

2024年5月30日於:土木学会講堂
令和6年能登半島地震被害とその調査から学ぶ
～地震防災に向けた発信・蓄積・教育・技術伝承～

地震初動調査における 液状化被害地域の予測と分析

関東学院大学 工学総合研究所・研究員
若松 加寿江

平成以降の34年間に液状化が発生した地震

- 1993年釧路沖地震(M7.5)
- 1993年能登半島沖(M6.6)
- 1993年北海道南西沖地震(M7.8)
- 1994年北海道東方沖地震(M8.2)
- 1994年三陸はるか沖地震(M7.6)
- 1995年兵庫県南部地震(M7.3)
- 1997年鹿児島県北西部(M6.6)
- 1997年鹿児島県北西部(M6.4)
- 1999年秋田県沖(M5.3)
- 2000年鳥取県西部地震(M7.3)
- 2001年芸予地震(M6.7)
- 2003年宮城県沖(M7.1)
- 2003年宮城県北部(M6.4)
- 2003年十勝沖地震(M8.0)
- 2004年新潟県中越地震(M6.8)
- 2004年釧路沖(M7.1)
- 2005年福岡県西方沖(M7.0)
- 2005年宮城県沖(M7.2)
- 2007年能登半島地震(M6.9)
- 2007年新潟県中越沖地震(M6.8)
- 2008年岩手・宮城内陸地震(M7.2)
- 2009年駿河湾(M6.6)
- 2011年東北地方太平洋沖地震
(M_w 9.0)
- 2013年淡路島付近(M6.3)
- 2016年熊本地震(M7.3)
- 2016年鳥取県中部(M6.6)
- 2018年大阪府北部(M6.1)
- 2018年北海道胆振東部地震(M6.7)
- 2019年山形県沖地震(M6.7)
- 2021年福島県沖(M7.3)
- 2022年日向灘(M6.6)
- 2022年福島県沖(M7.4)
- 2024年能登半島地震(M7.6)

地震直後の調査・分析の流れ

液状化被害地域の予測

現地調査による被害の確認

調査レポートの作成

液状化地点の土地条件と
被害の分析

液状化被害地域の予測

- 液状化が発生しうる範囲(震央距離・震度階)
- 液状化ハザードマップ
- 微地形区分の分布
- 液状化履歴地点
- 液状化しやすい土地条件の絞り込み
- SNS・YouTubeの情報収集(Street Viewで場所の特定)

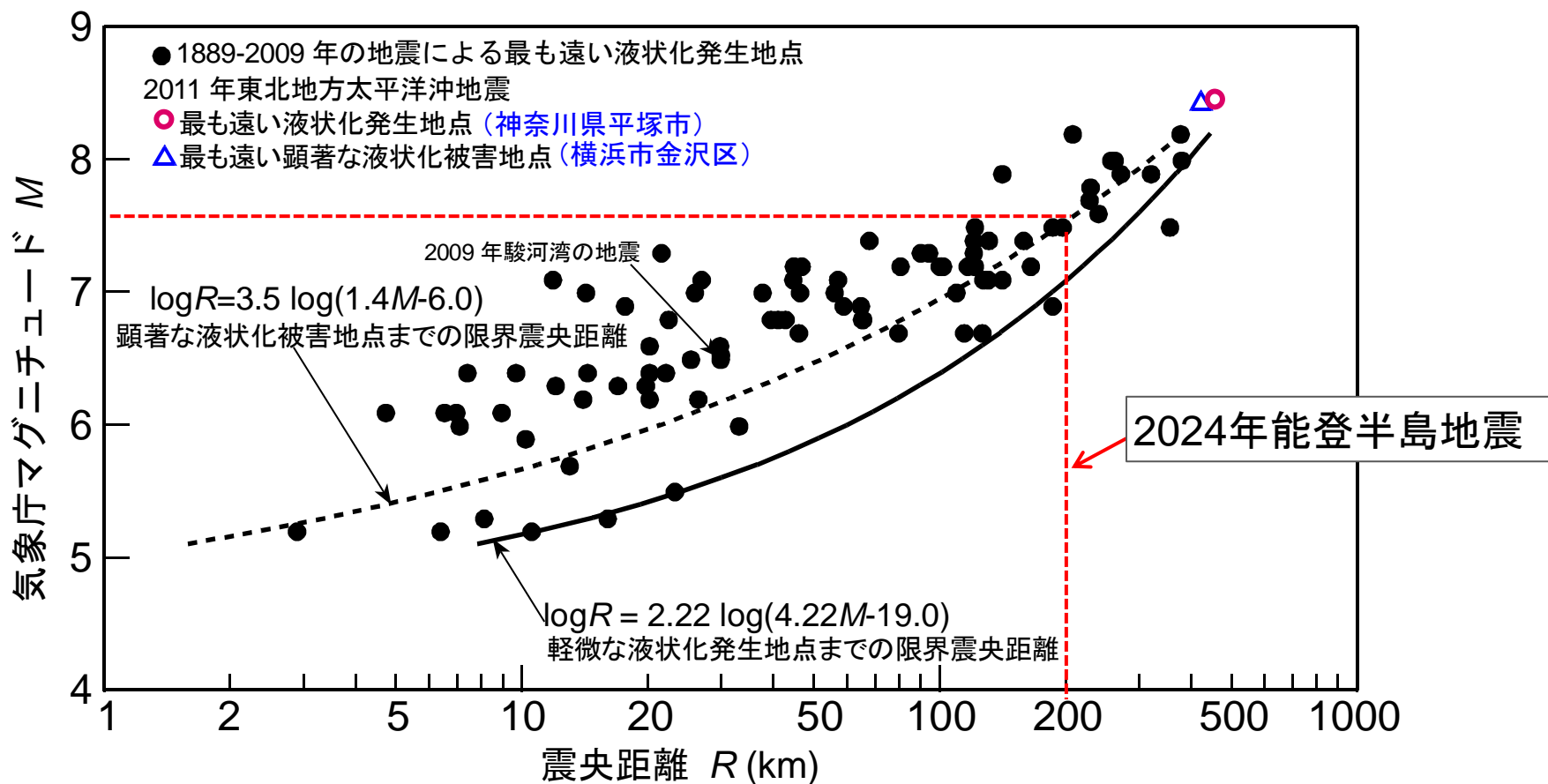
現地調査

POINT!

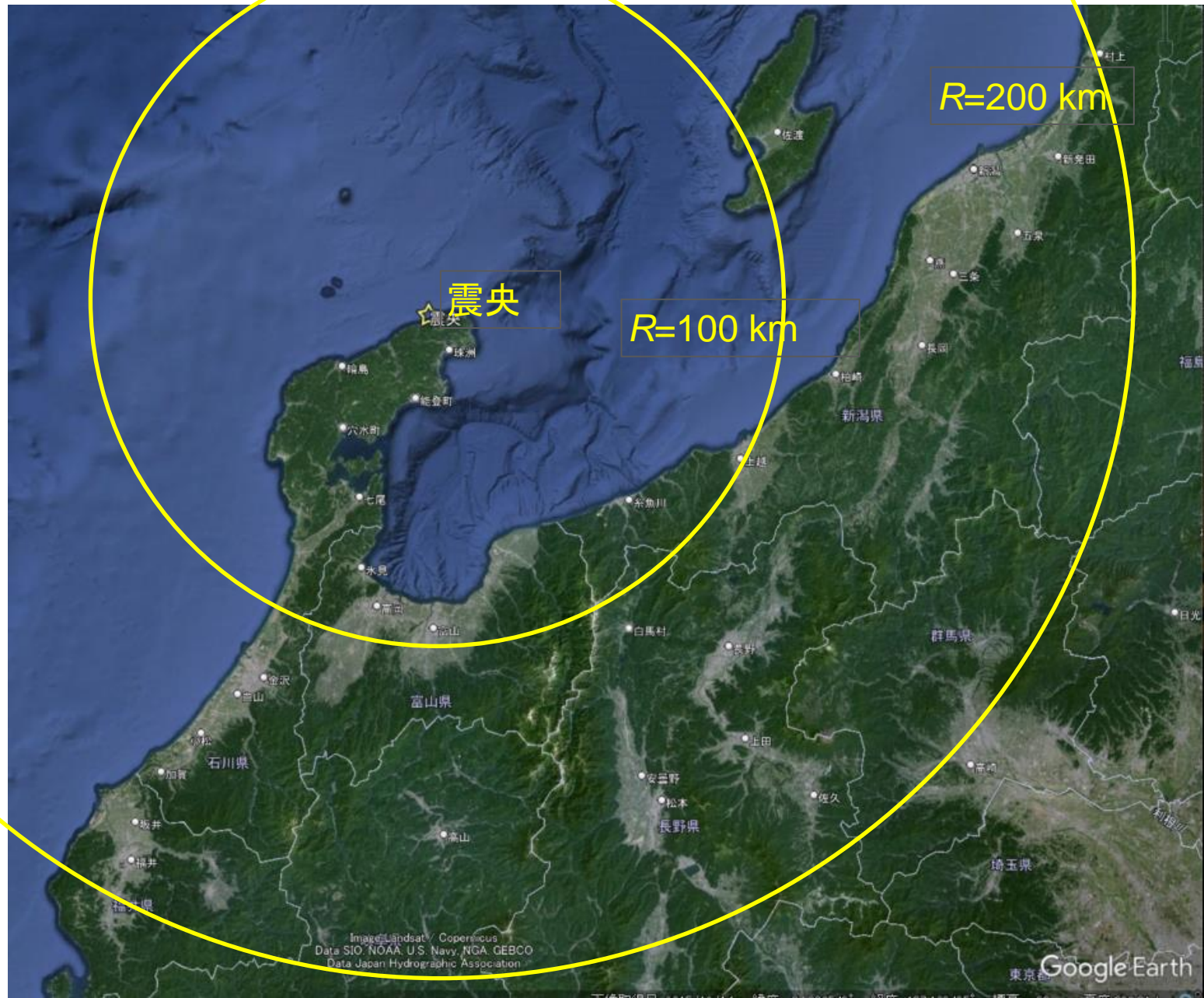
予察調査資料を現地で参照しやすい形に集約して携行することが重要

最も遠い液状化発生地点までの震央距離 R と地震マグニチュード M との関係¹⁾

87地震(1889年熊本地震～2007年岩手・宮城内陸地震)の事例に基づく



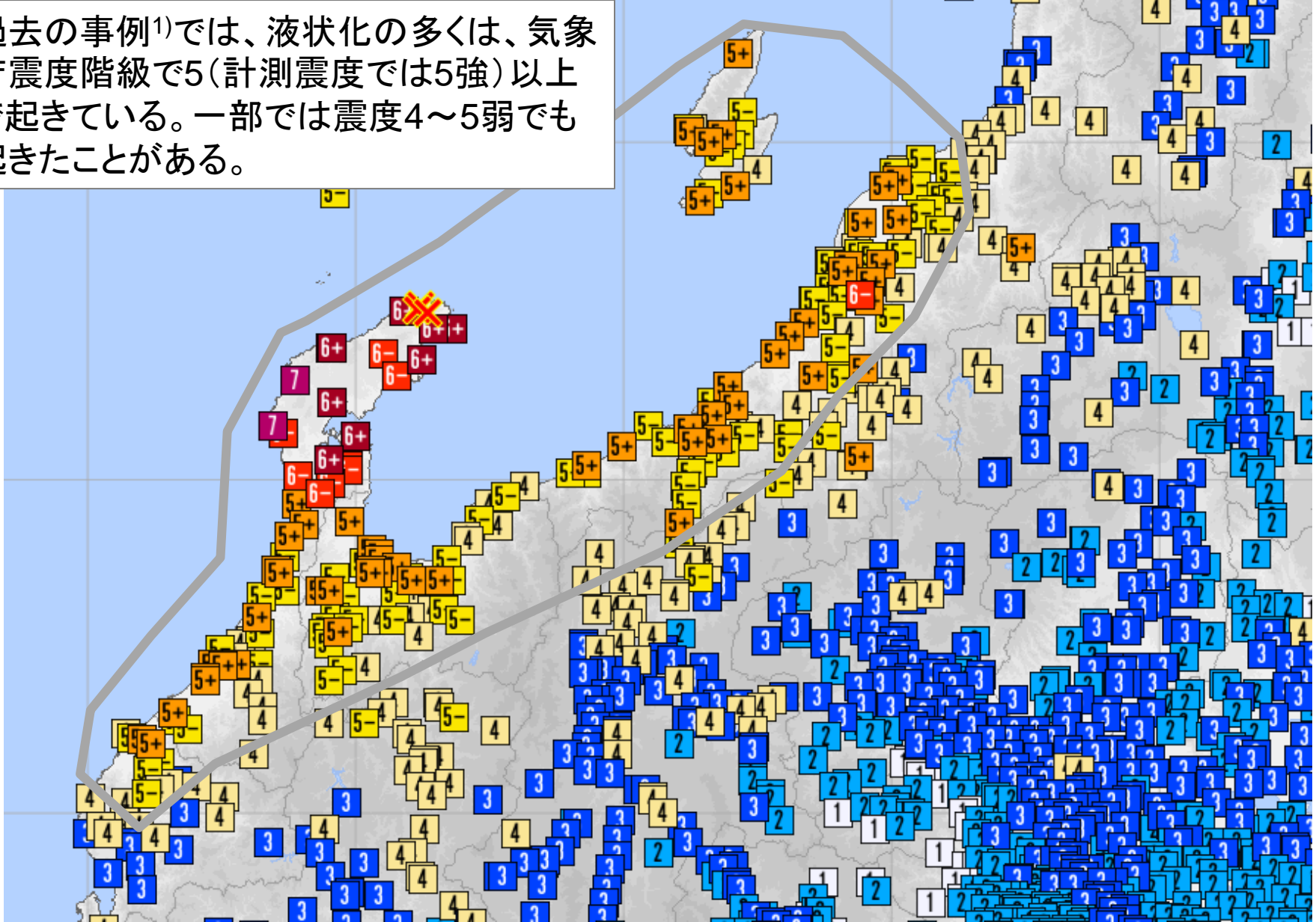
液状化が発生しうる震央距離R



気象庁による震度分布²⁾

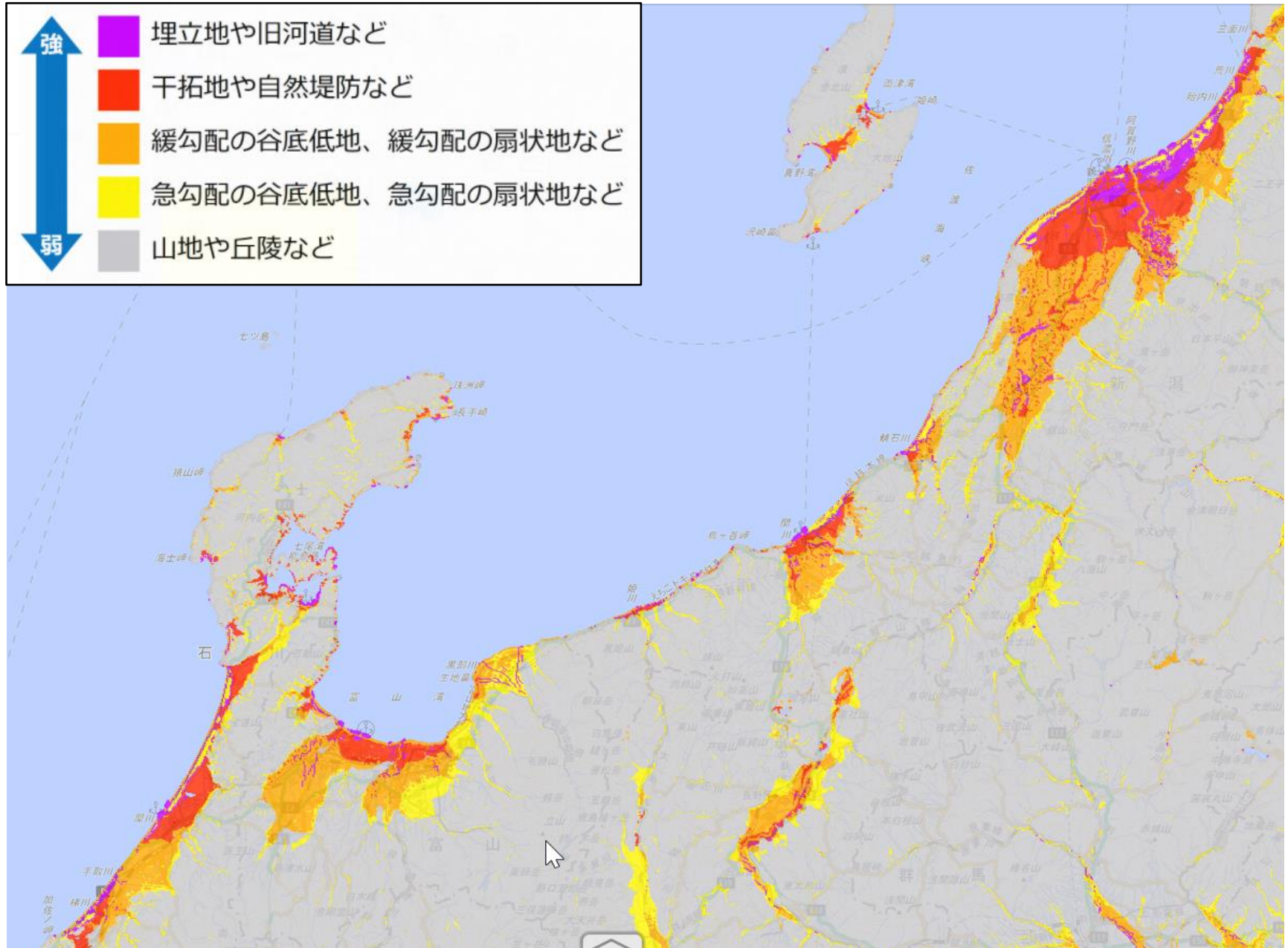
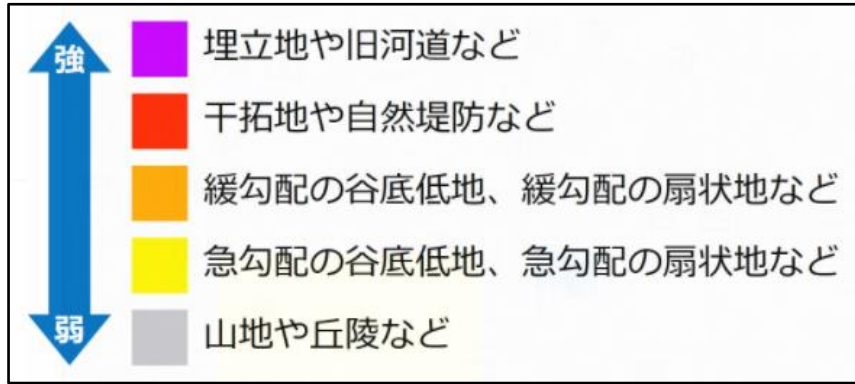
<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.html#20240101161022>

過去の事例¹⁾では、液状化の多くは、気象庁震度階級で5(計測震度では5強)以上で起きている。一部では震度4~5弱でも起きたことがある。



「地形区分に基づく液状化の発生傾向図」を参考にする

重ねるハザードマップ→すべての情報から選択→土地の特徴・成り立ち→液状化発生傾向図



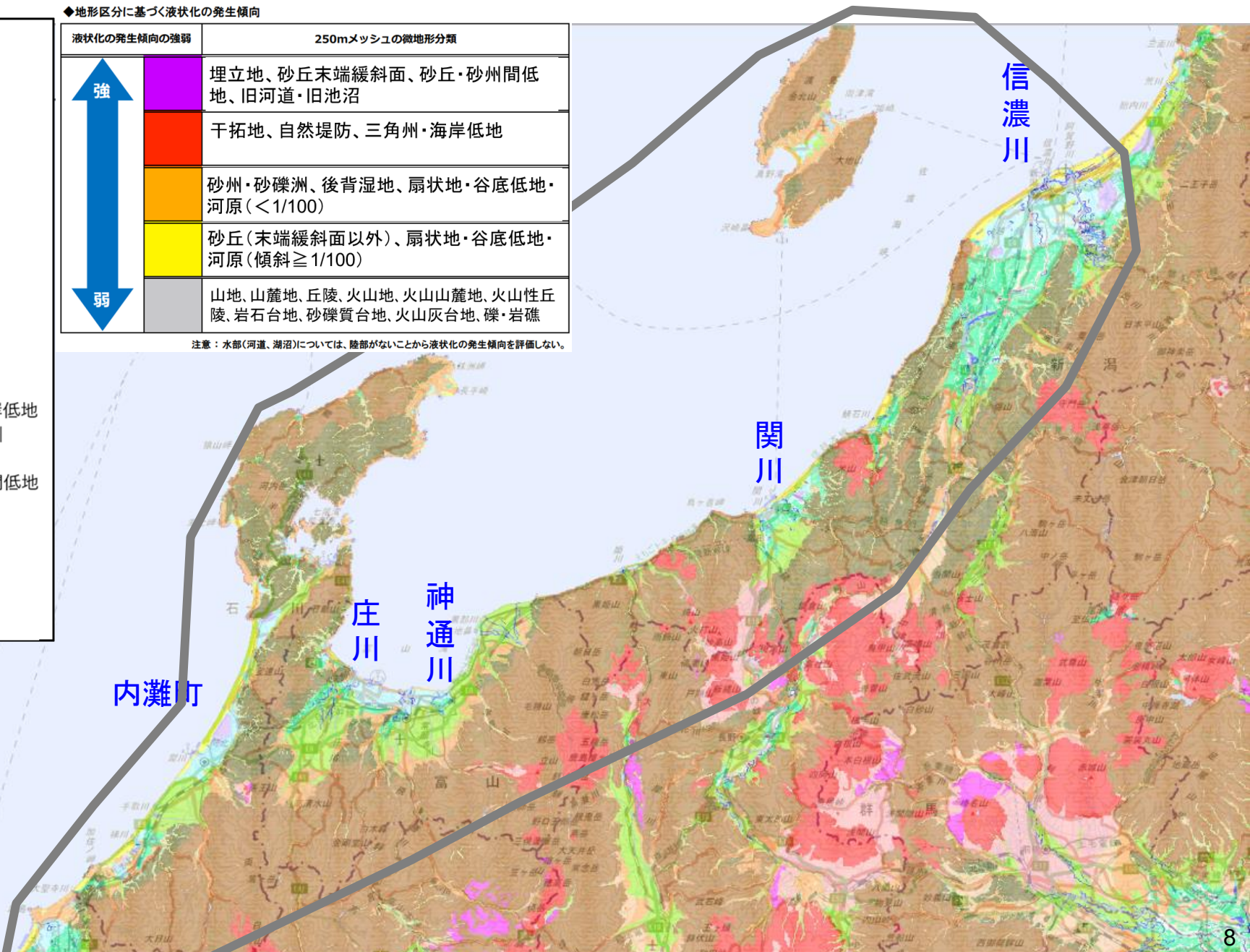
微地形区分の分布³⁾から液状化発生域を絞り込む

◆地形区分に基づく液状化の発生傾向

- 微地形区分
- 山地
 - 山麓地
 - 丘陵
 - 火山地
 - 火山山麓地
 - 火山性丘陵
 - 岩石台地
 - 砂礫質台地
 - 火山灰台地
 - 谷底低地
 - 扇状地
 - 自然堤防
 - 後背湿地
 - 旧河道
 - 三角州・海岸低地
 - 砂州・砂礫洲
 - 砂丘
 - 砂州・砂丘間低地
 - 干拓地
 - 埋立地
 - 磯・岩礁
 - 河原
 - 河道
 - 湖沼

液状化の発生傾向の強弱	250mメッシュの微地形分類
強 ↑	埋立地、砂丘末端緩斜面、砂丘・砂州間低地、旧河道・旧池沼
	干拓地、自然堤防、三角州・海岸低地
弱 ↓	砂州・砂礫洲、後背湿地、扇状地・谷底低地・河原 (< 1/100)
	砂丘(末端緩斜面以外)、扇状地・谷底低地・河原(傾斜 ≥ 1/100)
	山地、山麓地、丘陵、火山地、火山山麓地、火山性丘陵、岩石台地、砂礫質台地、火山灰台地、礫・岩礁

注意：水部(河道、湖沼)については、陸部がないことから液状化の発生傾向を評価しない。



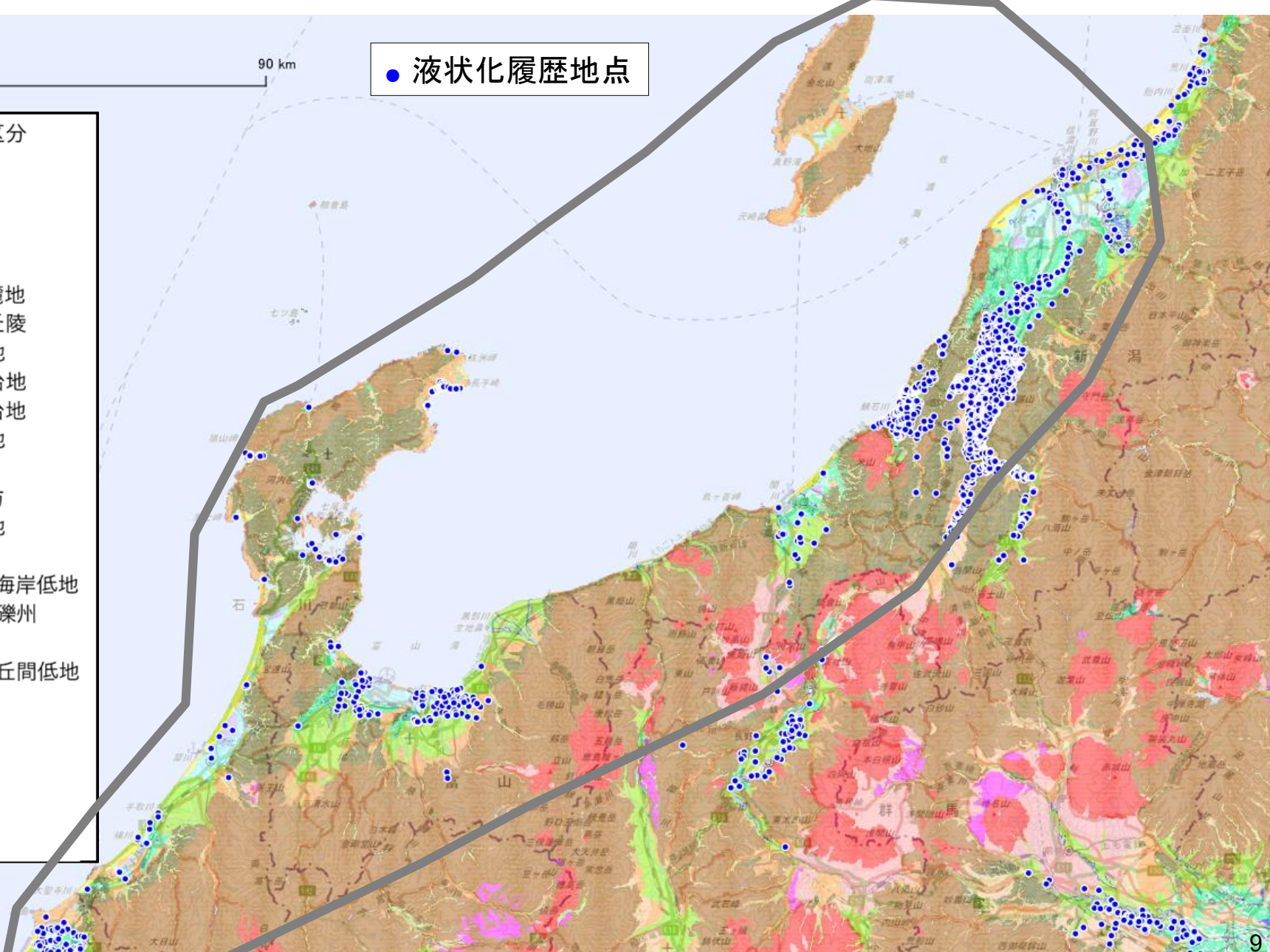
液状化履歴¹⁾情報も加味して液状化発生域を予想

0 90 km

● 液状化履歴地点

微地形区分

- 山地
- 山麓地
- 丘陵
- 火山地
- 火山山麓地
- 火山性丘陵
- 岩石台地
- 砂礫質台地
- 火山灰台地
- 谷底低地
- 扇状地
- 自然堤防
- 後背湿地
- 旧河道
- 三角州・海岸低地
- 砂州・砂礫州
- 砂丘
- 砂州・砂丘間低地
- 干拓地
- 埋立地
- 磯・岩礁
- 河原
- 河道
- 湖沼



微地形区分³⁾ + 液状化履歴¹⁾ + 2024年液状化

- 液状化履歴地点
- 2024年能登半島地震液状化

- 微地形区分
- 山地
 - 山麓地
 - 丘陵
 - 火山地
 - 火山山麓地
 - 火山性丘陵
 - 岩石台地
 - 砂礫質台地
 - 火山灰台地
 - 谷底低地
 - 扇状地
 - 自然堤防
 - 後背湿地
 - 旧河道
 - 三角洲・海岸低地
 - 砂州・砂礫州
 - 砂丘
 - 砂州・砂丘間低地
 - 干拓地
 - 埋立地
 - 磯・岩礁
 - 河原
 - 河道
 - 湖沼

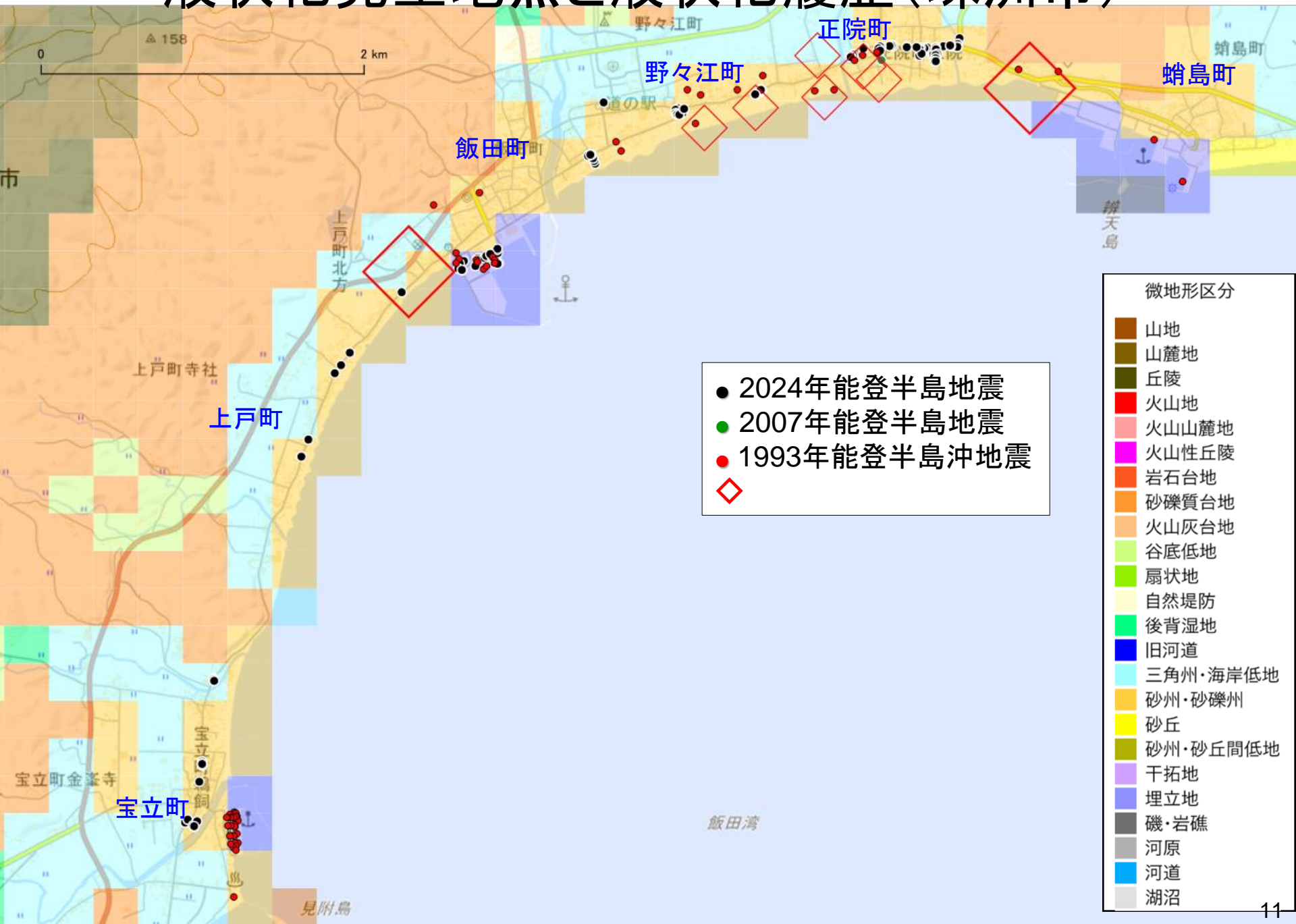
$R_{max} = 180 \text{ km}$ (福井港) 埋立地・震度4
 170 km (新潟西港) 埋立地・震度4

震央★

新潟西港

福井港

液状化発生地点と液状化履歴（珠洲市）

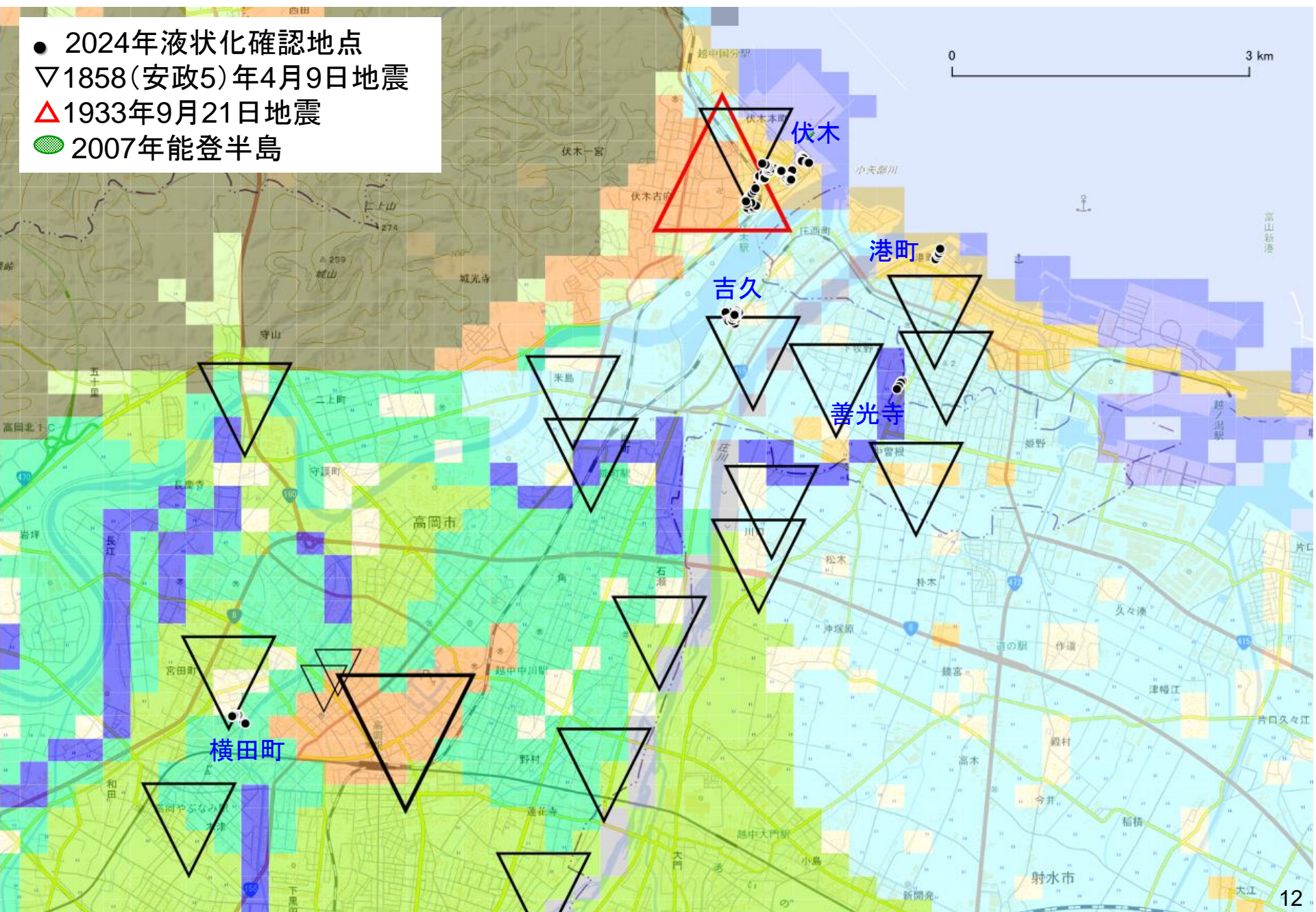


- 2024年能登半島地震
- 2007年能登半島地震
- 1993年能登半島沖地震
- ◇

微地形区分	
山地	
山麓地	
丘陵	
火山地	
火山山麓地	
火山性丘陵	
岩石台地	
砂礫質台地	
火山灰台地	
谷底低地	
扇状地	
自然堤防	
後背湿地	
旧河道	
三角洲・海岸低地	
砂州・砂礫州	
砂丘	
砂州・砂丘間低地	
干拓地	
埋立地	
磯・岩礁	
河原	
河道	
湖沼	

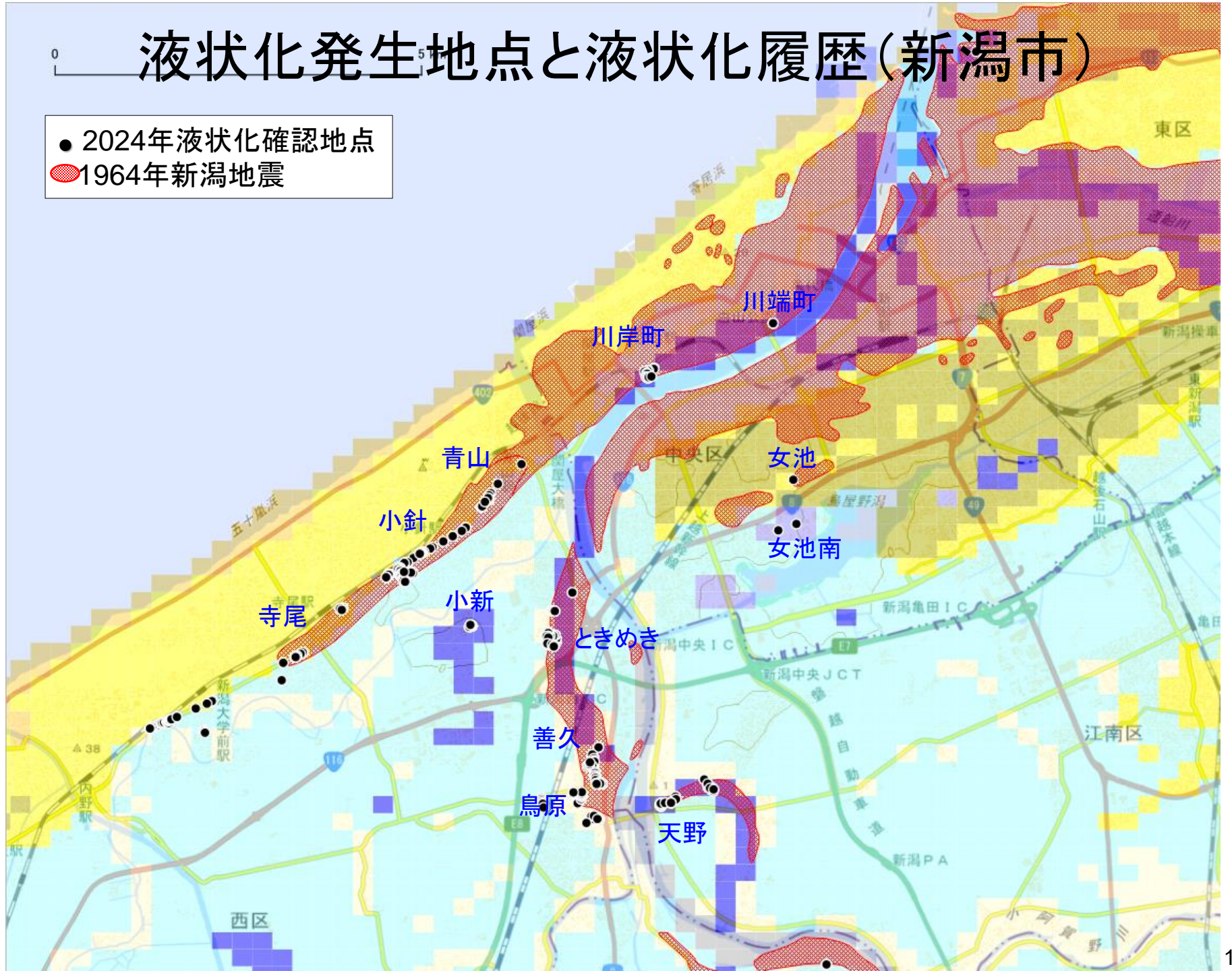
液状化発生地点と液状化履歴(高岡市・射水市)

- 2024年液状化確認地点
- ▽ 1858(安政5)年4月9日地震
- △ 1933年9月21日地震
- 2007年能登半島

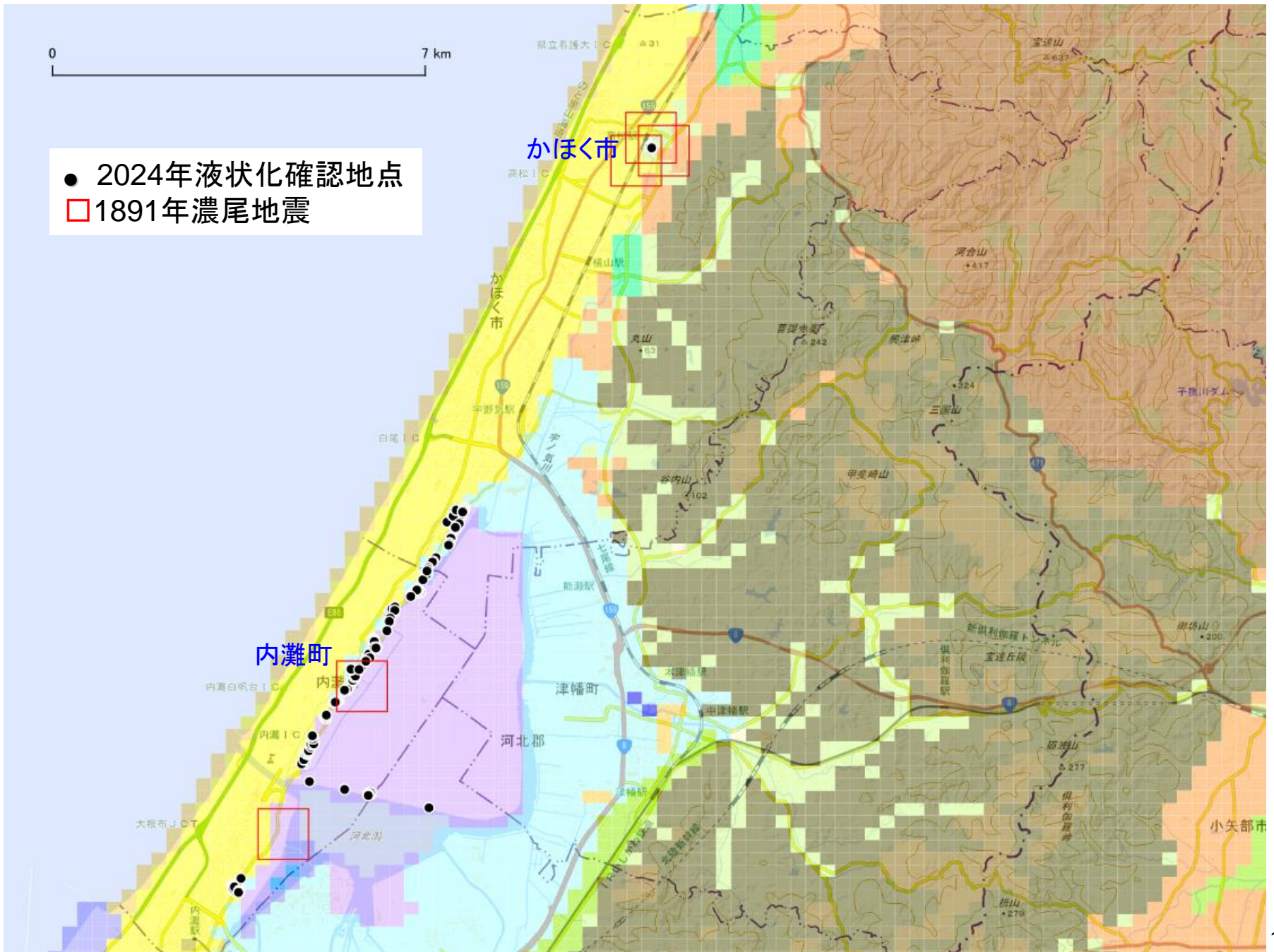


液状化発生地点と液状化履歴(新潟市)

- 2024年液状化確認地点
- 1964年新潟地震



液状化発生地点と液状化履歴（内灘町・かほく市）



現地調査

- GPS付きカメラ(液状化地点の座標の記録)
- GPSロガー(非液状化地域の確認)
- フィールドノート・コンベックス・角度計・レーザー距離計・ドローン

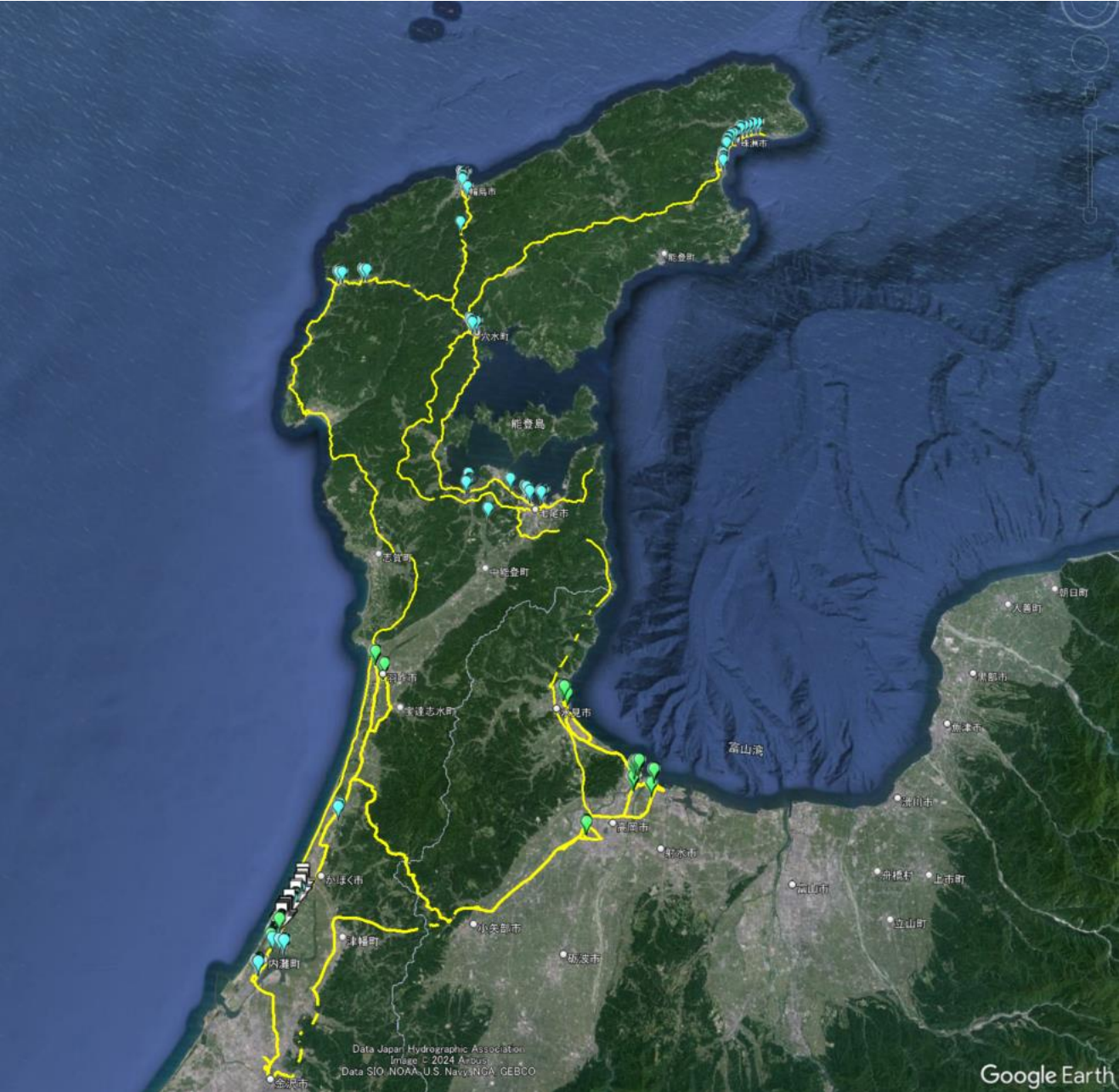
液状化発生地点の整理

液状化地点のGISデータベース化
(地理院地図、QGIS、Google Earth)

調査レポート作成

液状化地点の土地条件と被害の分析

GPSTラックログと噴砂確認位置(2024年能登半島)



被害調査レポート作成のすすめ

調査レポートを作成することで気づくことは沢山ある



以下のスライドは、若松のレポート⁴⁾⁵⁾より引用

写真はなるべく多く撮ろう(高岡市伏木錦町の例)



撮影場所の緯度・経度を必ず入れよう



図1 内灘町西荒屋小学校バス停
(36.677200N, 136.667344E, 方位角310.213°)
2024年1月30日撮影

奥が砂丘で県道に出る狭い道路。地震前は僅か1.8% (地理院地図で計測) の下り坂だったが側方流動で押し出され、手前の県道の路盤にぶつかって盛り上がり急斜面になっている。

図2 図1の右手の建物の内部
(36.677247N, 136.667372E, 方位角292.9931°)
2024年1月30日撮影

床版が持ち上がったことにより天井高が極端に低くなった建物内部。地震前のストリートビューで見ると、元々は3枚の引き戸があった (折れ曲がって写真の奥に置かれている)。

濃尾地震(明治24年)のアンケート調査回答集⁶⁾⁷⁾ に記録された133年前の内灘町の液状化

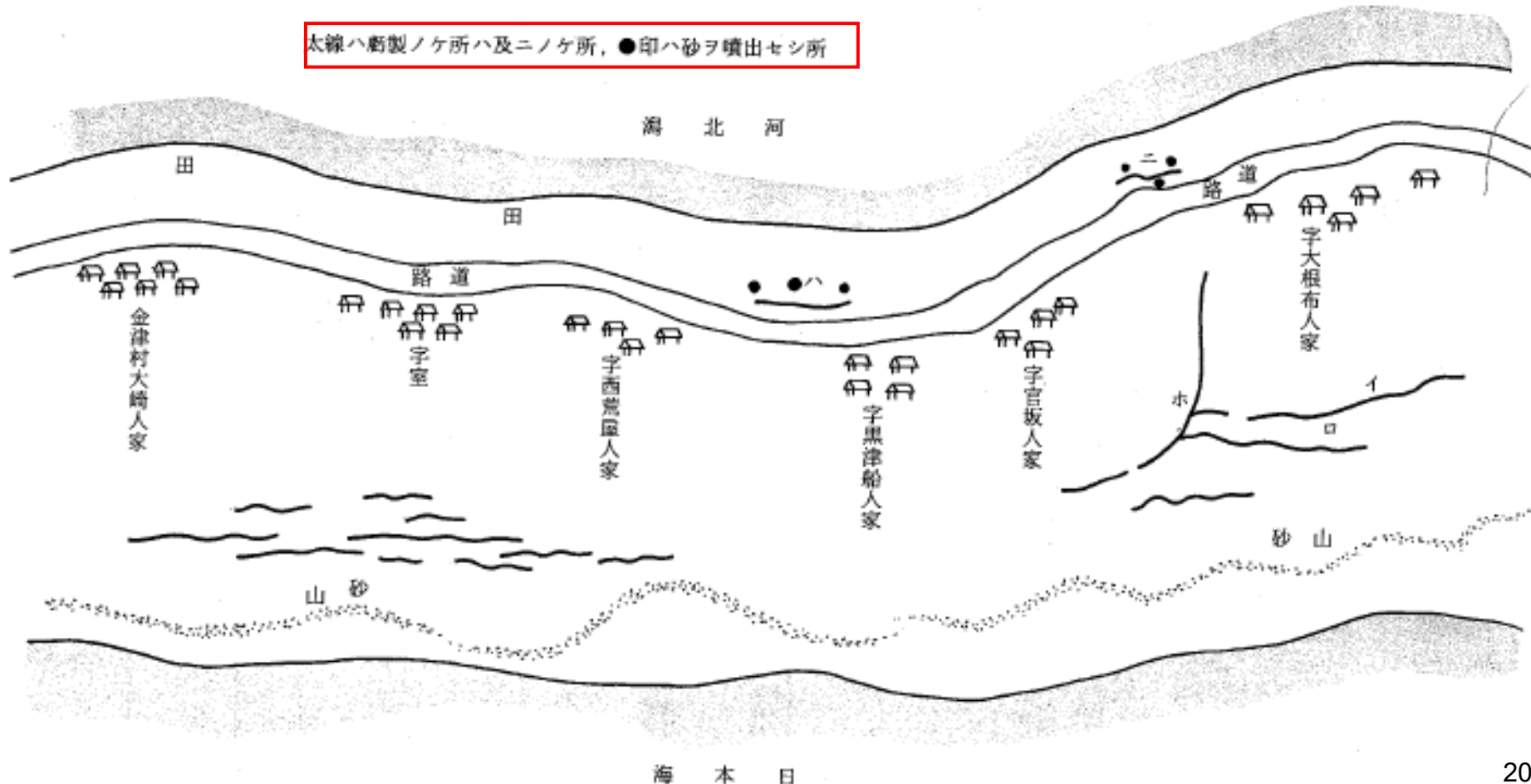
内灘村大根布

①ハ4丁斗、②ハ2丁斗、③ハ1丁斗、④ハ百間斗、⑤ハ40間斗、幅5、6乃至1寸、深さ1尺乃至3尺

内灘村室 長さ4、50間乃至3丁、幅2寸乃至4、5寸、深さ1尺乃至3尺

(注)1丁=106m、1間=1.8m、1尺=30cm、1寸=3cm

太線ハ新製ノケ所ハ及ニノケ所、●印ハ砂ヲ噴出セシ所



濃尾地震(明治24年)のアンケート調査⁶⁾⁷⁾

石川県203通／全1425通の回答

【質問項目(原文のまま)】

1. 観測の場所および答案者の住所氏名
2. 震動の時刻、もし震動数回ならば各回の時刻
3. 震動の時間
4. 震動の方向
5. 地上の波浪状の震動ありしやもし有りたれば震動の高低長短および方向
6. 家屋その他石灯籠、石塔動揺および転倒の方向
7. もし放出されたる物品あれば幾ばくの高さ幾ばくの距離に投げられしや
8. 湖、池或いは井の水に波動ありしやもしありたればその波動の高さ長さ方向及びその湖、池等の形状、方向、周囲
9. もし石碑の台石等移動せしものあれば左図の如く原位置(イロハニ)を黒線にて、震動後の位置を点線にて示されんことを要す
(イロ)或いは(ロハ)の方向
10. 最激震の前に微動または鳴動ありしや鳴動は如何なる響きにて何れの方向より来たりしと考えられしや
11. 街路に家屋の倒れしものあればその街路の方向および転覆の方向
12. 市街又は村落の地形、地質即ち平地、山地、粘土、岩石等
13. 近傍の河流又は溪谷位置の略図
14. 土地の隆起、陥没及び亀裂を記せし略図
15. 地面亀裂の長さ幅深さ及び方向
16. 築堤の崩壊せしものありや
17. 井水に異変ありしや水域は土砂等噴出せしや又水質或は水量に変動を生ぜしや
18. 泉水に異変ありしや又は新たに湧出せしものありや
19. 河流の水量変ぜしや
20. 亀裂より水、泥、砂、蒸気などその他何物をか噴出せしことありや
21. 牛、馬、犬、猫、家畜等の様子感覚
22. 海岸にて激浪起こりしや又船舶に損害ありしや
23. 航海中の船に異常ありしや
24. 震動の前兆とすべきものありしや

被害位置を正確に記録して後世に伝えよう！

濃尾地震のアンケート回答集⁶⁾⁷⁾に、高松村内高松字砂田の県道近傍で「赤錆色を呈セル泥砂水を噴出せる2箇所あり」の記録がある(図3)。そこで、この周辺で再液状化の痕跡を探した。その結果、図4の箇所で噴砂が見つかった。

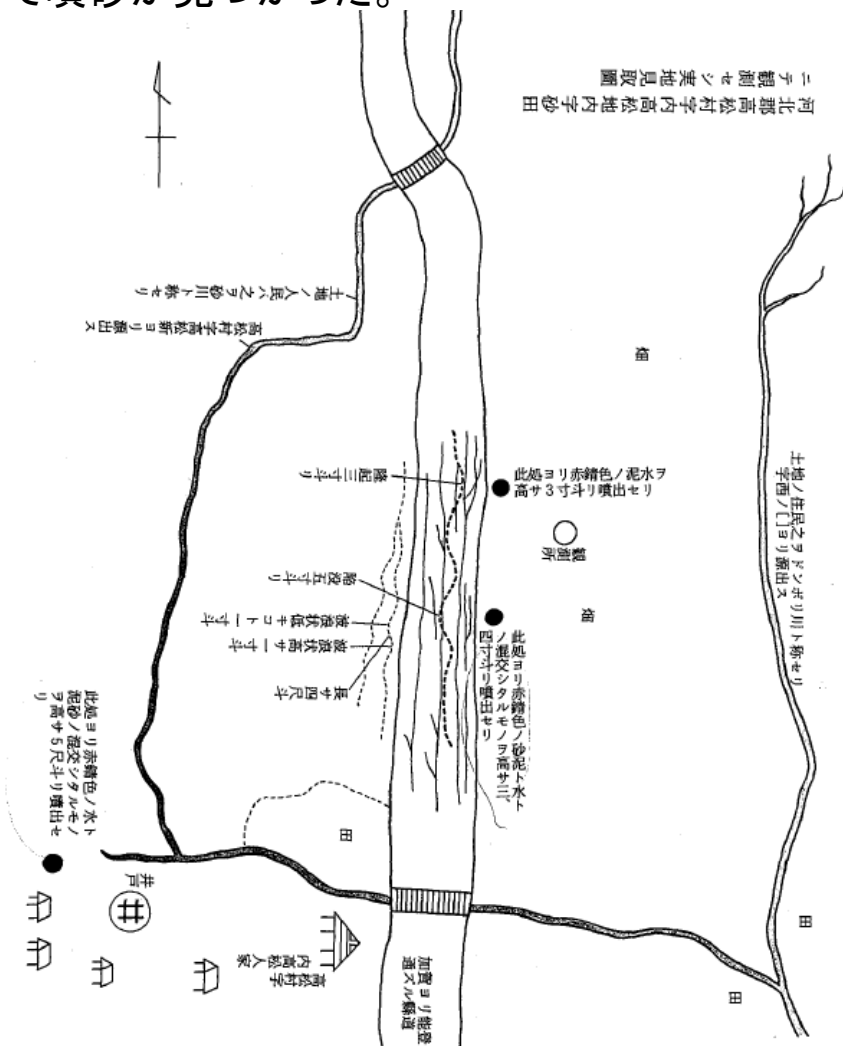


図3 1891年濃尾地震による液状化地点(●印)⁶⁾⁷⁾

図4 2024年地震による液状化確認地点(空色アイコン⁵⁾・黄色⁸⁾)

かほく市内高松で確認された噴砂



図5 かほく市内高松午39
(36.767206N, 136.729889E, 方位角119.9°)
2024年3月12日撮影



図6 かほく市内高松午39
(36.767075N, 136.730225E, 方位角7.3°)
2024年3月12日撮影

被害地の地理・地形条件を記載しよう



図8 内灘町湖西

(36.658050N, 136.670503E, 方位角275.3度°)

2024年3月12日撮影

写真の左手が河北潟、右手が河北潟干拓地。開口幅が1m近い地割れが多く見られ、地割れの中には噴砂が堆積していた。斜面が干拓地側に流動したと推測される。三角コーンが置いてある道路は、応急復旧しているものの凹凸が激しい。

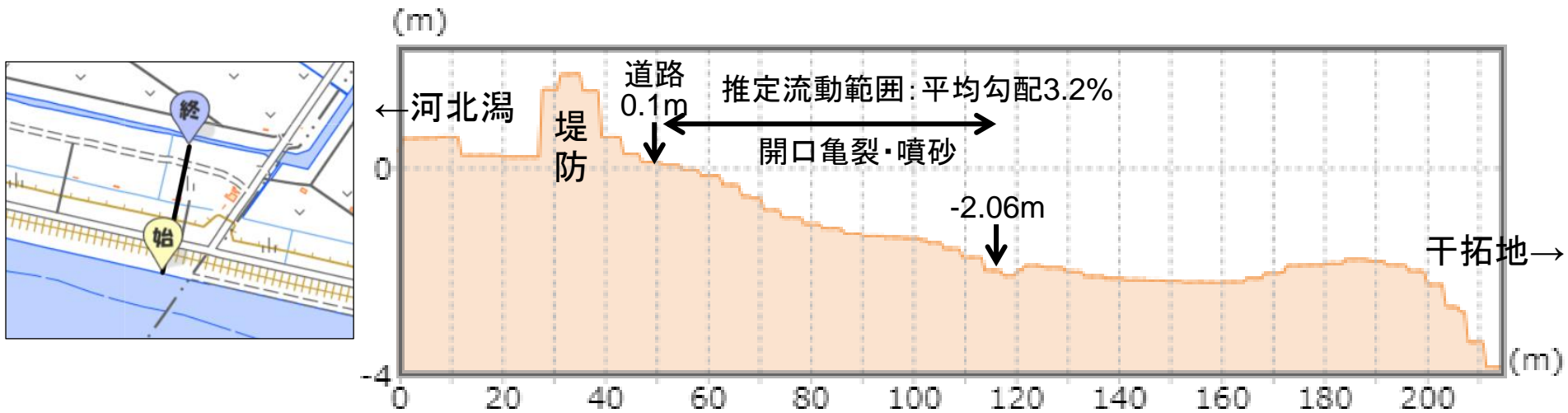


図9 内灘町湖西の断面図(地理院地図により作成)

被害地の地理・地形条件を記載しよう



図10 珠洲市野々江町ホ1-2

(37.442219N, 137.280944E, 方位角57.1°)

2024年3月13日撮影

内浦街道の海側の路肩には、排水溝と宅地の間に50cm程度の開きを生じており、大量の噴砂がたまっていた。図11ではブロック塀が落ち込んで大きく傾いている。街道は砂州の頂部を走っていることから、海岸に向かって側方流動が発生した可能性がある。



図11 珠洲市野々江町二

(37.442331N, 137.281128E, 方位角58.9°)

2024年3月13日撮影

被災前の写真（Google Street View）と比較 してみると、被害状況が分かりやすい



図12 内灘町西荒屋へ1-50
(36.676528N, 136.666900E, 方位角346.1123°)
2024年1月30日撮影



図13 図12の地震前の状況
(2023/8ストリートビュー)

図12: 左手奥が砂丘、右手前が県道。地盤が倉庫もろとも大きく持ち上がり、県道との境界に埋設されていた側溝が飛び出している。地震前の状況を図13に示す。

被災前の写真（Google Street View）と比較 してみると、被害状況が分かりやすい



図14 内灘町西荒屋イ5-1
(36.675956N, 136.666319E, 方位角345.3423°)
2024年1月30日撮影



図15 左の写真のガレージの地震前の状況
(2023/8ストリートビュー)

地震直後の動画があればリンクを貼ると現象の理解の助けになる



図16 新潟市西区善久1033-5
(37.861172N, 139.015458E, 方向角9.0°)

図17 新潟市西区善久459-29
(37.855981N, 139.012908E, 方向角359.3°)
2024年1月19日撮影

参考動画：<https://youtu.be/DKWAAEyNurY?si>

善久地区は、信濃川の旧河道で、ときめき地区の上流に位置する。1964年新潟地震では全域で液状化しているが、当時は大部分が水田であった。国土地理院の空中写真で確認すると、1970年代より宅地化が進み、現在では新潟市のベッドタウンとなっている。

現地調査

調査レポート作成

- 地理院地図の各種ツール・コンテンツ
- 全国Q地図(コンテンツは地理院地図と同じ。リンクが充実している)
- 旧版地形図(1/5万～1/5000)・今昔マップ
- 空中写真

被害調査・レポート作成を通じて
地形・地盤に関する知見の習得・蓄積



まとめに代えて

- 初心者の方へ

現地に行って被害を自身の目で観察し、調査レポートをまとめることにより、見てきた現象や被害地の土地条件を考察して下さい。

- ベテランの方へ

100年後でも活用できる被害調査記録をぜひ残して下さい。

引用文献

- 1) 若松加寿江:日本の液状化履歴マップ745-2008, 東京大学出版会, 71pp. & DV, 2011.
- 2) 気象庁:令和6年能登半島地震の震度分布(2024/4/10参照)
<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.html#20240101161022>
- 3) 若松加寿江・松岡昌志:地形・地盤分類250mメッシュマップ(2020更新版)
<https://www.j-shis.bosai.go.jp/labs/wm2020/>
- 4) 若松加寿江:令和6年能登半島地震による液状化発生地域の土地条件と液状化履歴, 2024.2.22,
https://www.jaee.gr.jp/wp-content/uploads/2024/01/20240101noto_wakamatsu.pdf
- 5) 若松加寿江・吉田望・陶野郁雄・青山翔吾:令和6年能登半島地震による液状化発生地域の土地条件と液状化履歴(その2.能登半島地域), 2024.5.5, https://www.jaee.gr.jp/wp-content/uploads/2024/01/20240101noto_wakamatsu_no2.pdf
- 6) 岐阜大学教育学部:濃尾地震(明治24年)のアンケート調査報告(石川県), 岐阜大学教育学部郷土資料(10), 142pp, 1979.
- 7) 村松郁栄・小見波正隆:濃尾地震(明治24年)当時のアンケート調査回答集, 防災科学技術研究所, 研究資料第155号, 841pp, 1992.
https://dil-opac.bosai.go.jp/publication/nied_tech_note/pdf/KJ-01_155.pdf
- 8) 石川敬祐・安田進:2024年能登半島地震地震被害調査一速報一, 2024.2.1(2024.4.16参照)
https://committees.jsce.or.jp/eec205/system/files/Ishikawa_TDU_2024NotoEq_0.pdf