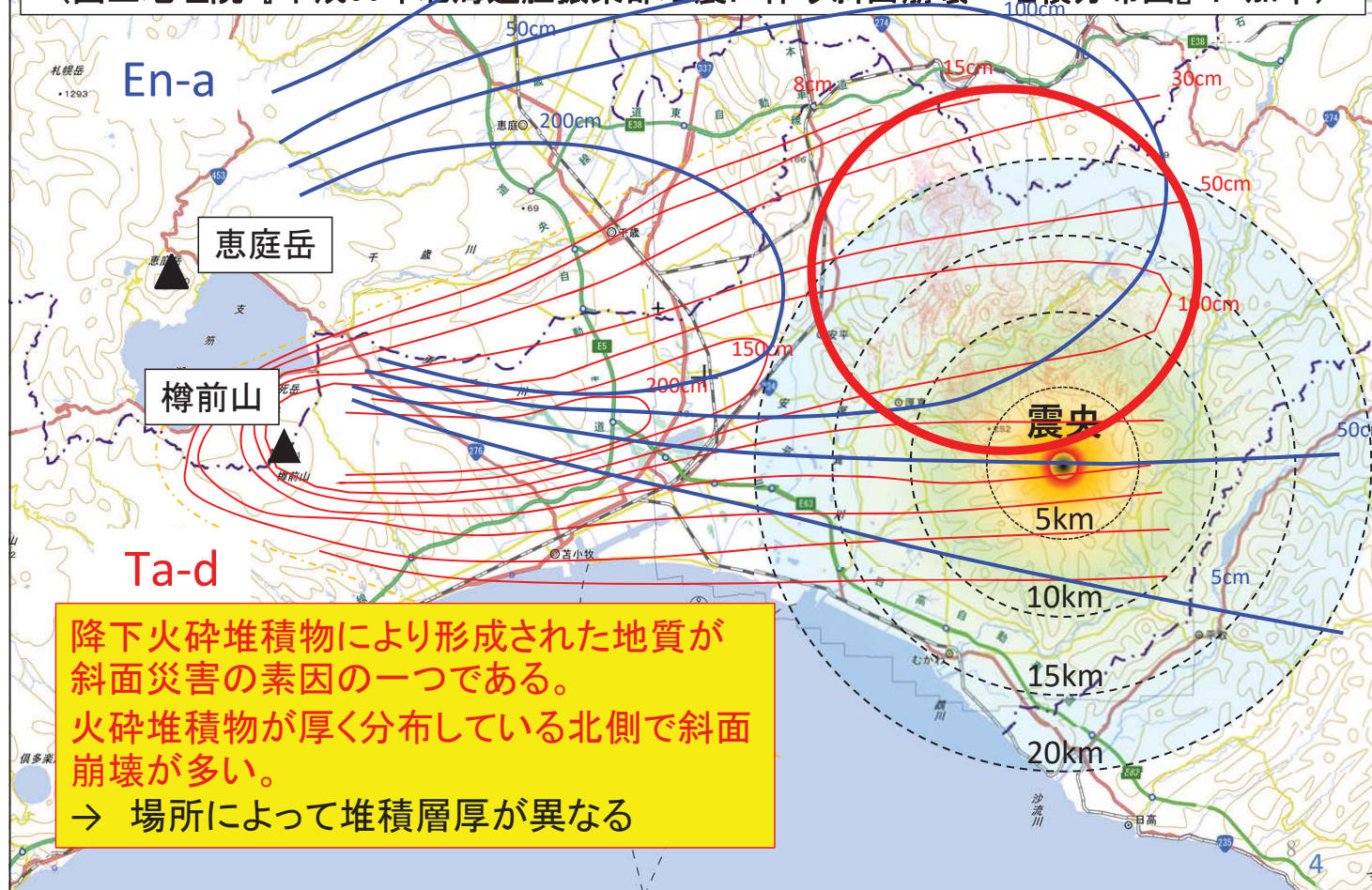
(c)

堆積年代や風化程度が異なる
火山灰質土で構成されている



斜面すべりが発生した地点（厚真町周辺）

（国土地理院『平成30年北海道胆振東部地震に伴う斜面崩壊・堆積分布図』に加筆）

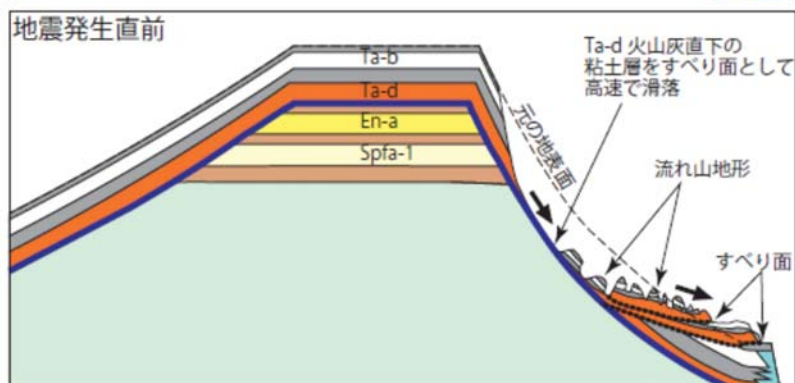
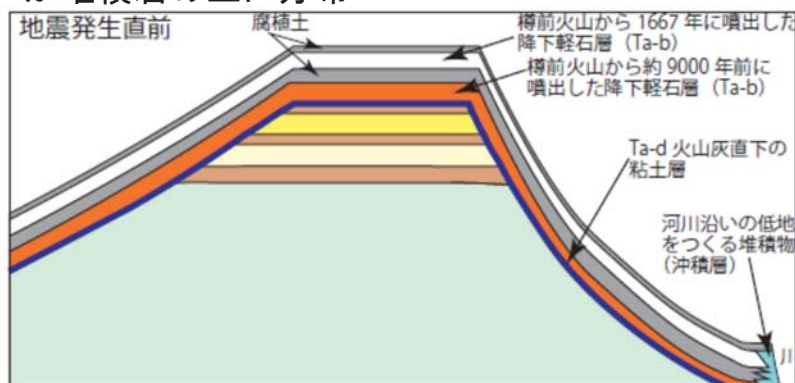


降下火砕堆積物により形成された地質が
斜面災害の素因の一つである。
火砕堆積物が厚く分布している北側で斜面
崩壊が多い。
→ 場所によって堆積層厚が異なる

崩壊箇所における火山灰の分布状況

厚真川流域の山地・丘陵斜面

→支笏・恵庭・樽前を起源とする**降下火砕堆積物**が堆積岩の上に分布



桜丘～吉野地区での表層崩壊

(地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 地質研究所報告書より)

遠望した滑落崖の状況
(吉野地区)



Ta-d直下をすべり面として
そこから上方の堆積物が崩落 9

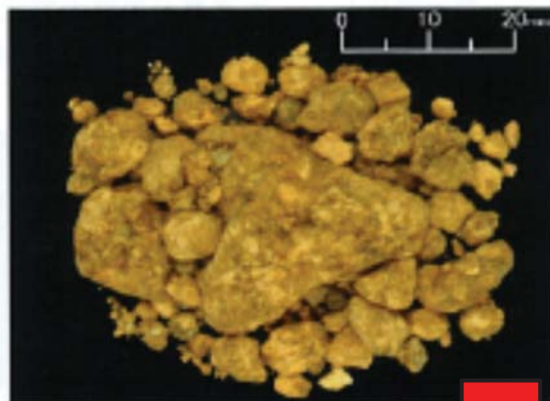
吉野地区の崩壊箇所の土質

厚真町シンポジウム

厚真川流域の山地・丘陵斜面

→支笏・恵庭・樽前を起源とする**降下火砕堆積物**が堆積岩の上に分布

Ta-a : 1739年	} 灰色
Ta-b : 1667年	
Ta-c : 約2000年前	
Ta-d : 約9000年前	→ 赤褐色



樽前降下軽石 Ta-d



風化して粘土化??

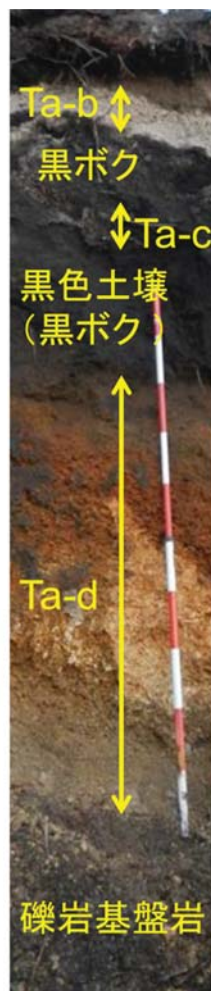
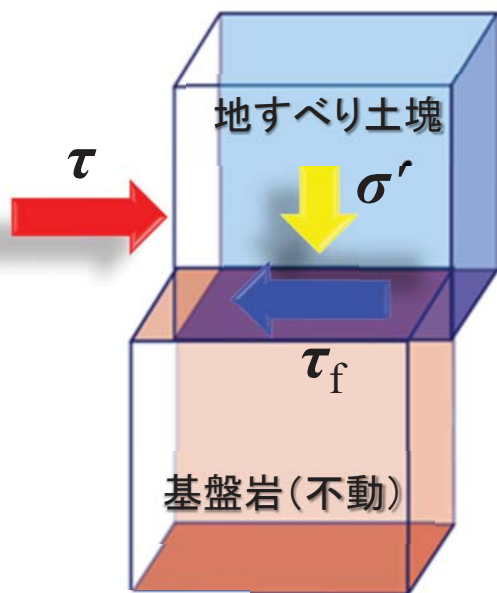
粒子間の固着性は低い

赤褐色、やや固着性

著しく風化、粘性土化

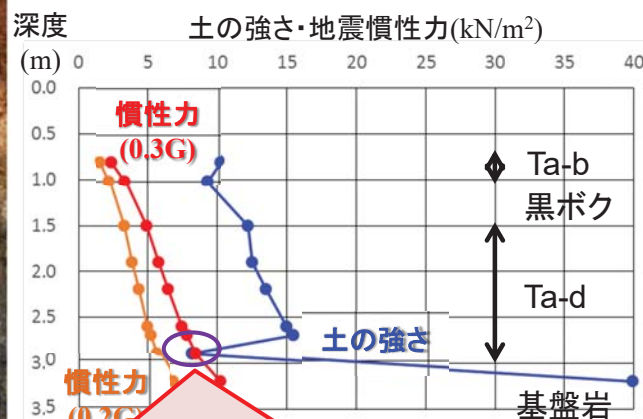


土の強さと地震動による慣性力の関係



地層	層厚 m	重量 kN/m ³	c' kN/m ²	φ' deg.
表土	0.80	10.5	1.9	29.6
Ta-b	0.20	14.0	0.0	40.0
黒ボク	0.50	10.5	1.9	29.6
Ta-d	1.50	8.0	1.0	30.0
礫岩	-	20.0	20.0	20.0

土の種類により強さが異なる



土の強さ<慣性力で斜面崩壊

● 土の強さ τ_f

$$\tau_f = c' + \sigma' \times \tan \phi'$$

c' , ϕ' : 土の強度定数

σ' : 土の重量(応力)

● 地震慣性力 τ

$$\tau = \sum (m_i \times D_i) \times \alpha$$

m_i , D_i : i 層の質量と層厚

α : 地震加速度(揺れ)

斜面安定解析に基づく崩壊予測

厚真町シンポジウム

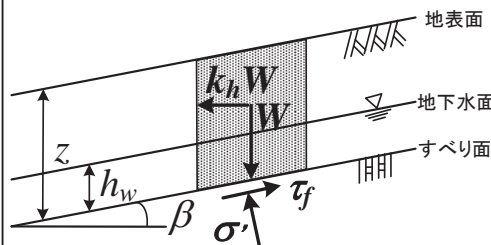
安全率 F_s

すべり破壊に対する斜面の安定性の程度を表す指標

$$F_s = \frac{\text{すべりに抵抗する力 } \tau_f}{\text{すべりを起こそうとする力 } \tau}$$

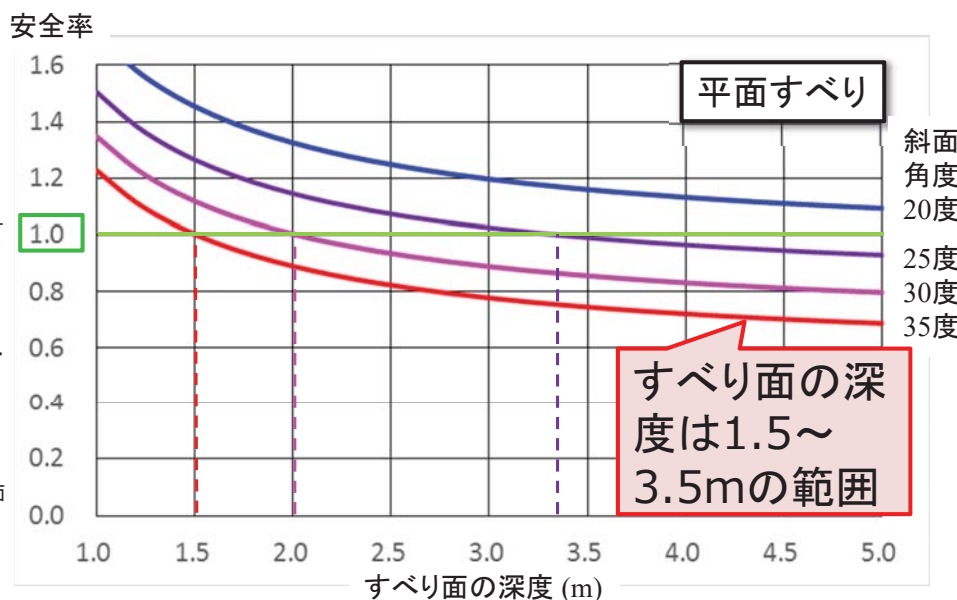
$F_s \geq 1$: 斜面は安定

$F_s < 1$: 斜面崩壊の可能性有



解析条件 : $\gamma_t = 15.46 \text{ kN/m}^3$,
 $c' = 7.0 \text{ kN/m}^2$,
 $\phi' = 35^\circ$, $k_h = 0.3$,
 浸透流なし
 ($h_w = 0 \text{ m}$)

注) 円弧すべりや3次元
 的すべり面は適用外



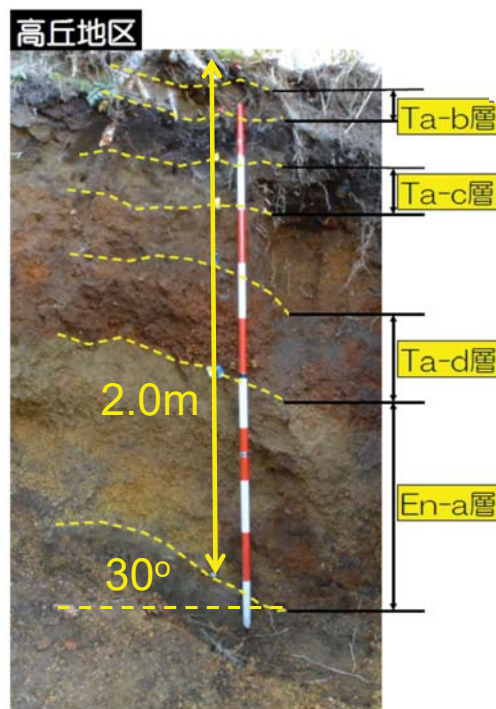
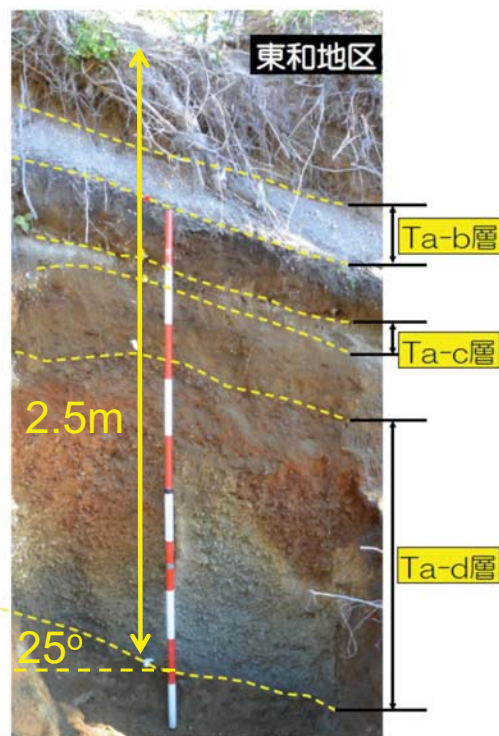
- すべり面深度が深くなる
- 斜面角度が大きくなる
- 土の重さが大きくなる
- 土の強さが小さくなる
- 地震の揺れが大きくなる
- 地下水位が高くなる

安全率は低下し、斜面
 崩壊が起こり易くなる。

$F_s < 1$ となる深度以深に弱面(すべり面)となる
 土層が存在する場合に斜面崩壊が発生

崩壊箇所の土質と崩壊深度

厚真町シンポジウム



崩壊土砂量・面積

国土交通省の推計によると胆振東部地震による崩壊規模は以下の通り

①崩壊土砂量

30.0 百万 m^3

②崩壊面積

13.4 km^2

<http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/index.html>

より

➡ 崩壊土砂量と崩壊面積から推測される平均崩壊深度は約2.2m

東和地区はTa-d風化部とローム層の間が、高丘地区はEn-aとSpfa-1の間のローム層が、それぞれすべり面の位置であった。現地調査結果によると、場所によってすべり面位置は様々であるが、多くの場合、崩壊深度は概ね2～3mであった。

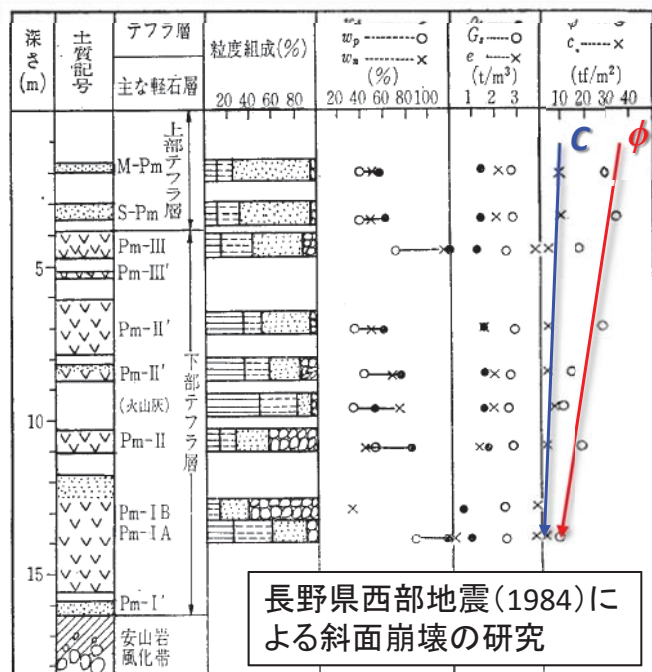
斜面安定解析結果と調査結果は整合

13

火山灰質土の強度低下要因(1)

厚真町シンポジウム

a) 風化劣化の影響 (長期的)

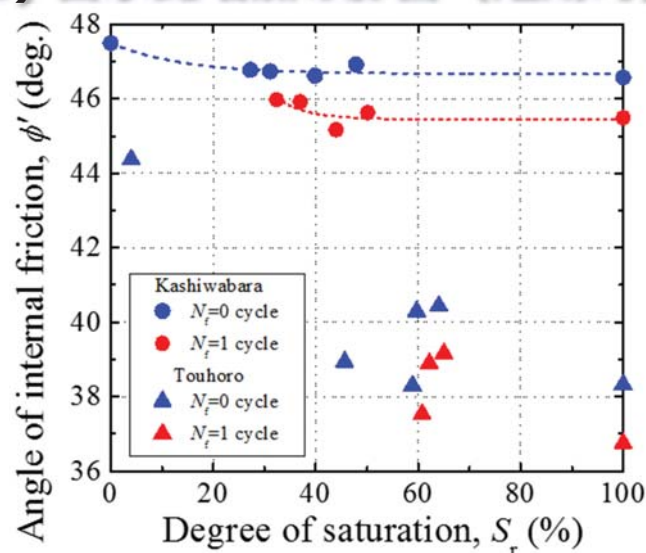


軽石層の風化による強度低下(多賀ら1985)

深い地層ほど強度定数(c , ϕ)は低下

➡ 堆積年代が古い程、経年変化による顕著な強度低下を確認

b) 含水比増加の影響 (短期的)



水分量の増加や凍結融解により強度は低下

➡ 降雨や融雪による地盤の浸潤による一時的な強度低下を確認

多孔質で脆弱な火山灰質土は経年劣化(風化)や水分量の増加・凍結融解作用により長期・短期的に強度が低下

火山灰質土の強度低下要因(2)

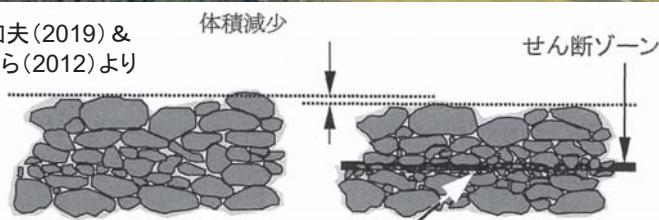
厚真町シンポジウム

c) 斜面崩壊に及ぼす粒子破碎の影響



厚真町幌内
国際航業(株)・(株)パスコ2018/9/6撮影

雨宮和夫(2019) &
大塚悟ら(2012)より



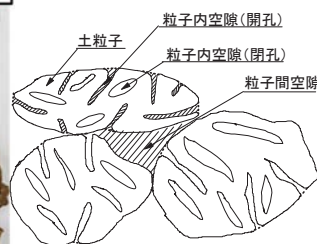
すべり面液状化による高速長距離すべり模式図

著しく風化, 粘性土化



含水比

$w = 159.4\%$



降下火砕堆積物

すべり面液状化

岩石, 土, 岩屑などがせん断・細粒化 → 体積縮小 → 過剰間隙水を形成 → 細粒化した粒子と水が混合して流体化 = 有効応力がほぼ 0 となる現象



幌内地区等の長距離土砂流動メカニズムの一因

斜面災害のまとめ

厚真町シンポジウム

斜面崩壊要因

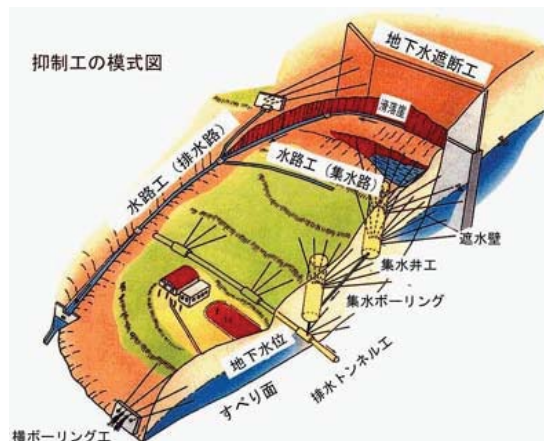
- ・ 想定を超える地震動の発生
- ・ 低強度の火山灰質土が斜面表層に厚く堆積
- ・ 事前降雨による複合災害の可能性

斜面災害対策

- ・ 不安定な火山灰質土の除去
 - ➡ すべり面となる地層の除去、堆積層厚の減少による斜面安定性の向上
- ・ 地盤への雨水等の浸入抑制
 - ➡ 浸潤に伴う土の強度低下と重量増加の抑制による斜面安定性の向上



抑制工の模式図



謝 辞

調査に多大なるご協力を賜りました関係各位に
御礼申し上げます。

ご静聴ありがとうございました。



胆振東部地震で発生した 液状化被害を振り返って

令和元年10月27日

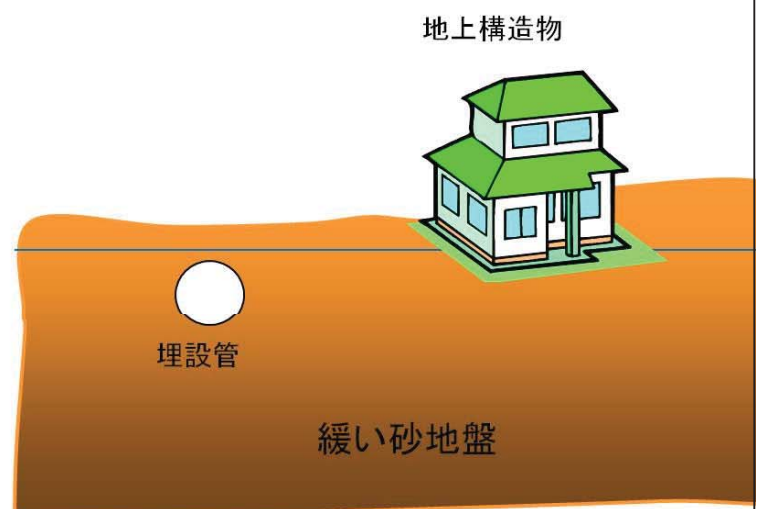
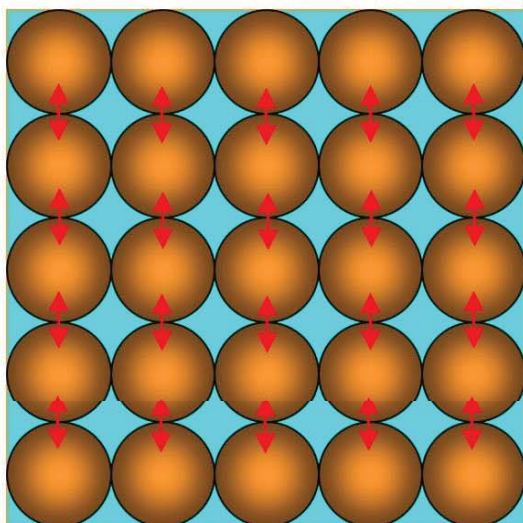
北海道大学 大学院 工学研究院
環境フィールド工学部門 防災地盤工学分野 地盤物性学研究室 教授

渡 部 要 一

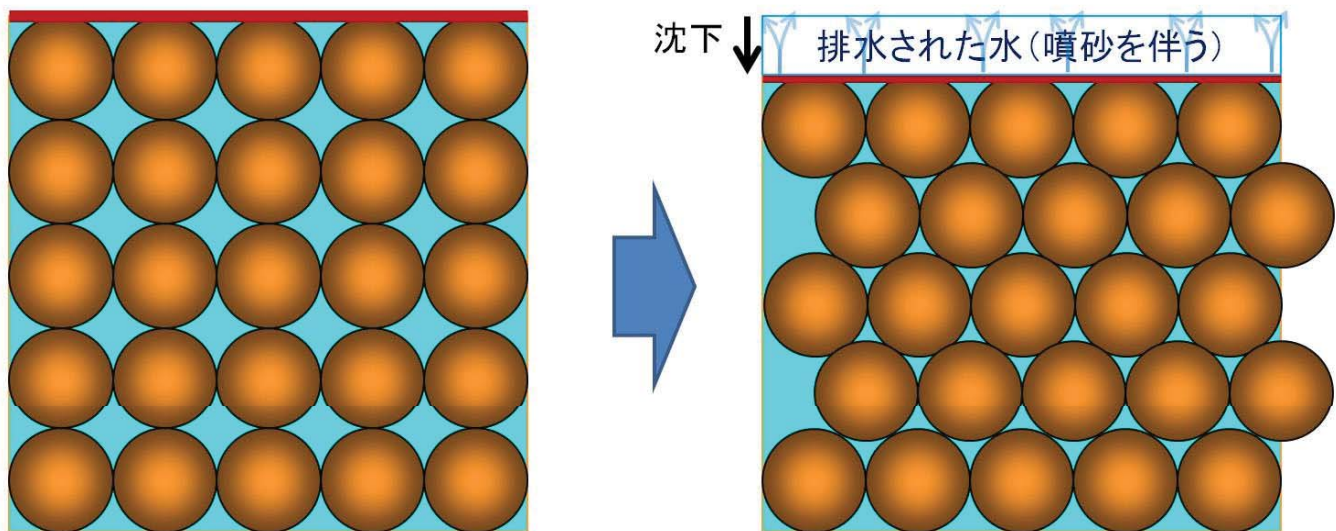


北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY

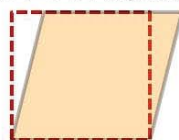
液状化とは？



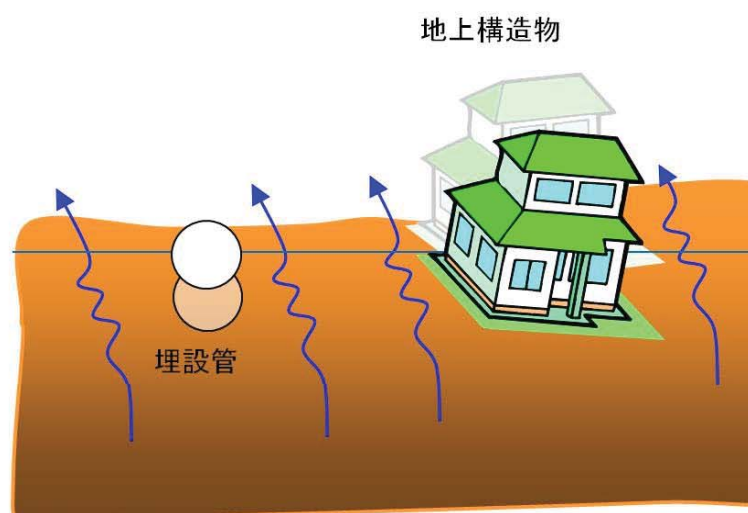
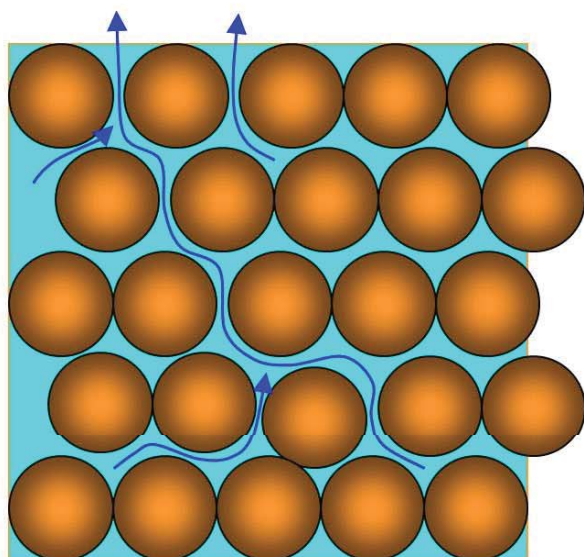
通常的地盤は、土粒子同士が接触して応力を伝えている
→ せん断に対する抵抗「せん断強さ」があり、構造物を支える



地震：せん断変形の繰返し



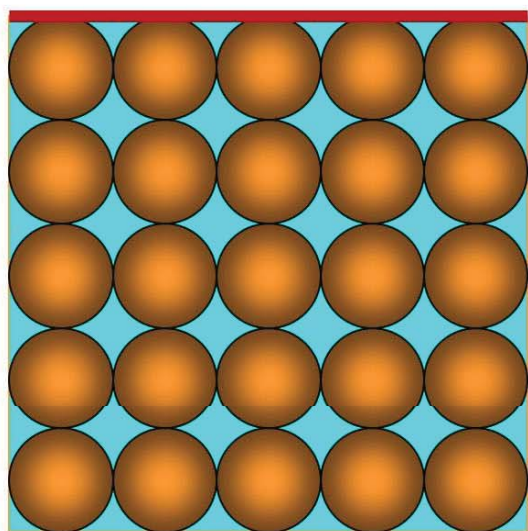
緩い砂地盤が地震によってせん断変形すると噛み合わせが外れ、密に詰まろうとする



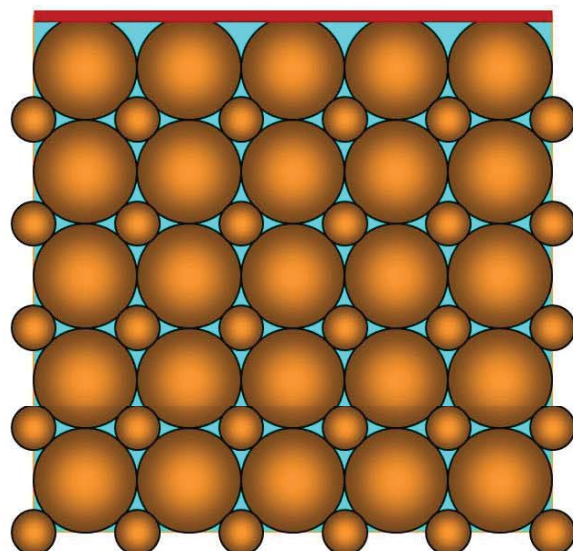
密に詰まろうとするが、**間隙水が抜けるまでに時間がかかる**ため、一時的に土粒子が浮遊した状態になる → この状態を「液状化」と呼ぶ。

土粒子は力を伝えない！

→ 地表の重たい物は沈み、地中の軽い物は浮き上がる。

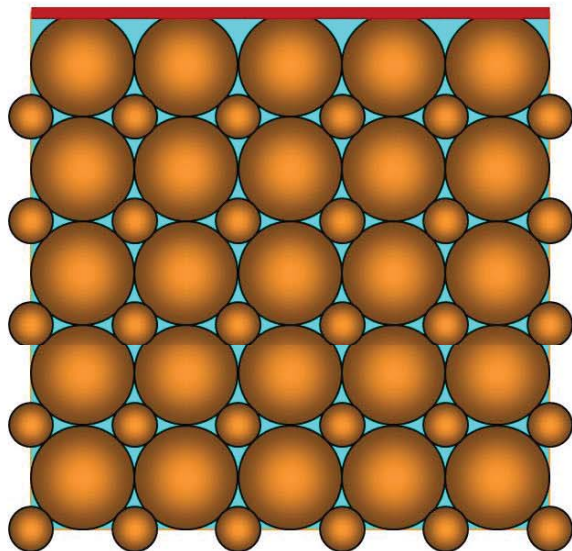


液状化しやすい



液状化しにくい

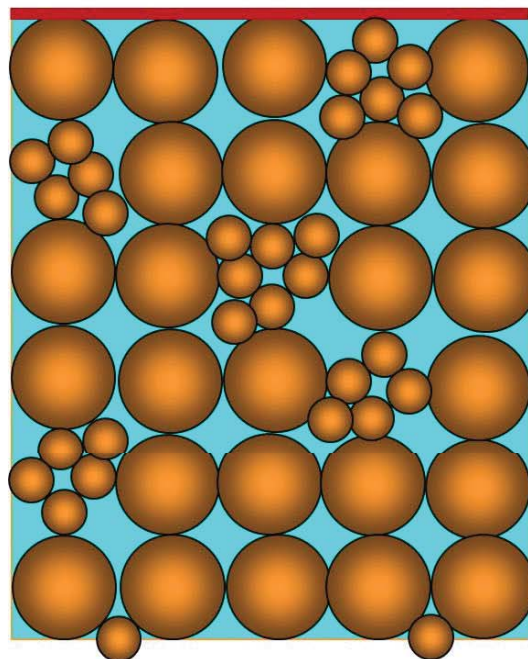
粒径が揃った地盤の方が液状化しやすい



液状化しにくい

密詰め

しっかり締め固めれば(施工管理すれば)細粒分があると液状化強度は上がる



液状化しやすい

緩詰め

不十分な締め固めでは液状化しやすい地盤になりやすい



苫小牧港東港区 苫小牧国際コンテナターミナル(9月12日)





地盤改良により
液状化対策されていた
発電所内は、液状化に
よる土木施設への被害
は確認されない。

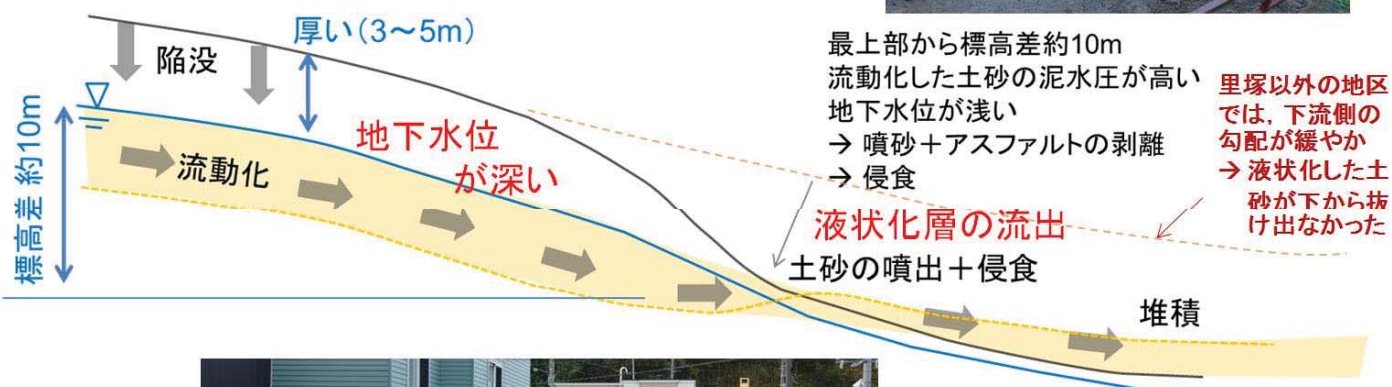
苫楢厚真発電所
朝日新聞社提供

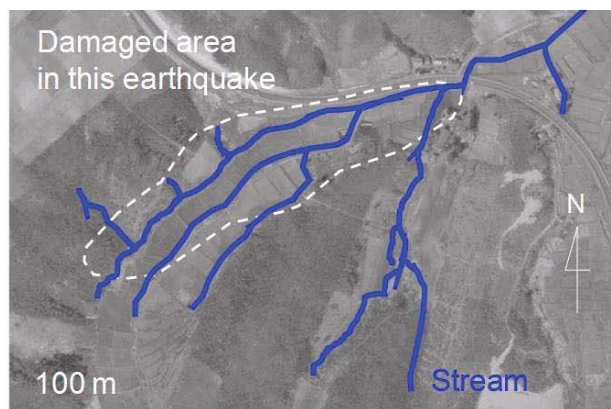




一方、
住宅地では...
札幌市里塚1条

液状化の痕跡としての噴砂痕がない
標高の高いところから低いところへ続く帯状の陥没帯





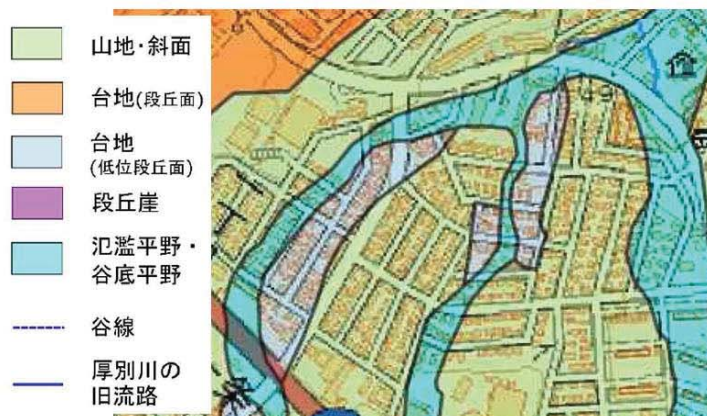
1961-1969年



1974-1978年



1984-1987年



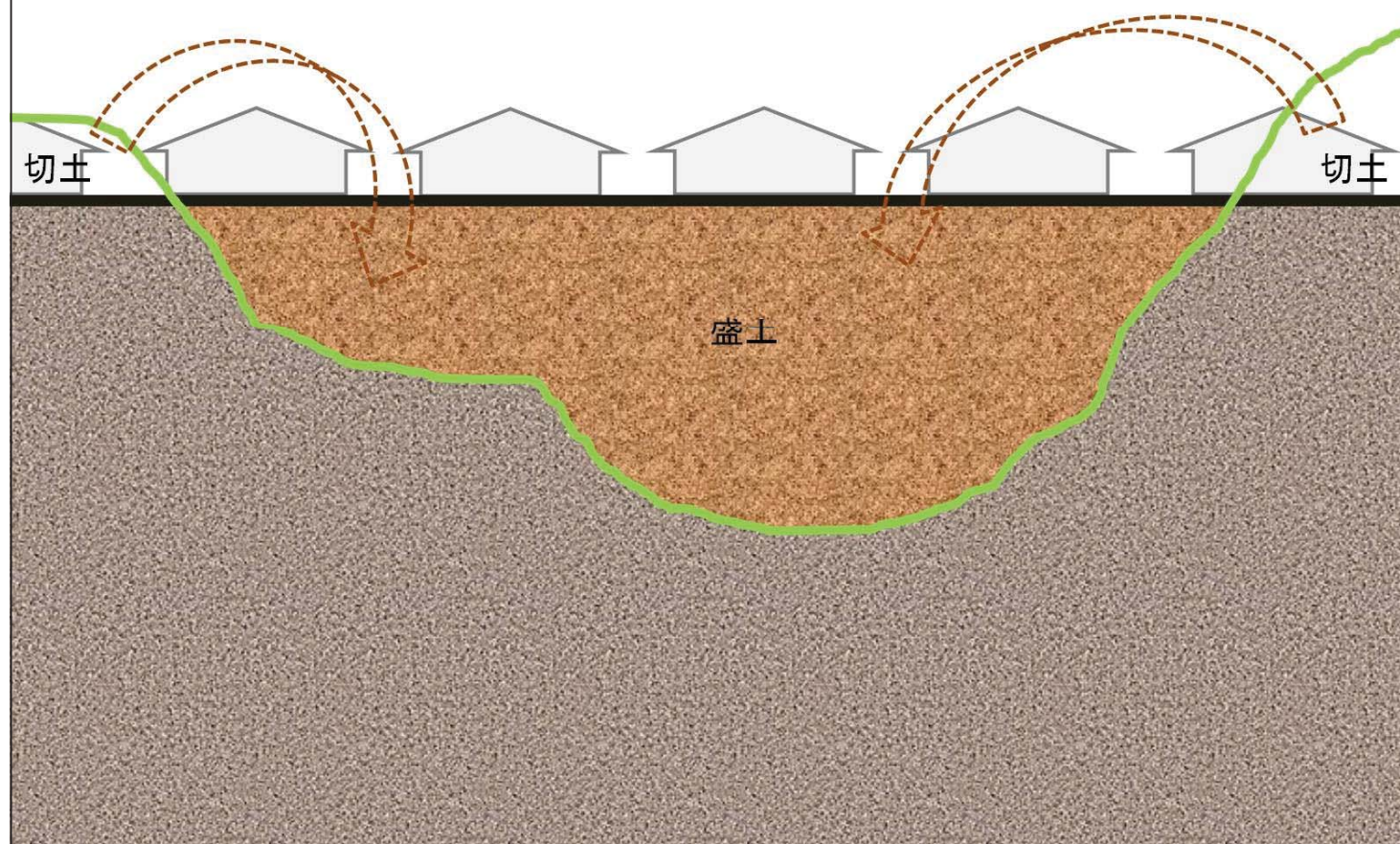
国土地理院 <http://www.gsi.go.jp/common/000205584.pdf>

里塚1条の空中写真(国土地理院ウェブサイトより: <http://www.gsi.go.jp/>): 暗渠や排水パイプの位置は札幌市資料による

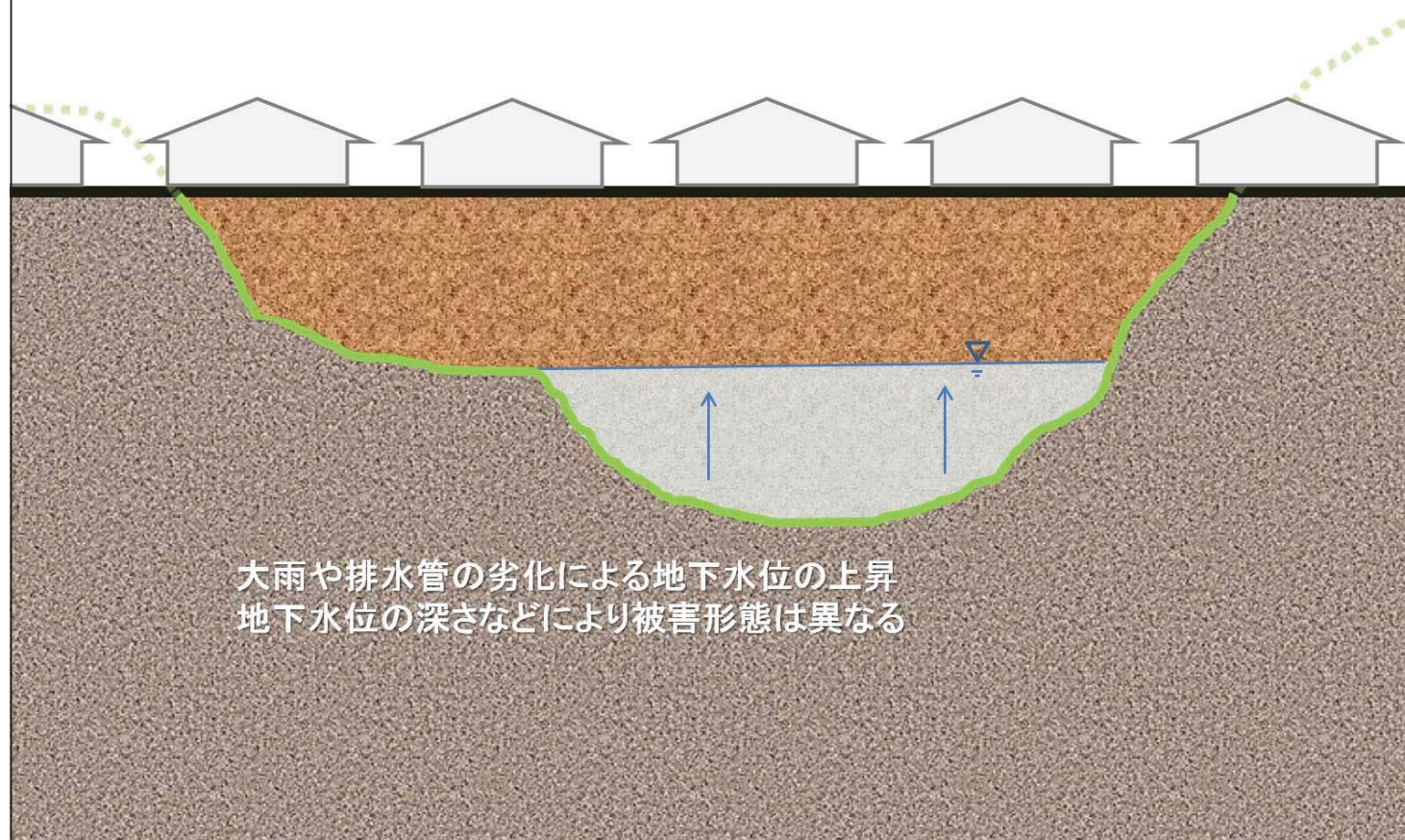
宅地開発前の原地形

原地盤
切土/盛土による宅地造成前

切土/盛土による宅地造成



地下水位上昇 + 地震動



厚真町ルーラルヴィレッジとその周辺で発生した液状化被害

局所的に液状化が発生(前日の大雨の影響か? 液状化層は浅い?)



写真提供: 明治コンサルタント



地震動による人的被害と室内被害 軽減のための自助マネジメント

平成30年北海道胆振東部地震を振り返り、今後の減災・復興を考える

北海道大学広域複合災害研究センター
特任教授 岡田 成幸

2019年10月27日
厚真町総合福祉センター

2

地震の概要

平成30年9月6日午前3時7分ごろ
震源深さ37km・マグニチュード6.7
北海道胆振東部地震が発生

厚真町の人的被害と住家被害数(2019年9月5日現在)

被害	項目	被害数
人的被害	死	36名
	重・中等傷	0名
	軽傷	61名
住家被害	全壊	233棟
	半壊	329棟
	一部損壊	1085棟

2.1%

- 小さなケガも含めると厚真町では11.4%の人が負傷していました。
- 多くは家具の散乱によるものです。
- 家具の固定の前にすべきことがあります。
- 自助マネジメントの方法を学んでください。

地震による被害写真

人的・住家ともに甚大な被害

北海道胆振東部地震の計測震度分布図



厚真・安平・むかわ全世帯アンケート調査

[illegible]

配布(2019年2月末)

- 広報を用いて3町全世帯配布
(10,448世帯)

回收数(配付数) 回收率

- 安平町 835(4135) 20%
- むかわ町 879(4166) 21%
- 厚真町 656(2147) 30%



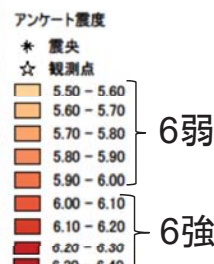
北海道大学

厚真町内の震度分布

アンケート震度



町の南東部と北西部が大きく揺れ
(震度6.1(6強))たようですが、町全
体で平均すると震度5.8(6弱)でした。



建物全壊率



地域差が目立ちます。

全壊率
* 震央
☆ 観測点

0.000 - 0.050

0.050 - 0.100

0.100 - 0.150

0.150 - 0.200

0.200 - 0.250

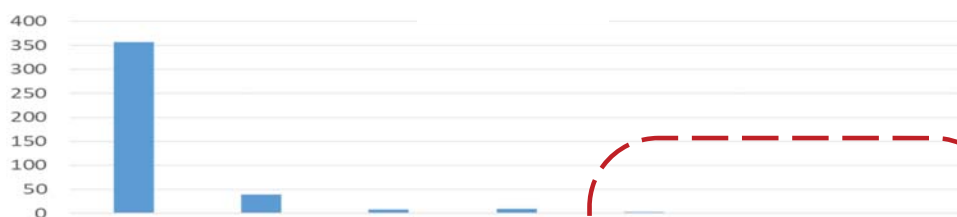
10%以上



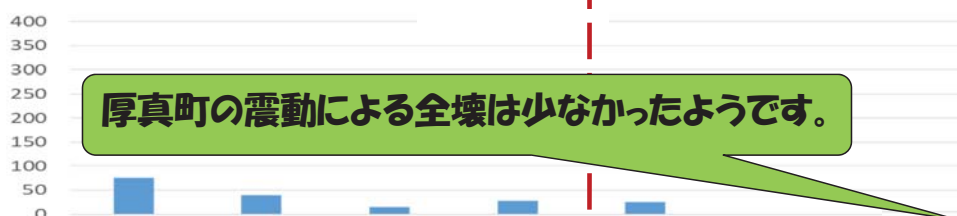
6

D-Level別被害棟数

厚真町



安平町



厚真町の震動による全壊は少なかったようです。

むかわ町



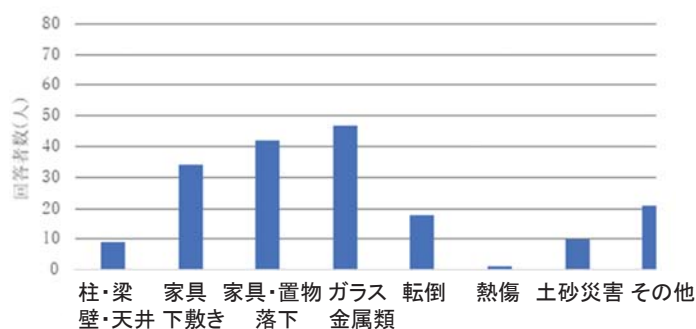
負傷率



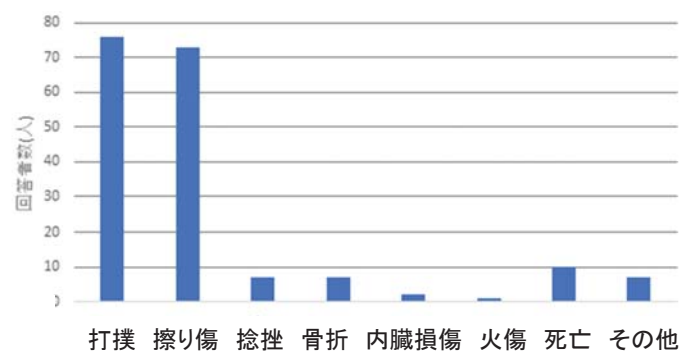
0 5 10 15 20 km

8

負傷要因・程度



建物破壊	室内	行動	室内	土砂
------	----	----	----	----



軽症	中等症	重症	死亡
----	-----	----	----

負傷要因

多くの人は家具で負傷しました。

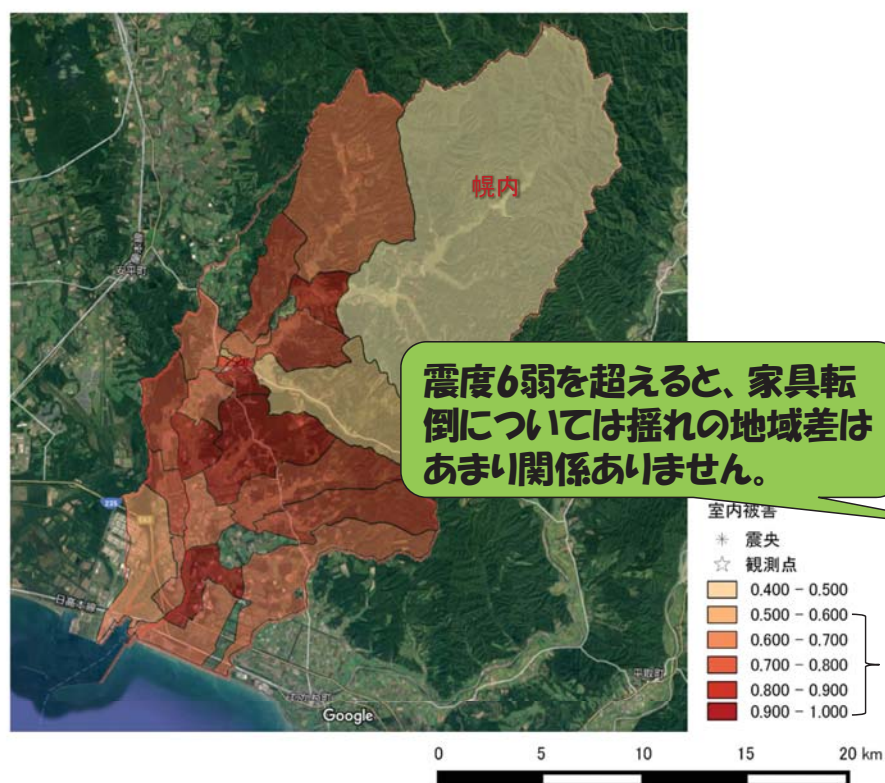
- ①危険領域で、
- ②逃げられなかったからです。

程度



北海道大学

室内散乱状況(足の踏み場もないほど散乱していた割合)

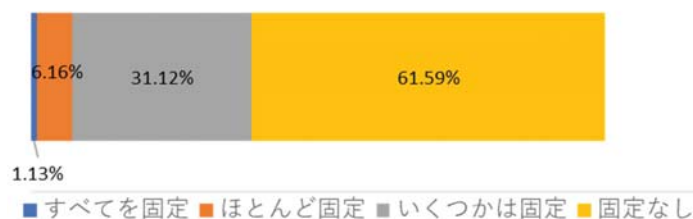


北海道大学

10

家具固定状況

厚真町
(2019)

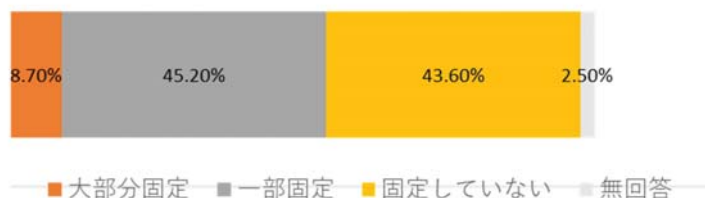


全国調査
(金子2008)



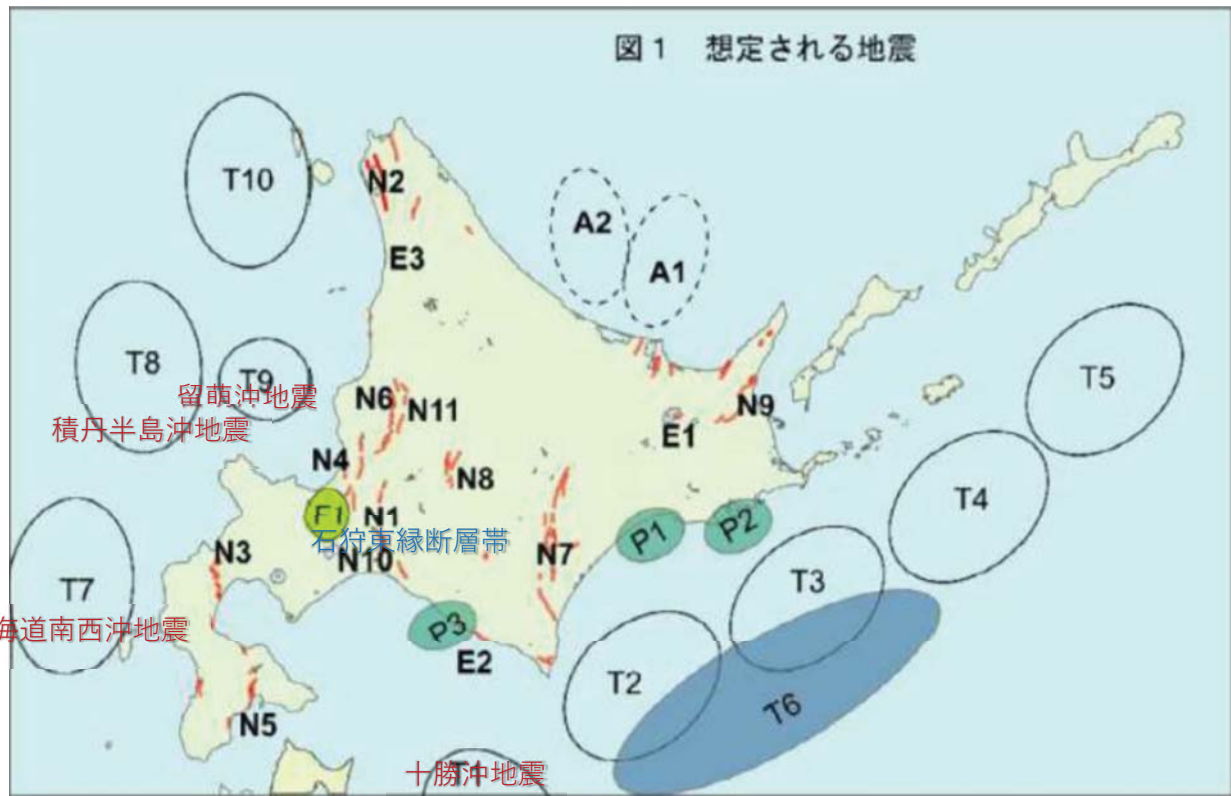
家具固定は万能の対策ではありません。
震度6強以上では無力です。

静岡県
(2003)



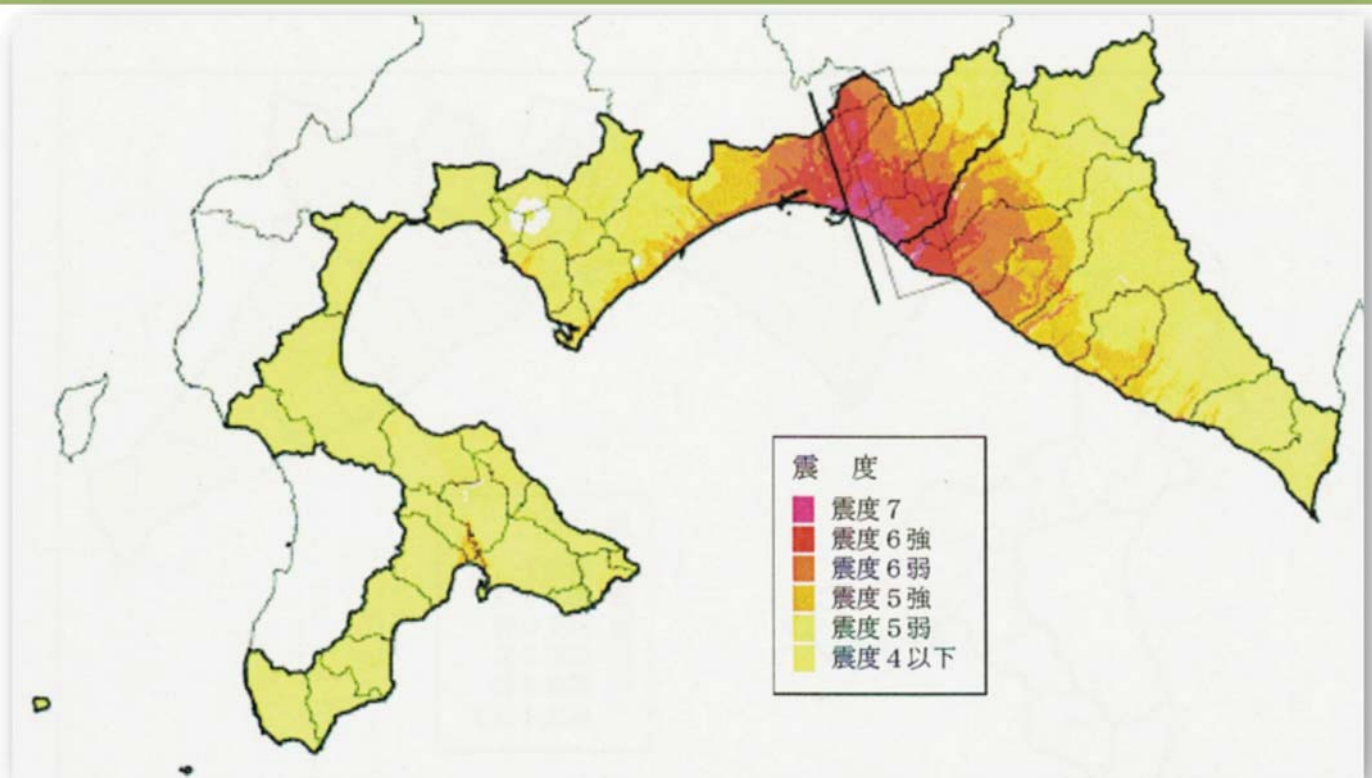
北海道大学

2010(平成22)年度における北海道の想定地震



北海道大学

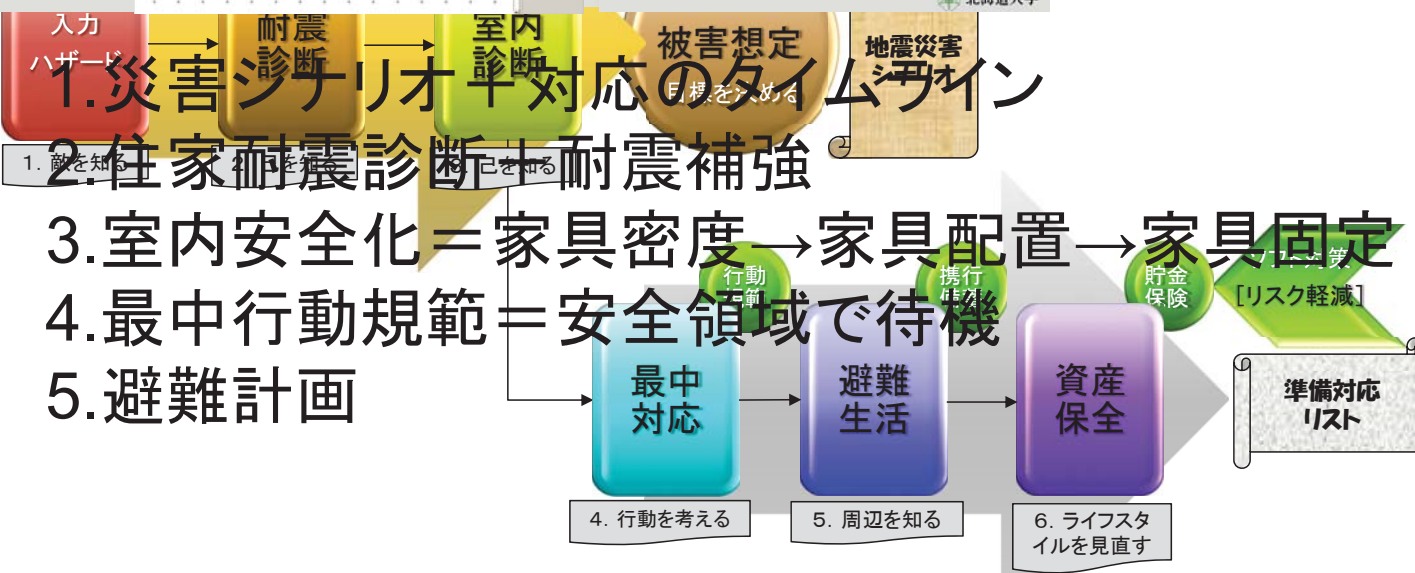
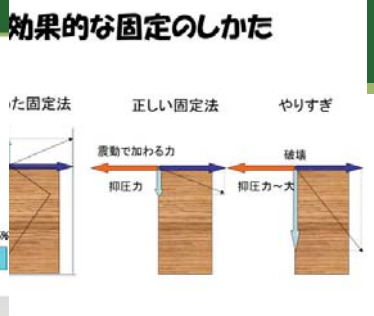
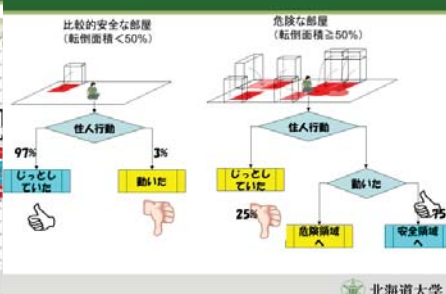
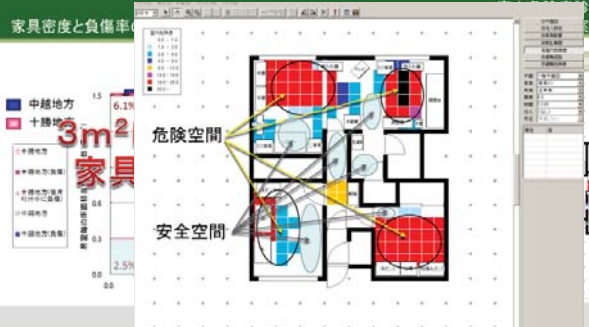
想定震度分布: 石狩低地東縁断層帯南部(深さ3km、M7.16)



北海道:平成25年度地震被害想定等調査結果報告書、平成27年2月



北海道大学



冬の避難は危険がいっぱい

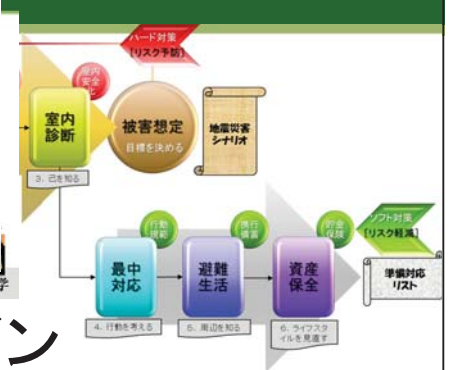
避難所

避難途上の遭難と関連死を認識しよう。
 関連死は我が家が住めなくなることで発生。
 避難しなくても良い**住宅耐震性**を確保しよう。
 避難しなくても良い**室内安全**を確保しよう。
 積雪寒冷地では避難すること自体が危険。
 （土砂災害と津波・水害は例外）

しかし、複合災害発生時には避難を余儀なくされる。
 外出してはいけない環境下で、
 （例）暴風雪のさなかに
 避難しなくてはならなくなる
 （例）津波が発生した。 / （例）地震で住家が倒壊した。
 このような想定に、どう対応したらよいか？



冬の体育館は寒い
 関連死！
 フライバシーはない！



1. 災害シナリオ＋対応のタイムライン

2. 住家耐震診断＋詳しくは配付テキストをご覧ください。

3. 室内安全化＝家具密度→家具配置→家具固定

4. 最中行動規範＝安全領域で待機

5. 避難計画

6. 携行品と備蓄品

7. ライフスパンで資産管理



北海道大学

防災対策を理解しましょう

防災対策とは・・・相身(あいみ)互い(たがい)

防災対策＝自助 × 共助 × 公助 (※かけ算に注意)

自助とは、自分と家族の命を護るため自ら取り組むこと。

共助とは、地域を護るため近隣が助け合って取り組むこと。

公助とは、公的支援など行政が取り組むこと。

- ・ 一人が頑張ってもダメです。
- ・ みんなが防災の重要性を理解し、そのために何をすれば良いのか、みんなの共通理解とすることが大切です。
- ・ 防災を、日本の文化に昇華させましょう。



緊急生活支援



北海道大学