

# 第54回試錐研究会

## 講演資料集

- 開催日 平成 28 年 2 月 25 日 (木)
- 会場 札幌サンプラザ 「金枝の間」  
(札幌市北区北 24 条西 5 丁目)
- 主催 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 地質研究所
- 協賛 北海道地質調査業協会  
一般社団法人 全国さく井協会北海道支部
- 後援 一般社団法人 日本応用地質学会北海道支部  
一般社団法人 資源・素材学会北海道支部  
北海道地域産業技術連携推進会議

## 第 54 回試錐研究会プログラム

---

日 時 : 平成 28 年 2 月 25 日(木) 13:10~17:30 (受付開始 12:30)

場 所 : 札幌サンプラザ 2 階「金枝の間」

(札幌市北区北 24 条西 5 丁目 Tel. 011-758-3111)

主 催 : 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 地質研究所

協 賛 : 北海道地質調査業協会 / 一般社団法人 全国さく井協会北海道支部

後 援 : 一般社団法人 日本応用地質学会北海道支部 / 一般社団法人 資源・素材学会北海道支部  
北海道地域産業技術連携推進会議

---

13:10 開会

■ 開会の挨拶(13:10 ~ 13:20)

北海道立総合研究機構 地質研究所  
所長 秋田 藤夫

■ 特別講演(13:20 ~ 15:05)

13:20 ~ 15:05 北海道の活火山の活動の現況と今後

北海道大学大学院理学研究院  
教授 中川 光弘

休憩(15:05 ~ 15:20)

■ 一般講演(15:20 ~ 17:15)

15:20 ~ 16:05 地質リスクマネジメントについて～地質リスク調査検討業務～

(一社)全国地質調査業協会連合会  
地質リスク WG 委員 黛 廣志  
(川崎地質株式会社 技術企画部 部長)

16:05 ~ 16:25 地すべり抑止杭着工段階で発現した地すべり拡大現象について

明治コンサルタント株式会社 技術部  
防災課長 清水 順二

16:25 ~ 16:45 支持層の不確実性を地質リスクマネジメントする

大地コンサルタント株式会社 札幌支社  
地質専門職 寺井 康文

16:45 ~ 17:15 自然の力を利用した水処理技術～人工湿地による坑廃水処理～

北海道立総合研究機構 地質研究所 資源環境部  
主査 荻野 激

■ 閉会の挨拶(17:15 ~ 17:25)

北海道地質調査業協会  
理事長 千葉 新次

17:30 閉会

---

18:00 ~ 意見交換会



# 目 次

## ■ 特別講演

北海道の活火山の活動の現況と今後	1
北海道大学大学院理学研究院 教授 中川 光弘	

## ■ 一般講演

地質リスクマネジメントについて～地質リスク調査検討業務～	27
(一社)全国地質調査業協会連合会 地質リスク WG 委員 黛 廣志 (川崎地質株式会社 技術企画部 部長)	
地すべり抑止杭着工段階で発現した地すべり拡大現象について	39
明治コンサルタント株式会社 技術部 防災課長 清水 順二	
支持層の不確実性を地質リスクマネジメントする	45
大地コンサルタント株式会社 札幌支社 地質専門職 寺井 康文	
自然の力を利用した水処理技術～人工湿地による坑廃水処理～	49
北海道立総合研究機構 地質研究所 資源環境部 主査 荻野 激	



## 特別講演

北海道の活火山の活動の現況と今後 .....	1
------------------------	---

北海道大学大学院理学研究院  
教授 中川 光弘



# 北海道の活火山の活動の現況と今後

北海道大学大学院理学研究院  
地球惑星科学部門  
中川 光弘

富良野岳上空から見た大雪-十勝火山群

# 1. 北海道の第四紀火山活動の時空変遷

洞爺カルデラと羊蹄山

# 講演目次

## 1. 北海道の第四紀火山活動の時空変遷

## 2. 北海道の活火山

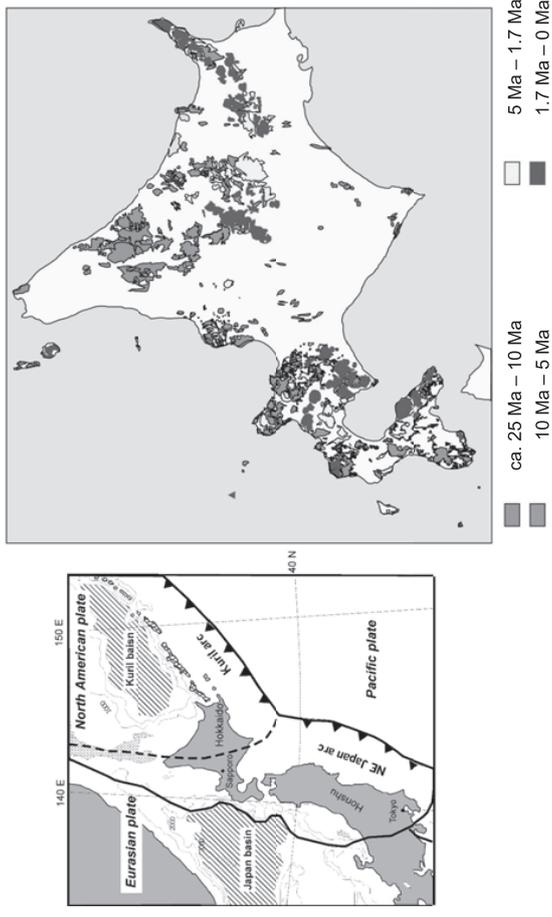
- ・活火山の定義と発見
- ・活動の特徴と時空変遷

## 3. 北海道の活動的活火山の現況と今後

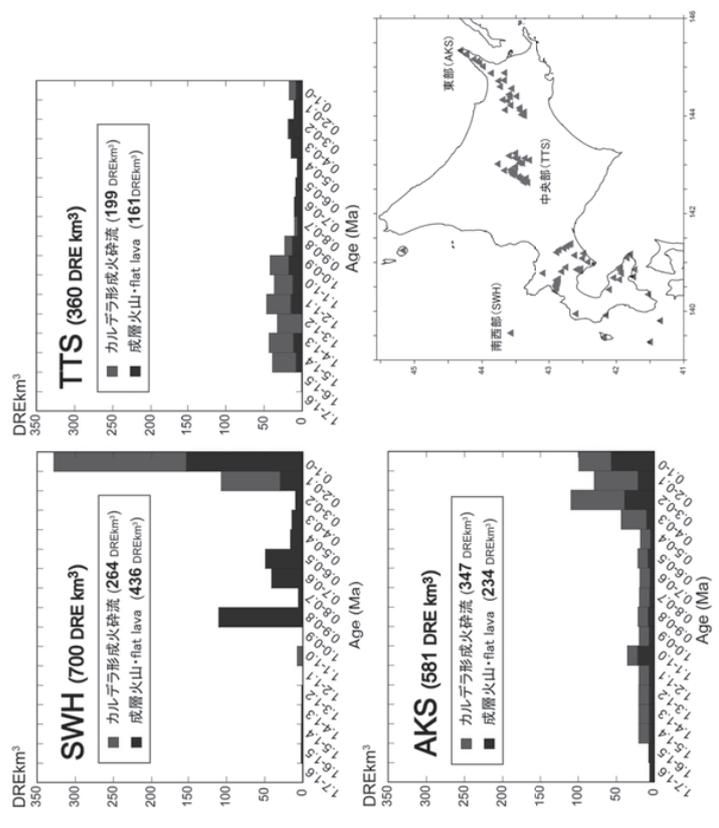
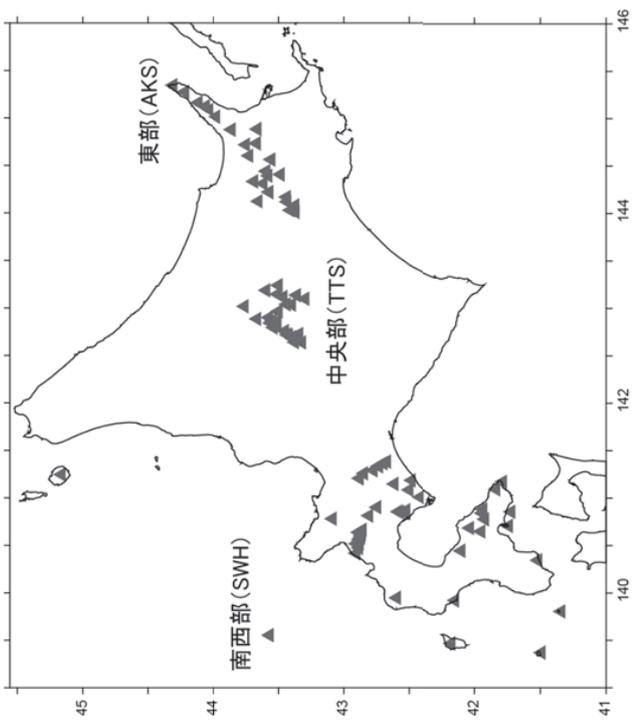
## 4. まとめ

南東上空から見た羊蹄山

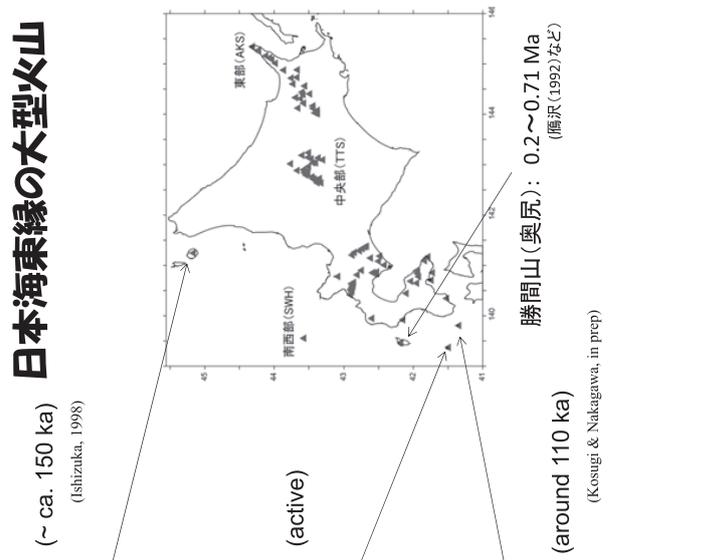
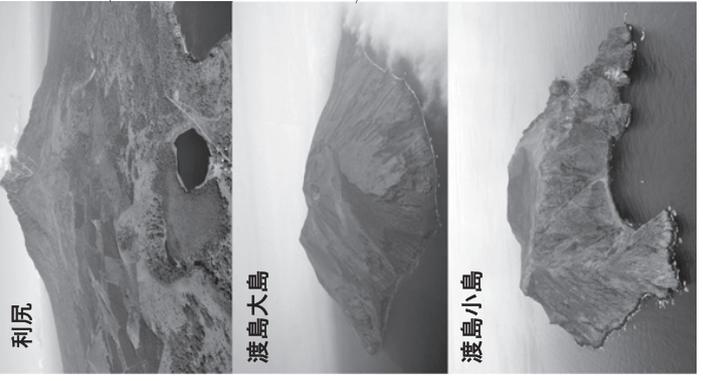
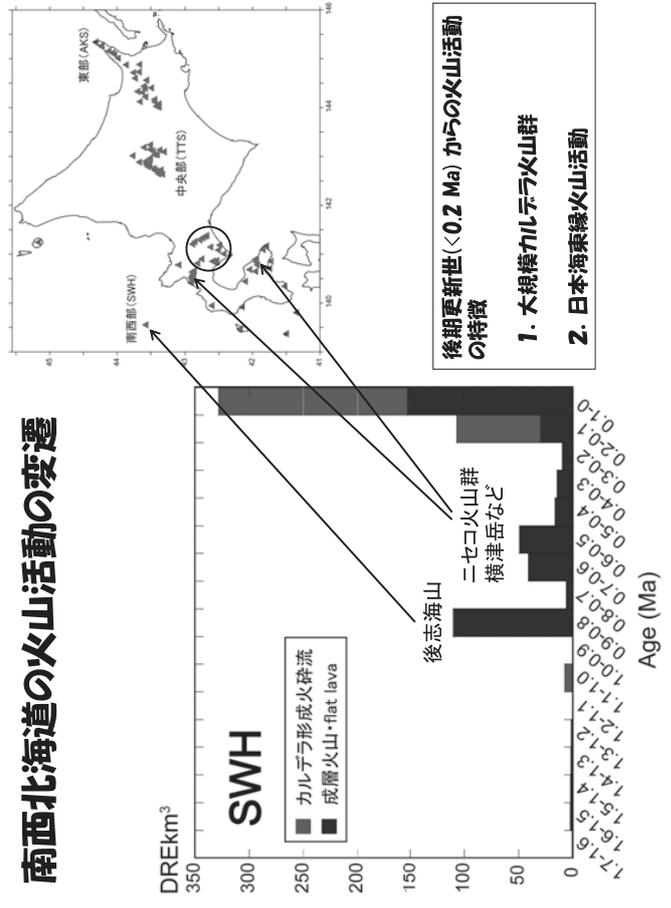
北海道の新生代火山岩分布  
(大規模火砕流は除く)  
(藤瀬・中川(1999)および藤瀬ほか(2000)をコンパイル)



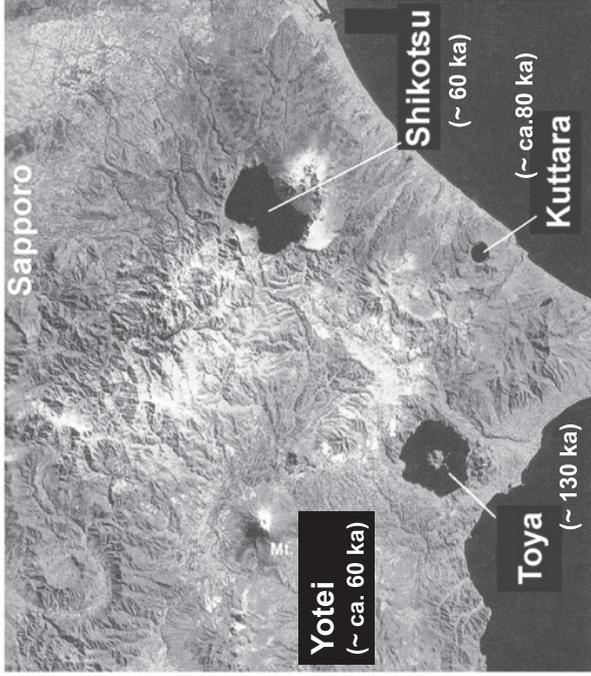
# 170万年以降の北海道の3火山地域



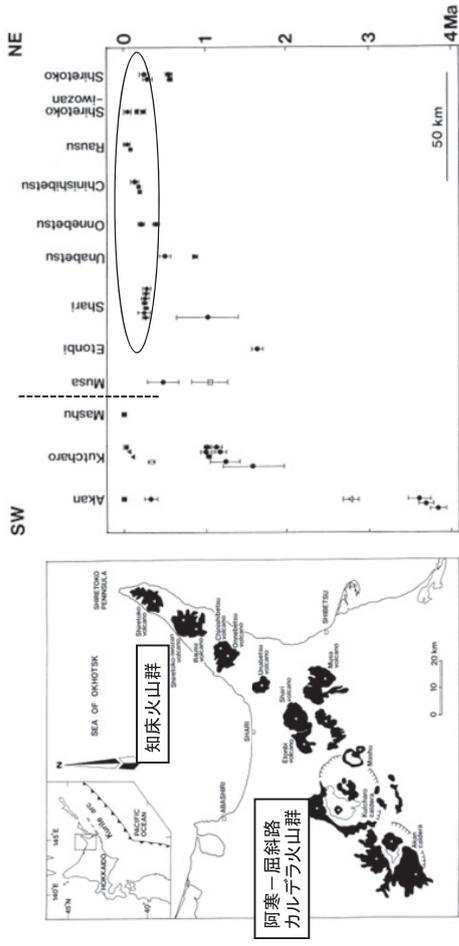
# 南西北海道の火山活動の変遷



### 南西北海道のカルデラ火山群 (< 110 ka)



### 東部 (AKS: 阿寒-知床火山列) の火山活動の時空変遷

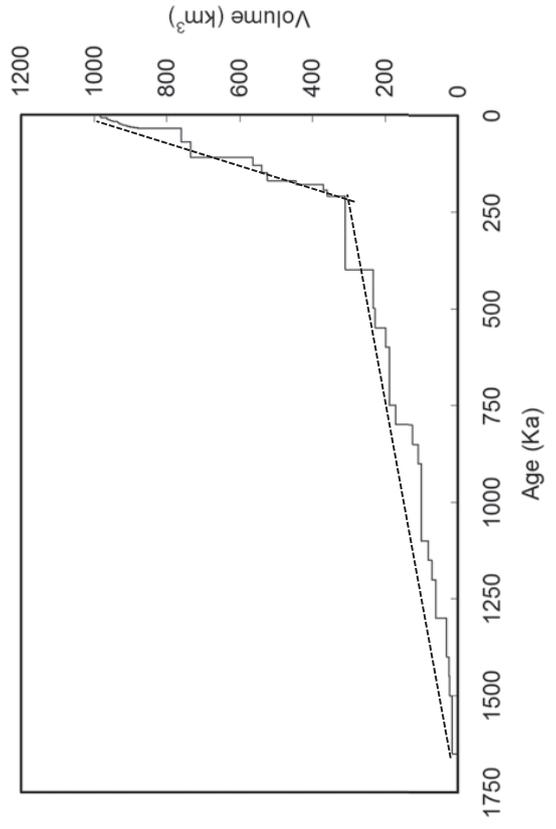


Goto et al. (2000)

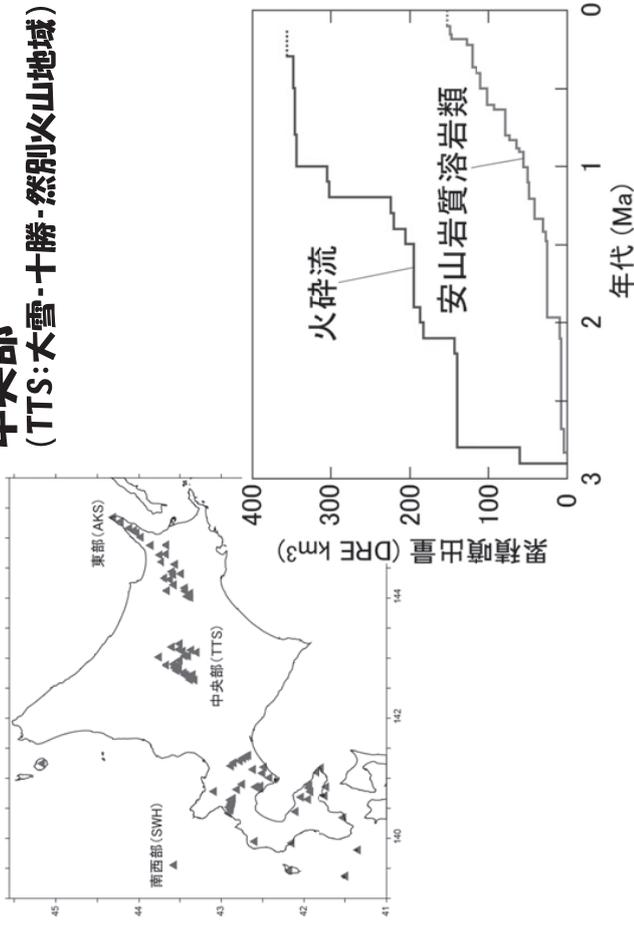
### 北海道東部のカルデラ火山群 (阿寒-屈斜路-摩周カルデラ)



### 阿寒・屈斜路・摩周火山の全体の階段ダイアグラム



## 中央部 (TTS:大雪・十勝・然別火山地域)

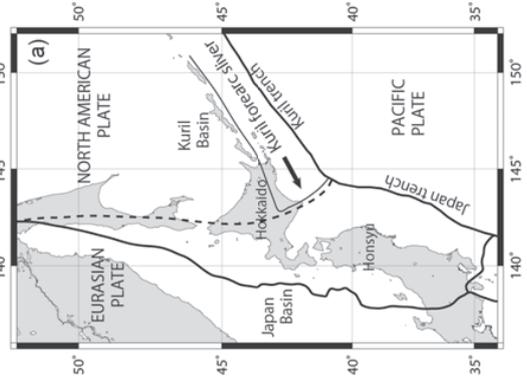


## 1.7Ma以降の火山活動の時空変遷のまとめ

- 0.2Ma頃からの火山活動の特徴
  - ・南西部: 非常に高い噴出率に変化
    - ・カルデラ火山+羊蹄山
  - ・日本海東縁の大型火山
  - ・東部: 高い噴出率に変化
    - ・カルデラ火山群
    - ・溶岩主体(知床火山列)
  - ・中央部: 低い噴出率、やや活発化?
    - ・溶岩主体

- 0.2Ma以前の火山活動の特徴
  - ・南西部
    - 1.0Maまでは火山活動が低調
  - ・東部
    - カルデラ火山
    - ほぼ一定の噴出率
  - ・中央部
    - 0.9Maまではやや高い噴出率
    - カルデラ火山

## 後期中新世からのテクトニクス(1): 千島前弧の西進と東北日本弧への衝突



南西部 ( - 1.0 Ma)

低いマグマ噴出率

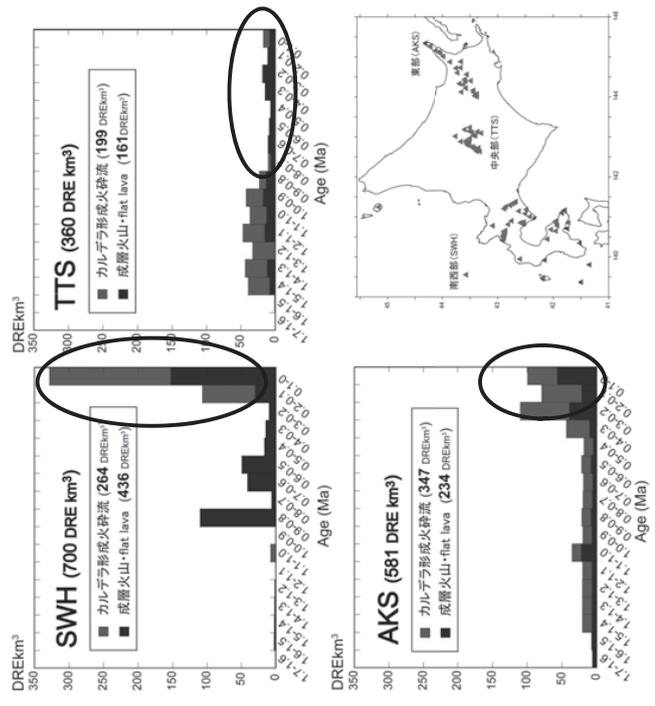
- ← 千島前弧西進・衝突による
- 南西部が強い東西圧縮応力場
- マントルウェッジの温度低下?

中央部 ( - 0.9 Ma)

高いマグマ(珪長質)噴出率

- ← 千島前弧西進による
- マントルウェッジの温度上昇 (対流パターン変化)

## 1.7Ma以降の火山活動の時空変遷



## 後期中新世からのテクトニクス(2): プレート境界の不安定化と移動

1 - 0.9 Maから

南西部: マグマ噴出率増加  
中央部: マグマ噴出率低下

←不安定化・西進純化の開始

○東西圧縮応力減少

○マントルウェッジ温度上昇

0.2 Maから

南西部: マグマ(珪長質)噴出率急増

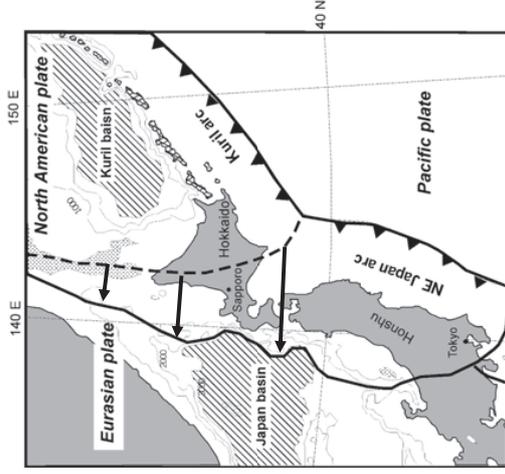
日本海東縁火山発生

東部: マグマ(珪長質)噴出率増加

←境界移動・不安定化

○東西圧縮応力場の急減

○マントルウェッジ温度上昇



## 活火山の定義と活火山の発見

### (1) 火山分類の変遷

#### ○活火山、休火山、死火山: 噴火の記録の有無(歴史時代)

活火山: 阿蘇山、桜島、十勝岳etc

休火山: 富士山、etc

死火山: 羊蹄山、etc

#### ○活火山の考え方の変遷

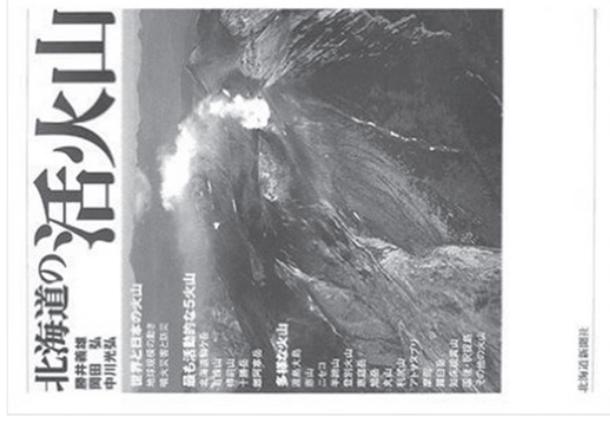
・火山の活動の寿命は長く、数百年程度の休止期間はほんのつかの間の眠りにしかなかったりことから、噴火記録のある火山や今後噴火する可能性がある火山を全て「活火山」と分類する考え方が1950年代から国際的になる

・1960年代からは気象庁も噴火の記録のある火山をすべて活火山とした。

#### ○気象庁による活火山の定義(1)

1975(昭和50)年には火山噴火予知連絡会が「噴火の記録のある火山及び現在活発な噴気活動のある火山」を活火山と定義して77火山を選定。

## 2. 北海道の活火山



(2007年刊行)

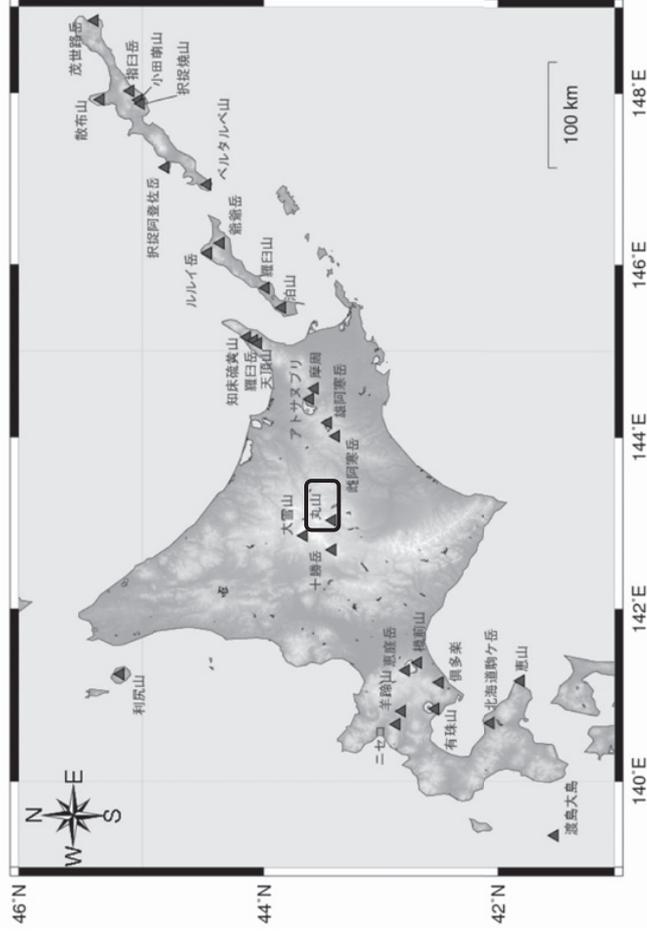
#### ○気象庁による活火山定義(2)

・噴火記録の有無は人為的な要素に左右される一方、歴史記録がなくとも火山噴出物の調査から比較的新しい噴火の証拠が見出されることも多くなり、1997年(平成3)年には、火山噴火予知連絡会が活火山を「過去およそ2000年以内に噴火した火山及び現在活発な噴気活動のある火山」と定め、83火山を選定。

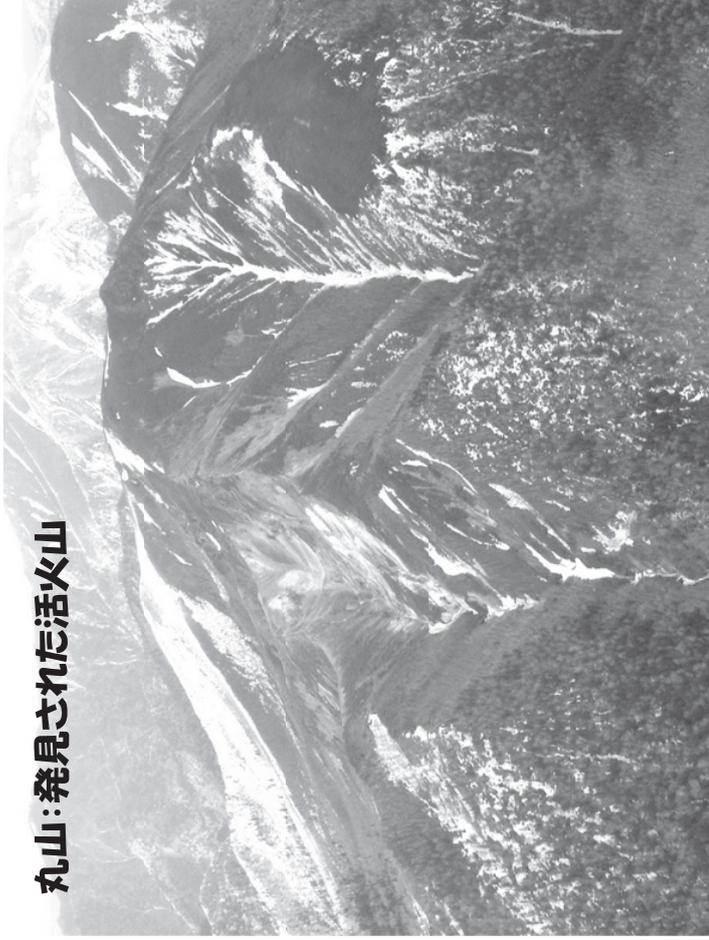
・1996(平成8)年にはさらに3火山が追加され、活火山の数は86。

・数千年にわたって活動を休止した後に活動を再開した事例もあり、近年の火山学の発展に伴い過去1万年間の噴火履歴で活火山を定義するのが適当であるとの認識が国際的にも一般的になりつつあることから、2003(平成15)年に火山噴火予知連絡会は「概ね過去1万年以内に噴火した火山及び現在活発な噴気活動のある火山」を活火山と定義。活火山の数は108。

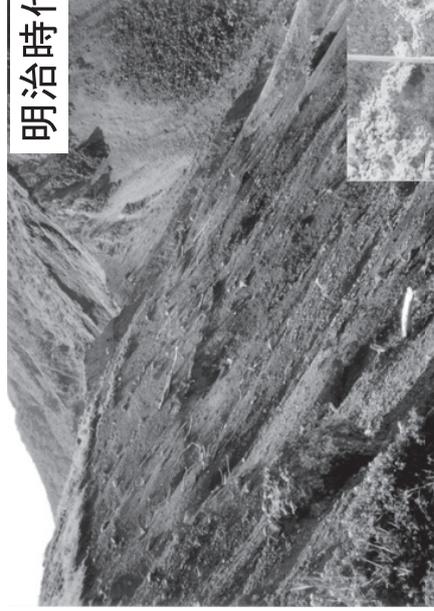
北海道の活火山分布（気象庁：平成23年度版）



丸山：発見された活火山

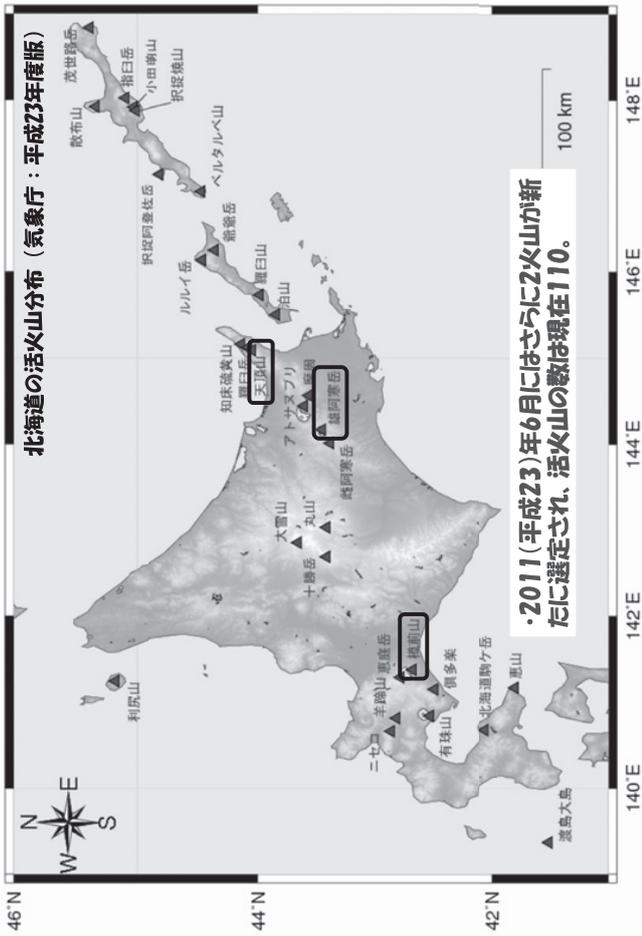


明治時代に最新の噴火！



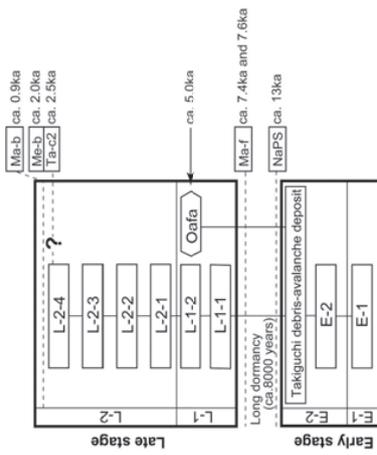
樽前1739年噴火の火山灰の上に水蒸気噴火の堆積物がある

# 活火山の認定に関する話題

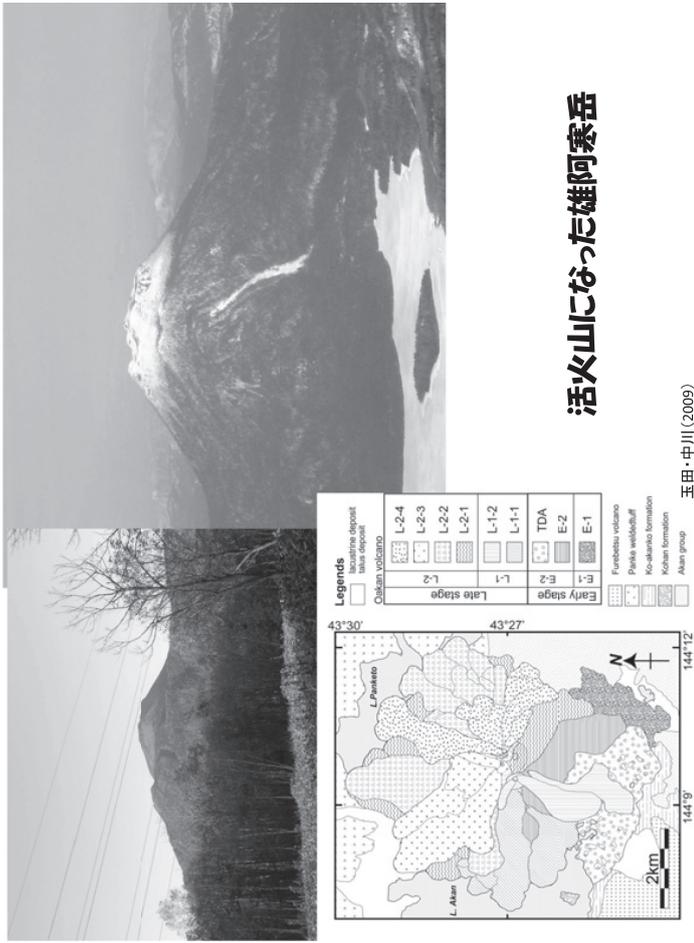
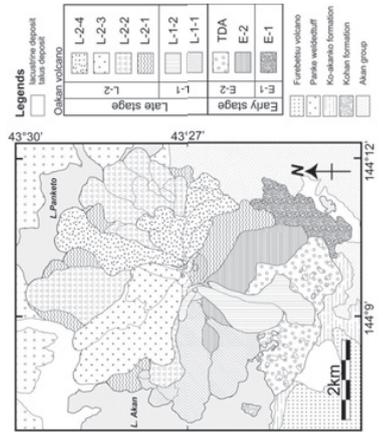


## 雄阿寒岳の活動年代の確立：広域テフラを用いる

- 初期活動・山体崩壊：1.3万年前より古い
- 最新の噴火は約2000年前頃



- Oofaは後期1ステージの噴火産物
- その火口は山頂ではなく南西麓



山頂部の新しい火口群・・・新しい活動あり？

雄阿寒岳 (2007年までは活火山ではなかった)

活火山の資格を立派に満たす

山頂部から他火山からの年代既知の火山灰層発見 (陸岡および雌阿寒) : 1000~2000年前の時間軸

直下の雄阿寒岳噴出物：2000年前より少し古い噴火産物

恵庭：次男

風不死：長男

樽前：3男

### 後支笏カルデラ火山：支笏3兄弟の運命

南東上空から見た支笏カルデラ

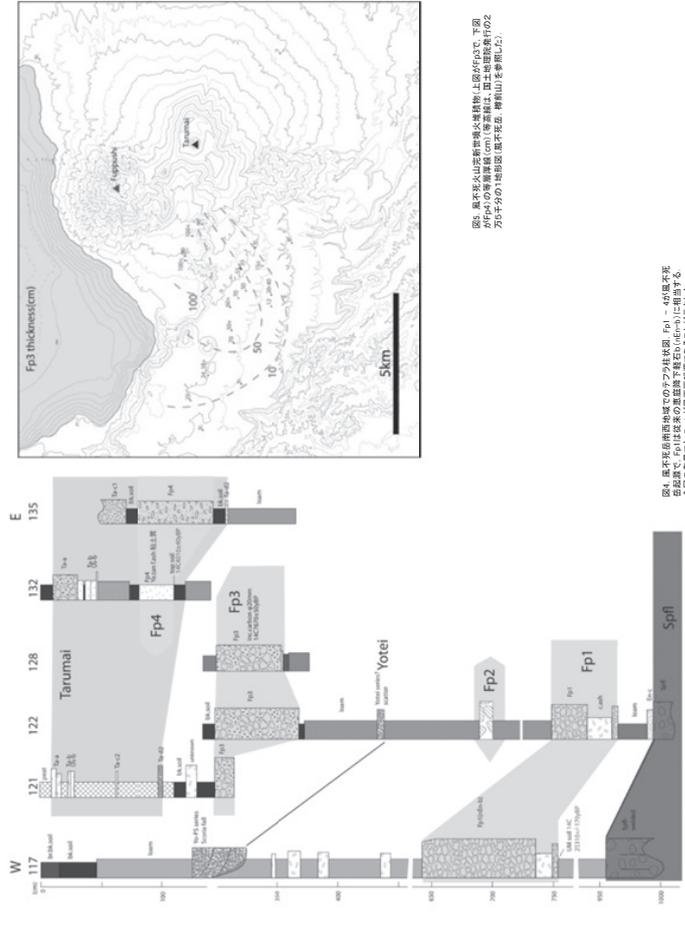


図3. 風不死火山型新世噴火堆積物(図4がFp3℃、下図がFp4の等厚線図)等量線は、国土地理院発行の2.5万分の1地形図(風不死岳、樽前山を参照)した。

図4. 風不死岳南西地域でのFp4の状況。Fp1 - 4が風不死岳以降でFp1は従来の風不死下層石(nEn-a)に相当する。Fp2はFp3の厚さ(約100m)がFp4の厚さ(約200m)に相当する。

### 恵庭岳

○2000年前が最後の噴火

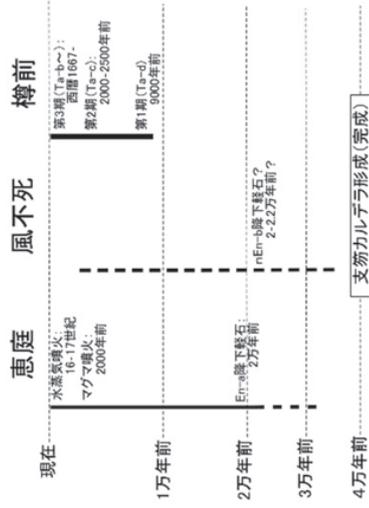
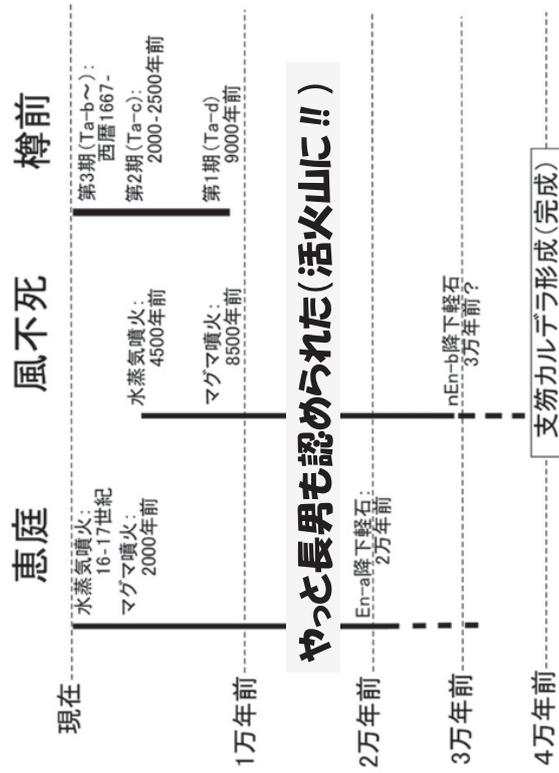


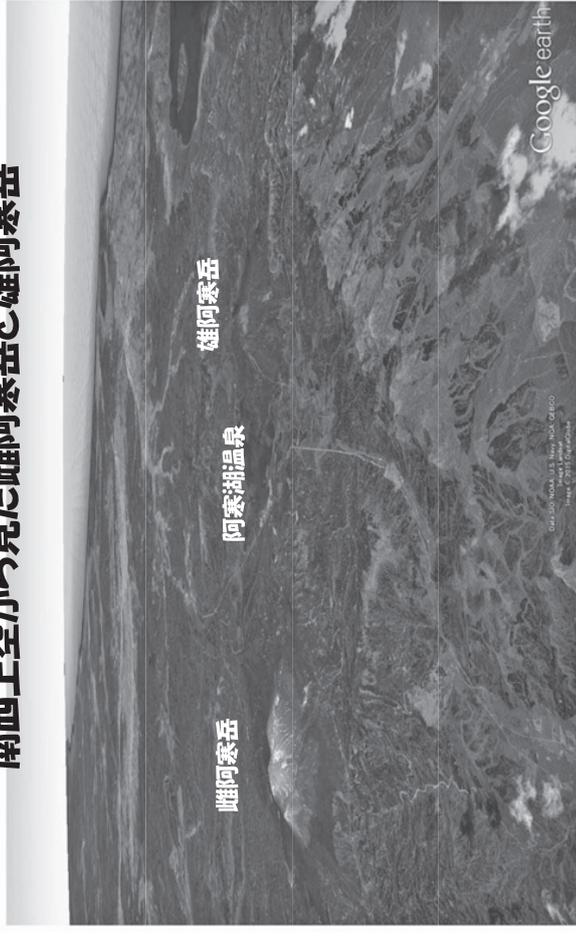
図. 後支笏カルデラ火山の従来の噴火史. 風不死岳についてはその詳細は明らかではなかった。

### 後支笏カルデラ火山の活動史



やっと長男も認められた(活火山に!!)

## 南西上空から見た雌阿寒岳と雄阿寒岳



活火山の見直し：気象庁の「火山活動評価検討委員会」での議論

### 雄阿寒岳

…後阿寒カルデラ火山の一つであるから、雌阿寒と一緒にすれば？

### 風不死岳

…後支笏カルデラ火山の一つであるから、樽前と(恵庭も？)一緒にすれば？

**活火山：  
科学的な意味？  
防災上の意味(住民にとって)？**

## 東方から見た支笏3兄弟

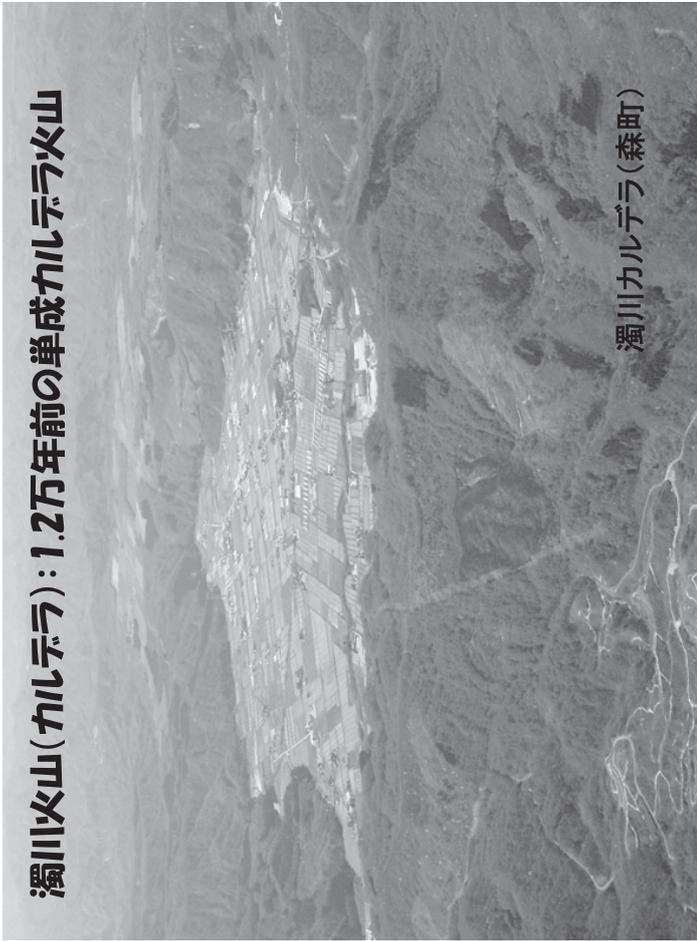


## 2. 北海道の活火山 ・活動の特徴と時空変遷



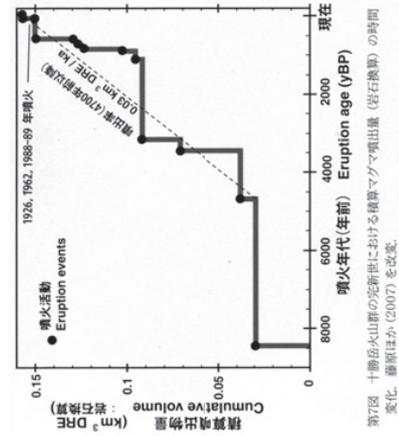
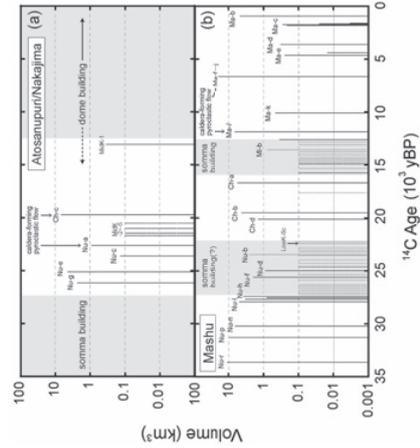
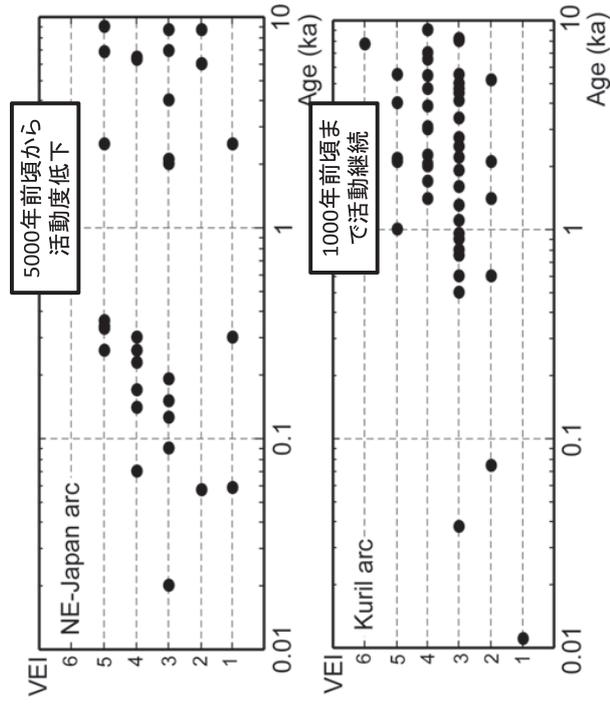


# 濁川火山(カルネラ): 1.2万年前の単成カルネラ火山

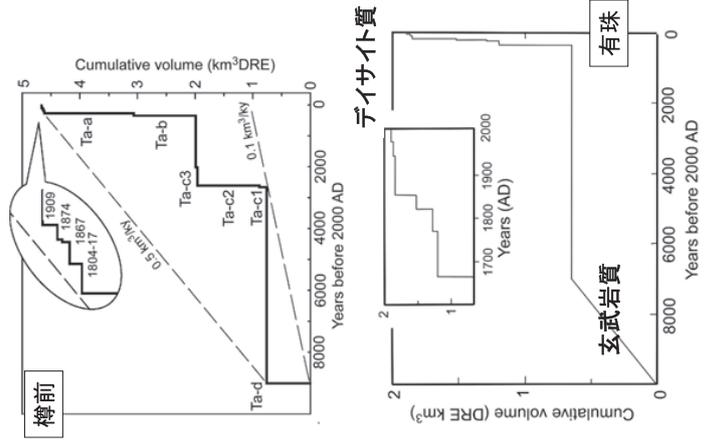


濁川カルネラ(森町)

# 北海道の完新世噴火履歴



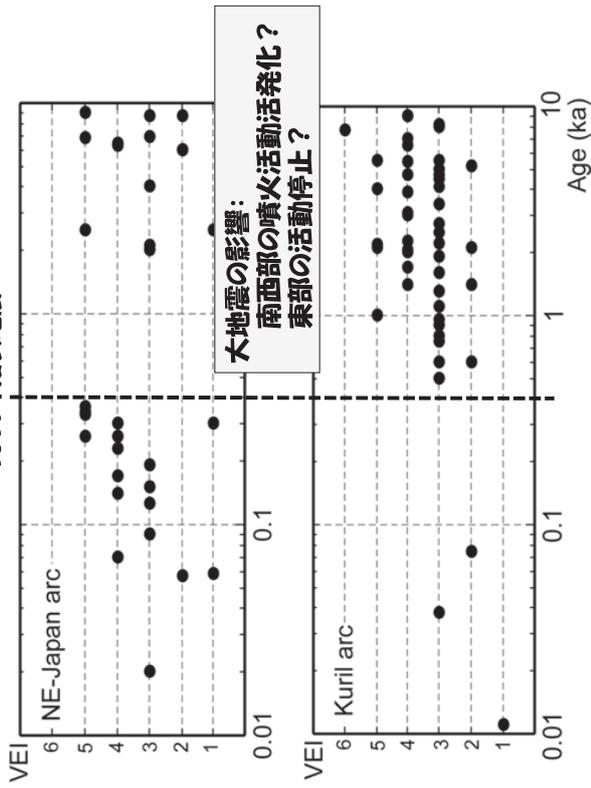
第77図 十勝岳火山群の完新世における積算マグマ噴出量(岩石換算)の時間変化。横須賀ほか(2007)を改変。



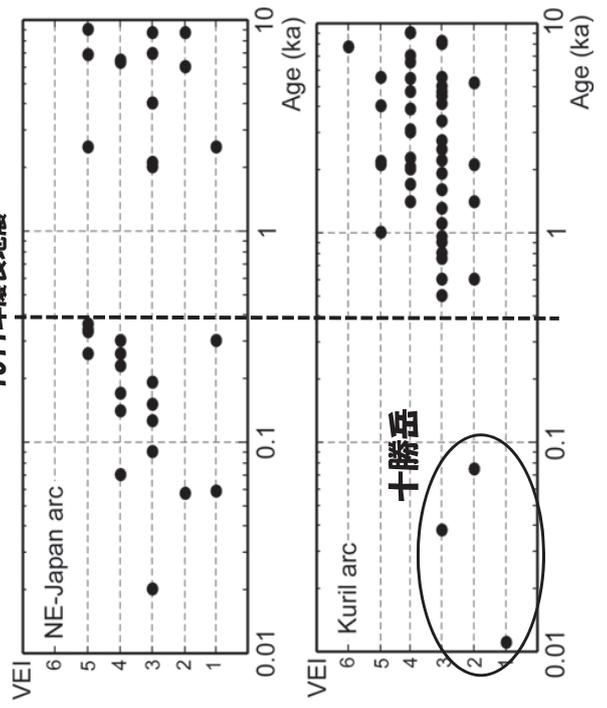
# 17世紀までの3火山の状態

活動期の後の休止期: 主要なマグマ(珪長質)の生産・蓄積?

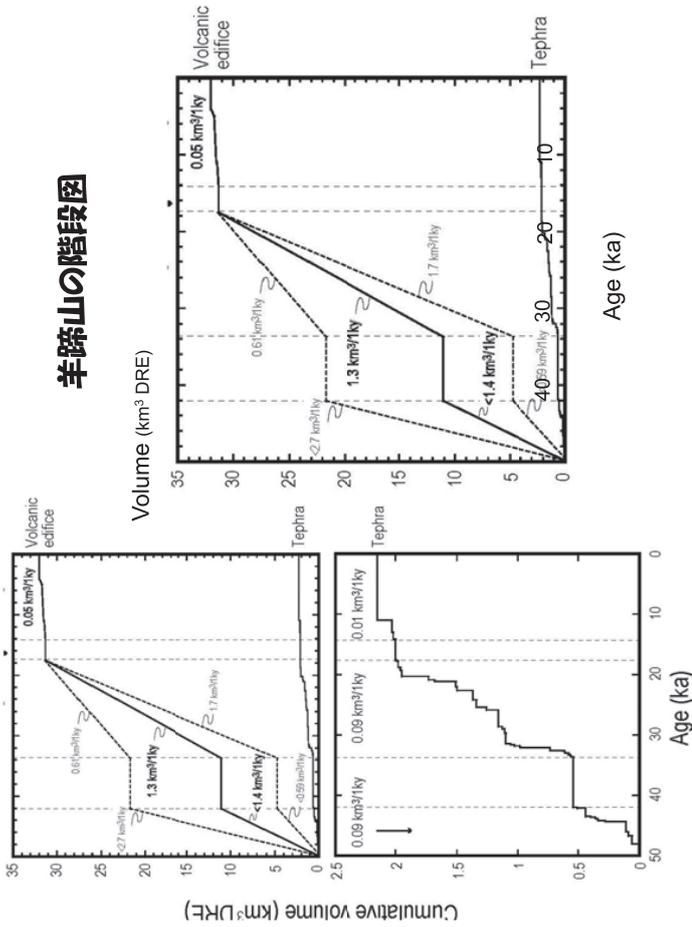
### 北海道の完新世噴火履歴 1611年慶長地震



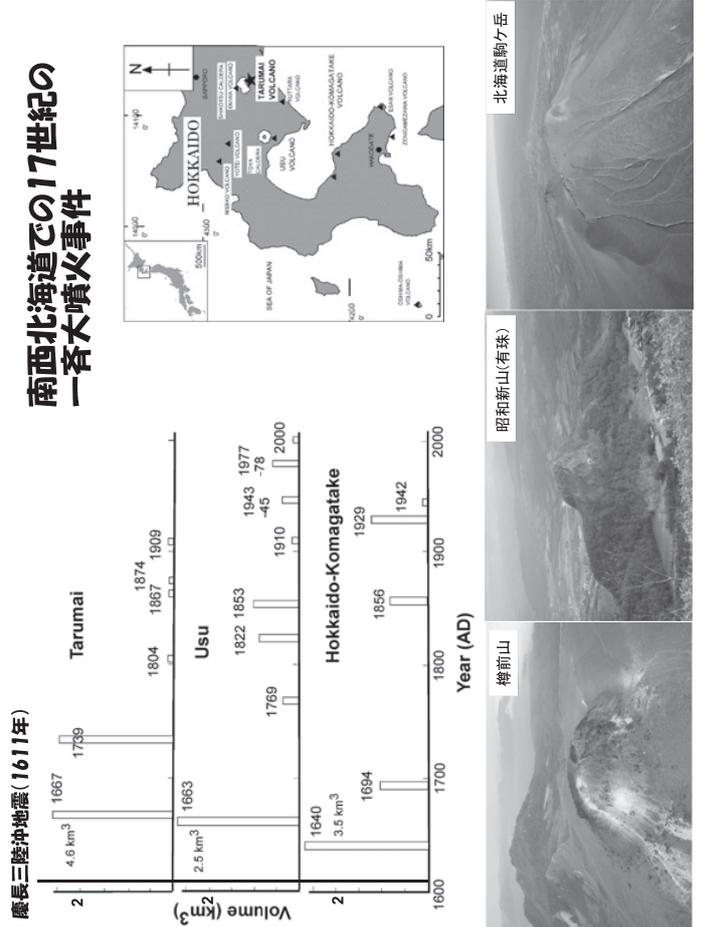
### 北海道の完新世噴火履歴 1611年慶長地震



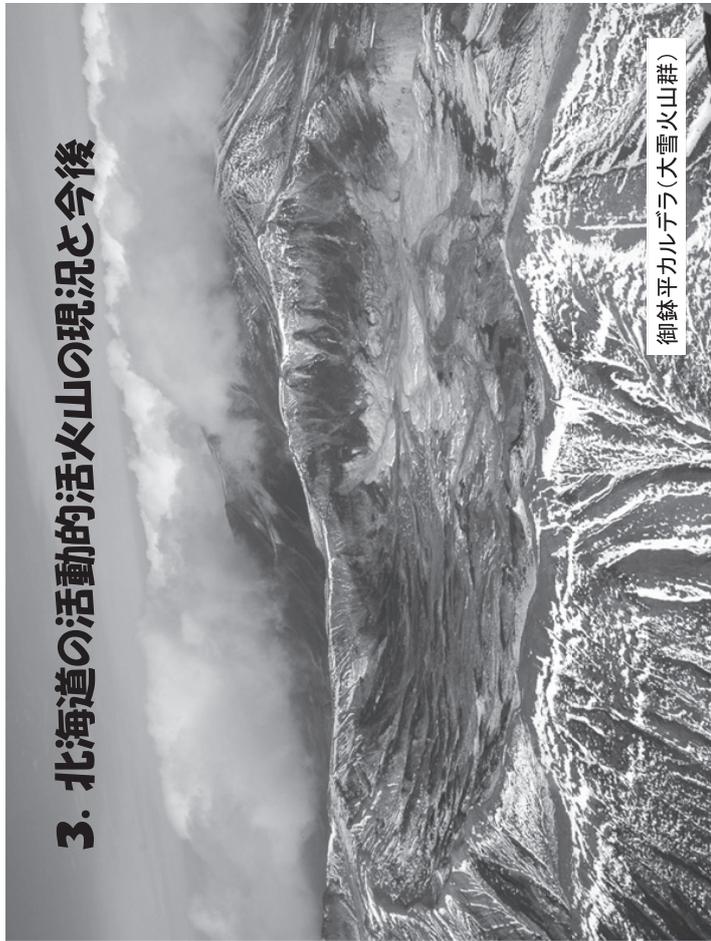
### 羊蹄山の階段図



### 南西北海道での17世紀の 一斉大噴火事件

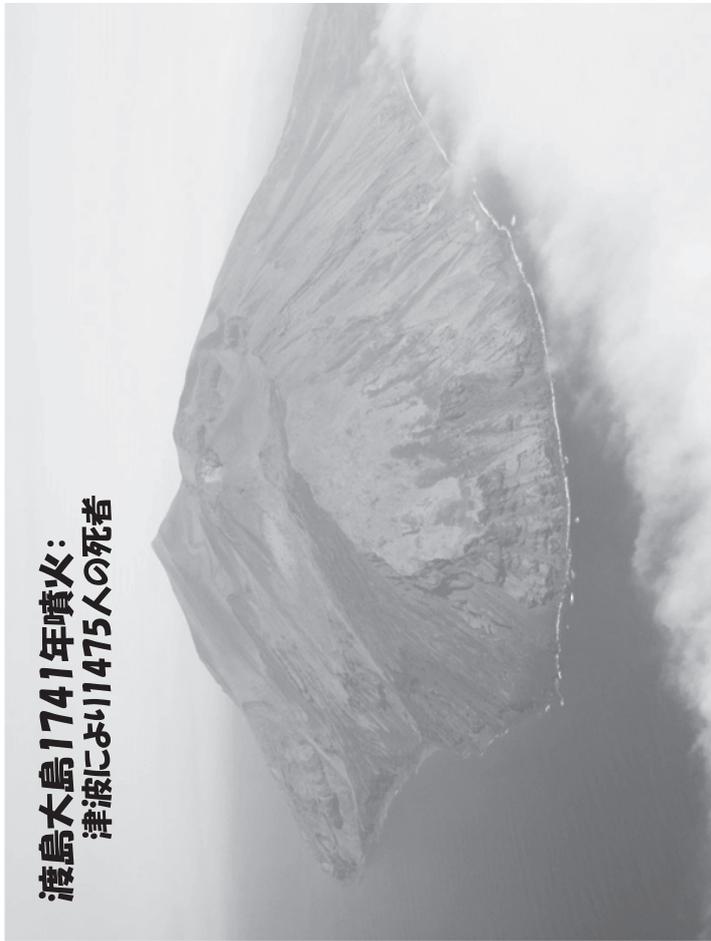


### 3. 北海道の活動的活火山の現況と今後



御鉢平カルデラ(大雪火山群)

### 渡島大島1741年噴火： 津波により1475人の死者



### 北海道の記録に残る火山災害

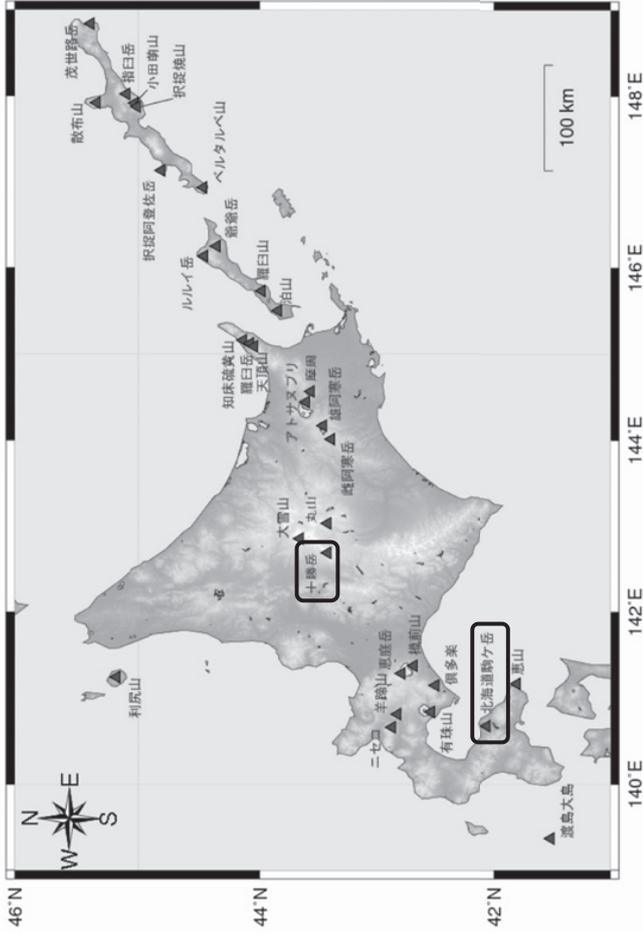
火山名	年月日	和暦	記	事
十勝岳	1926. 5. 24	大正15	12時11分と16時18分に大爆發。2回目の爆發で噴出物が積雪を溶かして泥流を発生。死者・行方不明144、負傷者約200、建物372棟。家畜68頭。山林耕地被害	
	1926. 9. 8	大正15	爆發。噴煙4600m。行方不明2	
	1962. 6. 29	昭和37	22時40分頃爆發。死者4、行方不明1、負傷11、非住家焼失2. 62火口生成	
樽前山	1804～1817	文化年間	噴火、死傷者多数?	
有珠山	1663. 8. 16	寛文3	噴火。家屋焼失、埋没。死者5	
	1769. 1. 23	明和5	明和熱震、南東山麓民家焼失	
	1822. 3. 12	文政5	文政熱震。地震の後12日から噴火が始まり、23日に熱震発生。旧アブ夕苗落全滅。死者50、負傷53	
	1910. 7. 25	明治43	地震の後25日から北西山麓で噴火が始まり、次々に火口を形成。隆起により明治新山(四十三山)生成。10月におさまる。家屋・山林・耕地被害。	
	1944. 6. 23	昭和19	半年ほど地震、地震変動があった後、東山麓で噴火が始まり10月まで続いた。1945年9月まで溶岩尖成長(昭和新山)。家屋・農作物被害。死者1、負傷1	
1977. 8. 7	昭和52	地震の後山頂で噴火し、翌年10月まで続いた。隆起により山頂部に有珠新山生成。噴出物による家屋・農林被害。地震変動により建物等被害。1978年10月に二次泥流により死者2、行方不明1、住家196棟、非住家9棟、農林被害など		
北海道 駒ヶ岳	1640. 7. 31	寛永17	噴火。山体崩壊による津波で死者700余	
	1856. 9. 25	安政3	噴火。軽石流。1村落焼失。死者20数人	
	1929. 6. 17	昭和4	噴火。軽石流。火山ガスによる被害は8町村に及ぶ。死者2、負傷4、牛馬136、家屋焼失・全半壊・埋没など1915余、農林被害	
	1846.11.18	弘化3	噴火。泥流。死者。家屋被害	
渡島大島	1741. 8. 18	寛保1	噴火。28日に津波があり北海道・津軽で死者1475。流失家屋511	

### 渡島大島 死者1475

### 北海道の記録に残る火山災害

火山名	年月日	和暦	記	事
十勝岳	1926. 5. 24	大正15	12時11分と16時18分に大爆發。2回目の爆發で噴出物が積雪を溶かして泥流を発生。死者・行方不明144、負傷者約200、建物372棟。家畜68頭。山林耕地被害	
	1926. 9. 8	大正15	爆發。噴煙4600m。行方不明2	
	1962. 6. 29	昭和37	22時40分頃爆發。死者4、行方不明1、負傷11、非住家焼失2. 62火口生成	
樽前山	1804～1817	文化年間	噴火、死傷者多数?	
有珠山	1663. 8. 16	寛文3	噴火。家屋焼失、埋没。死者5	
	1769. 1. 23	明和5	明和熱震、南東山麓民家焼失	
	1822. 3. 12	文政5	文政熱震。地震の後12日から噴火が始まり、23日に熱震発生。旧アブ夕苗落全滅。死者50、負傷53	
	1910. 7. 25	明治43	地震の後25日から北西山麓で噴火が始まり、次々に火口を形成。隆起により明治新山(四十三山)生成。10月におさまる。家屋・山林・耕地被害。	
	1944. 6. 23	昭和19	半年ほど地震、地震変動があった後、東山麓で噴火が始まり10月まで続いた。1945年9月まで溶岩尖成長(昭和新山)。家屋・農作物被害。死者1、負傷1	
1977. 8. 7	昭和52	地震の後山頂で噴火し、翌年10月まで続いた。隆起により山頂部に有珠新山生成。噴出物による家屋・農林被害。地震変動により建物等被害。1978年10月に二次泥流により死者2、行方不明1、住家196棟、非住家9棟、農林被害など		
北海道 駒ヶ岳	1640. 7. 31	寛永17	噴火。山体崩壊による津波で死者700余	
	1856. 9. 25	安政3	噴火。軽石流。1村落焼失。死者20数人	
	1929. 6. 17	昭和4	噴火。軽石流。火山ガスによる被害は8町村に及ぶ。死者2、負傷4、牛馬136、家屋焼失・全半壊・埋没など1915余、農林被害	
	1846.11.18	弘化3	噴火。泥流。死者。家屋被害	
渡島大島	1741. 8. 18	寛保1	噴火。28日に津波があり北海道・津軽で死者1475。流失家屋511	

## 北海道の活火山分布 (気象庁：平成23年度版)



## 十勝岳

1926年噴火：山体崩壊と泥流(大正泥流)

十勝岳：最近100年間では最も深刻な火山災害をもたらした

2004年9月

## 2012年7月の火映現象



<http://photohito.com/photo/1933299/>

報道内容 | ログ

社会 | 経済 | 政治 | 国際 | 文化 | 科学 | スポーツ | エンタメ | ライフ

現在位置: 毎日新聞デジタル | 社会 | 気象庁:交通情報 | 記事 | 2012年7月13日 20時33分

13 | 5 | 2012年7月13日 20時33分

### 十勝岳で噴火騒ぎ、温泉街の宿泊客ら100人避難

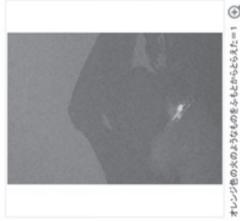
開通ドットコム | 地震

十勝岳(2077メートル)で「大正火口」付近明るく見える現象が、6月30日午後7時35分ごろから1日未明にかけてと前日夜に観測された。札幌管区気象台は、地震や噴煙活動が十分に経過しており、火山灰などの噴出物も見れないことから噴火ではなく、火口付近の噴や火山ガスが増えたとしている。

気象台が高感度カメラで観測した。この噴火は1日は日の出とともに収まらぬ(ぐい)、日中は確認できなかった。大正火口に大きな変化はなく、噴火警戒レベルは1(平常)を継続している。ただ、火口に近づかないよう呼びかけ、道下では火山ガスが流れてくる可能性があるためと注意を促している。

大正火口の北西約3キロにある温泉街で、月30日曜日から夏中泊をしていた苫小牧市の性(49)は「オレンジ色の火のようなものが昇った。長さは約50メートル、幅は約30メートルあった」と話した。

上富良野町によると、十勝温泉の宿泊客約100人が1日午前、町中心部の旅館などで一時避難した。温泉旅館の温泉本館側では1日午前の時半ごろ、警報が掛れて「避難しなさい」と促され、宿泊客を都し、客14人と乗員11人が避難したという。



[PR]

# 十勝岳

マグマ噴火域

大正火口 62-2火口

水蒸気噴火域

ヌッカクシ火口

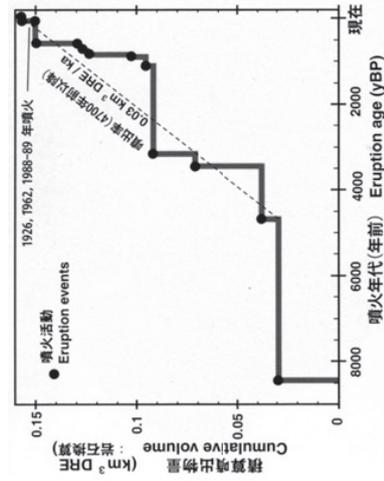
十勝岳の2つの最新期火山活動域について

## 十勝岳、過去5000年間の活動の特徴

- 低噴出率：道南よりも数10分の1、摩周よりも2桁下低い
- 火口を移動させている
- 同一火口では噴火様式が変化：爆発的噴火から溶岩流出
- 熱水系が発達：山体崩壊や熱水噴出が起こりやすい（火山泥流の発生）

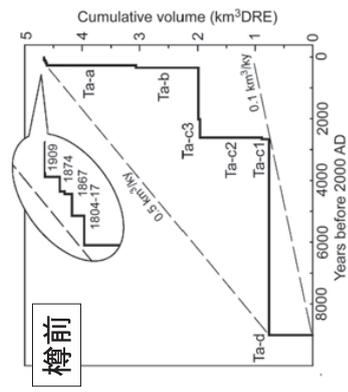
十勝岳は山体に水(熱水)が豊富：  
頻繁に山体崩壊 + 熱泥水噴出があった

ヌッカクシ火口  
(旧噴火口・安政火口)



第7図 十勝岳火山群の完新世における積算マグマ噴出量(岩石換算)の時間変化。藤原ほか(2007)を改変。

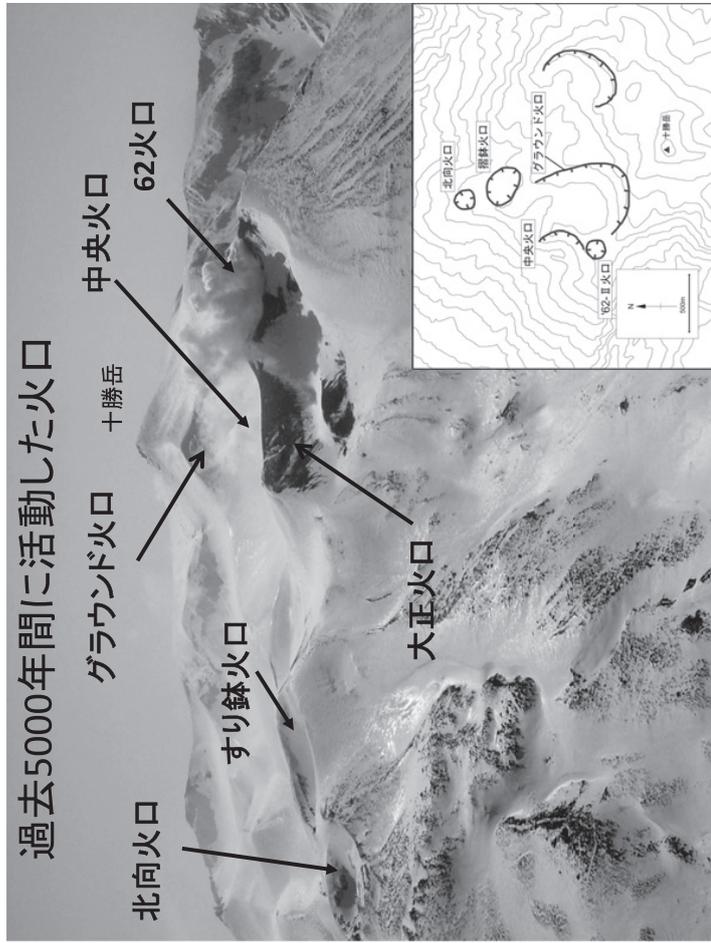
## 十勝岳は超低噴出率(マグマに関して)!!



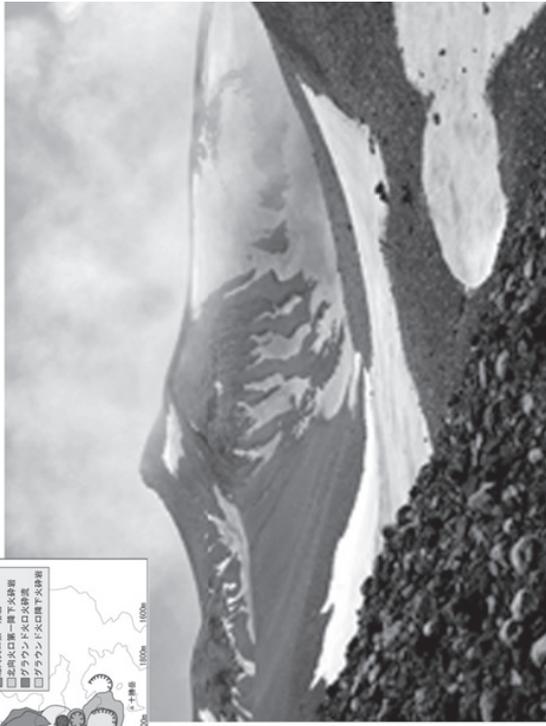
樽前山の時間一積算噴出量図

古川・中川(2010)

## 過去5000年間に活動した火口

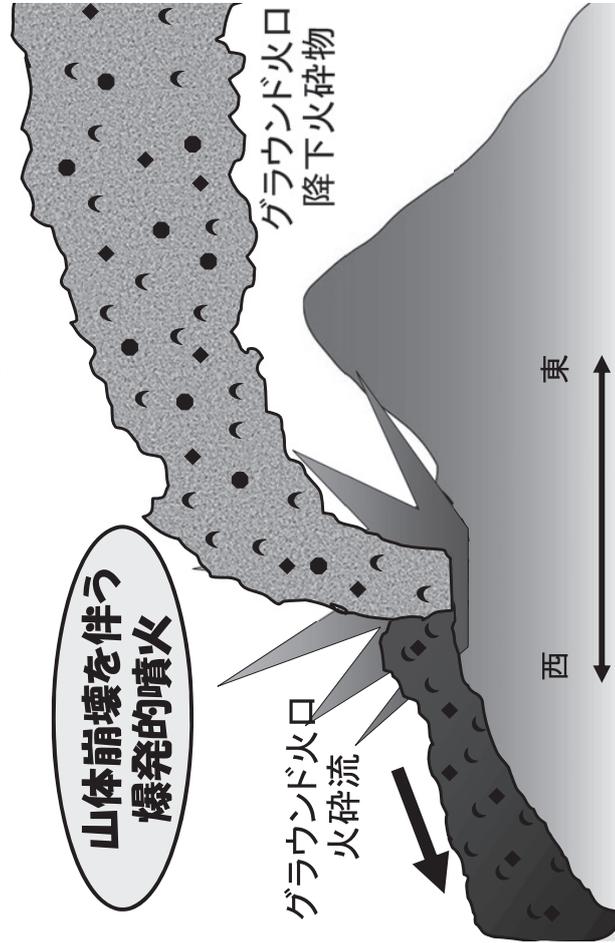


## 噴火活動の推移: グラウンド火口



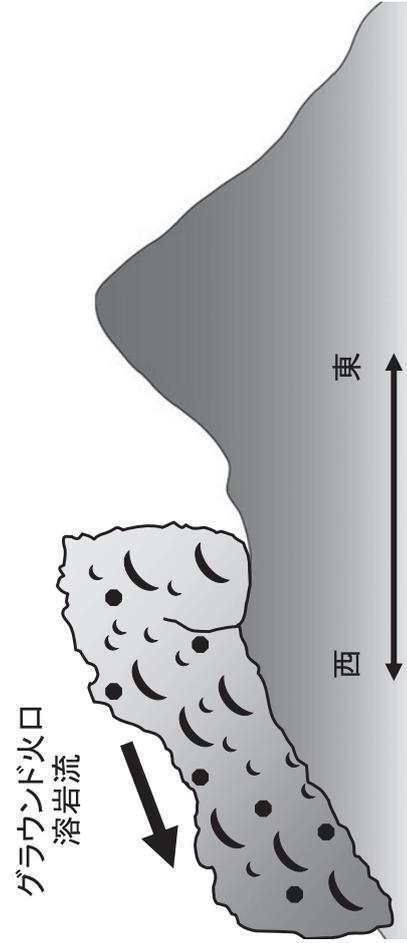
グラウンド火口

## グラウンド火口形成時の噴火活動



## グラウンド火口形成時の噴火

### 溶岩流の流出





北海道の記録に残る火山災害(2000年以前)

火山名	年月日	和暦	記	事
十勝岳	1926. 5. 24	大正 15	12時 11分と 16時 18分に大爆發。2回目の爆發で噴出物が積雪を溶かして泥流を発生。死者・行方不明 144, 負傷者約 200, 建物 372棟, 家畜 68頭, 山林耕地被害	
	1926. 9. 8	大正 15	爆發。噴煙 4600 m, 行方不明 2	
	1962. 6. 29	昭和 37	22時 40分頃爆發。死者 4, 行方不明 1, 負傷 11, 非住家焼失 2, 火口生成	

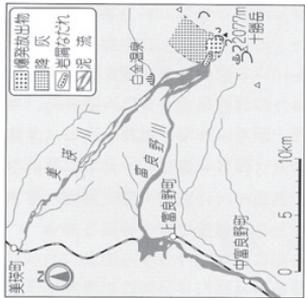
**(熱い)噴出物が積雪を溶かして泥流を発生:  
融雪火山泥流の典型例**

樽前有珠	1922. 3. 12	大正 11	大正 11年、地震の後火口から噴火が始まり、火口に熱煙発生。旧アブ夕部落全滅。死者 50, 負傷 53
	1910. 7. 25	明治 43	地震の後 25日 から北西山麓で噴火が始まり、次々に火口に火口を形成。隆起により明治新山(四十三山)生成。10月におさまる。家屋・山林・耕地被害。泥流により死者 1
	1944. 6. 23	昭和 19	半年ほど地震、地殻変動があった後、東山麓で噴火が始まり 10月まで続いた。1945年 9月まで溶岩尖成長(昭和新山)。家屋・農作物被害。死者 1, 負傷 1
	1977. 8. 7	昭和 52	地震の後山頂で噴火し、翌年 10月まで続いた。隆起により山頂部に有珠新山生成。噴出物による家屋・農林被害、地殻変動により建物等被害。1978年 10月 1日 二次泥流により死者 1 行方不明 1 住家 106 棟 非住家

**大正泥流(1926年)は融雪火山泥流ではない! :岩屑なだれと熱水噴出により効果的に泥流規模が拡大**



**大正泥流:  
1時間弱で上富良野町と美瑛町を襲う**



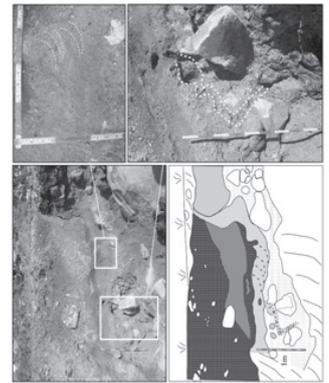
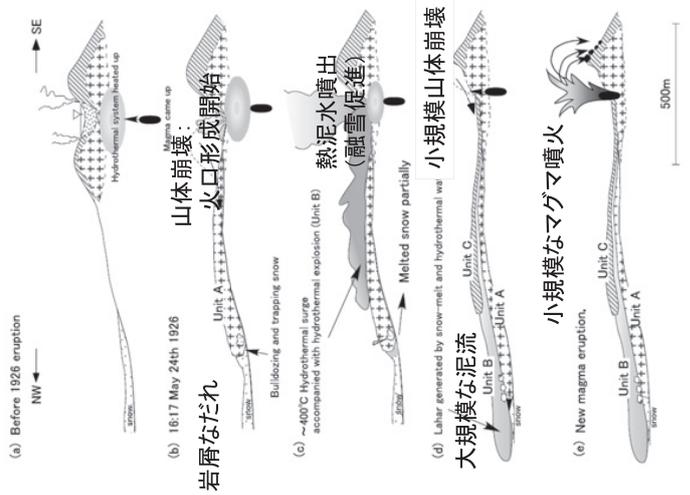
十勝岳の1926年火山泥流の流路(多田・津屋、1927年、一部改変)



**1926年噴火推移モデル**

Ucsawa (2013)

**大正泥流中の水は  
噴出した熱泥流 > 融雪水**

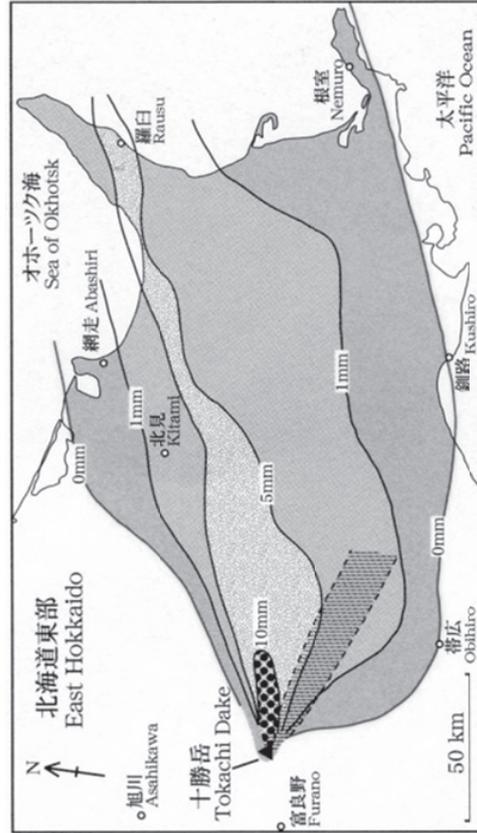


## 2000年有珠山噴火で発生した熱泥流



## 1962年噴火

サブプリニーニ式噴火：  
噴煙柱を高く上げる(12km)



第5図 1962年噴火の降下火砕物の分布。勝井ほか（1963b）。破線で囲まれた範囲は6月29日22:15～22:45に起こった水蒸気噴火堆積物の降下範囲。実線は6月30日2:45～13:30頃に起こった噴火堆積物の等層厚線。



## 十勝岳1988年噴火

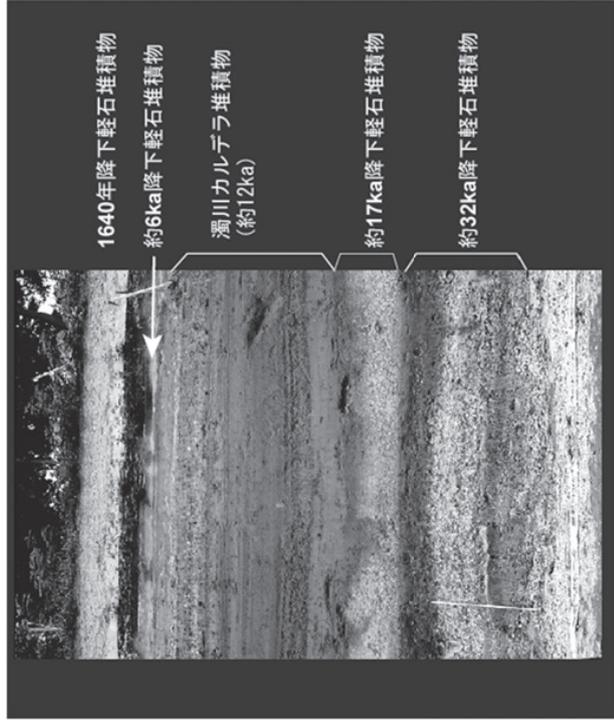




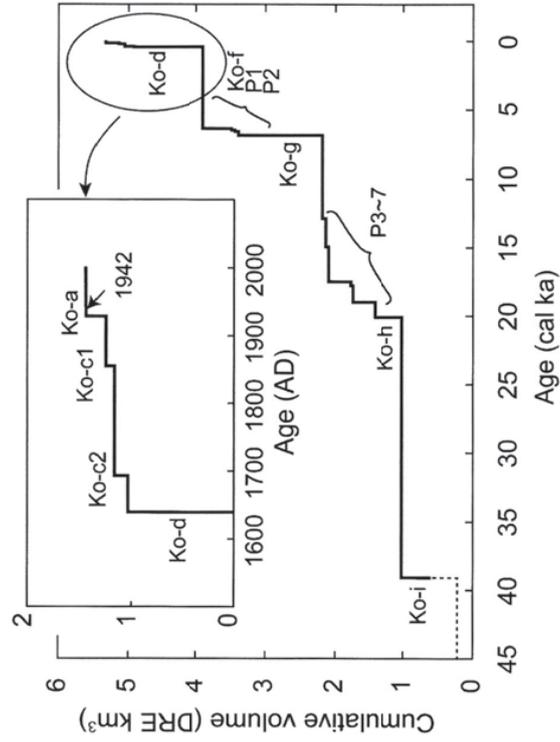
# 北海道駒ヶ岳火山地質図 (勝井・他, 1989)



# 北海道駒ヶ岳山麓での噴火堆積物の露頭

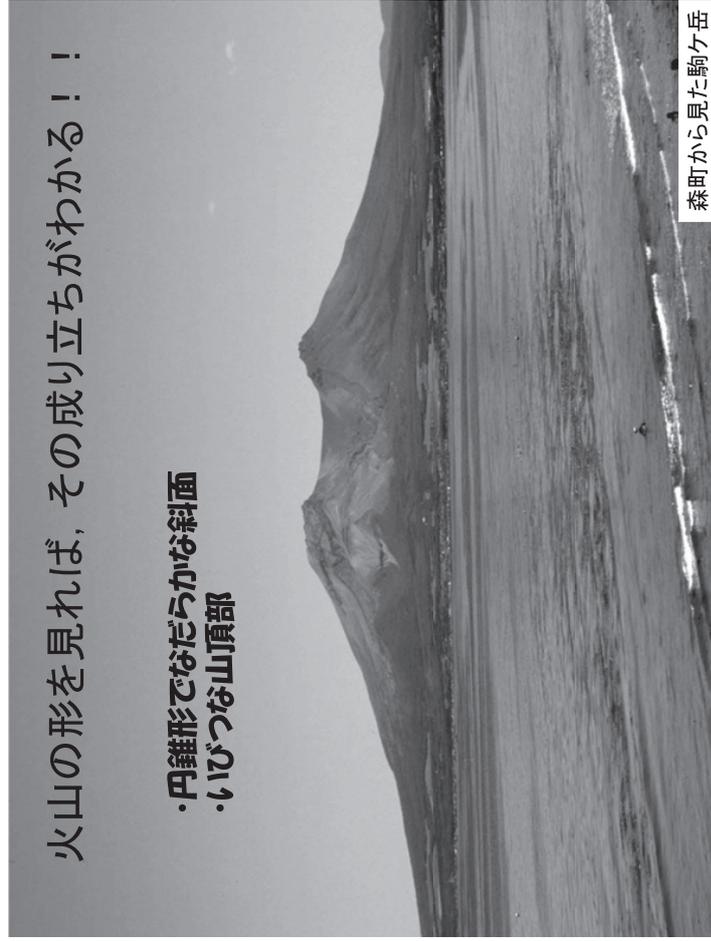


# 北海道駒ヶ岳の噴出量階段図



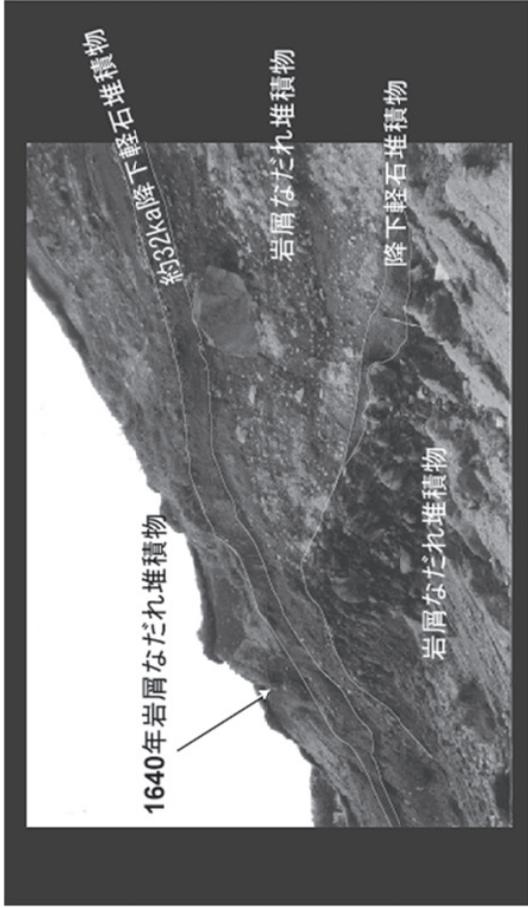
火山の形を見れば、その成り立ちがわかる！！

- ・円錐形でなだらかな斜面
- ・いびつな山頂部



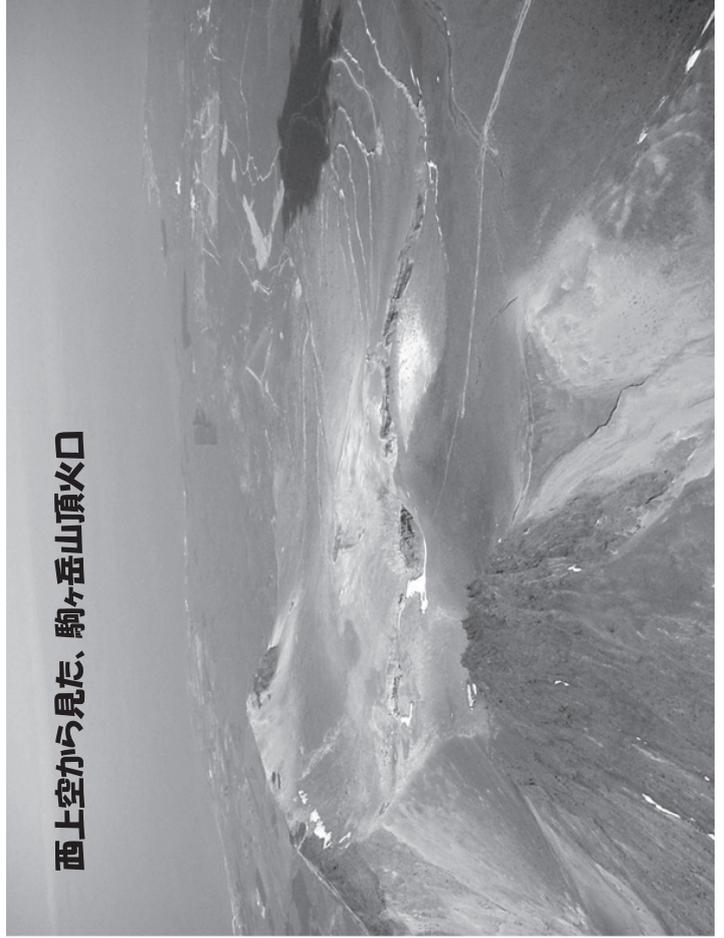
森町から見た駒ヶ岳

繰り返す山体崩壊:その後、本格噴火(噴煙柱形成へ)



駒ヶ岳北東山麓の露頭

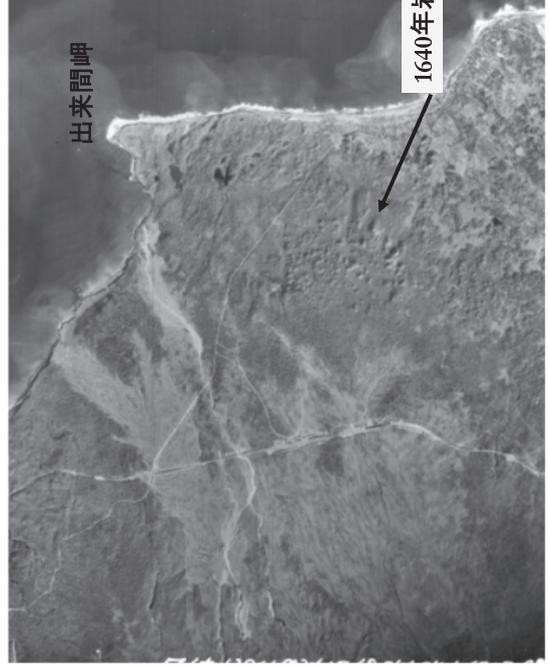
西上空から見た、駒ヶ岳山頂火口



1640岩屑なだれ堆積物の分布

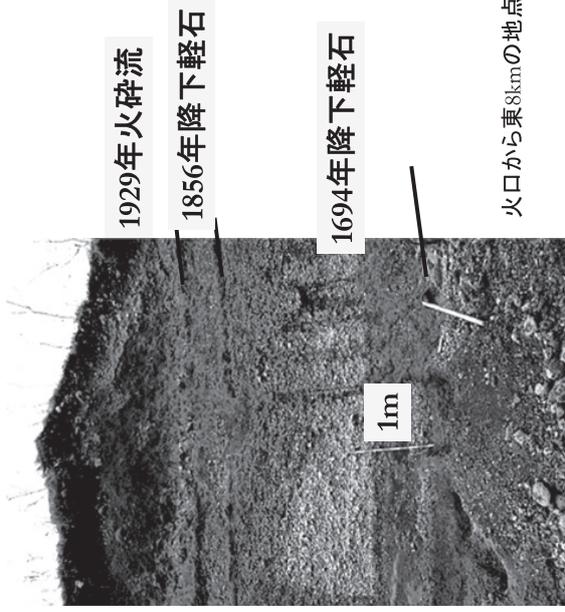


1640年流れ山の分布



1947年撮影 国土地理院 空中写真

# 1640年以後の噴火



同じような噴火

噴煙柱の形成  
(降下軽石)

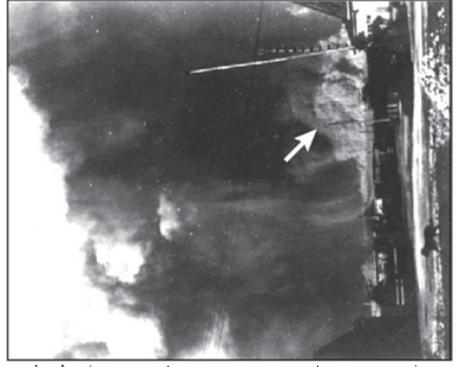


火砕流の発生

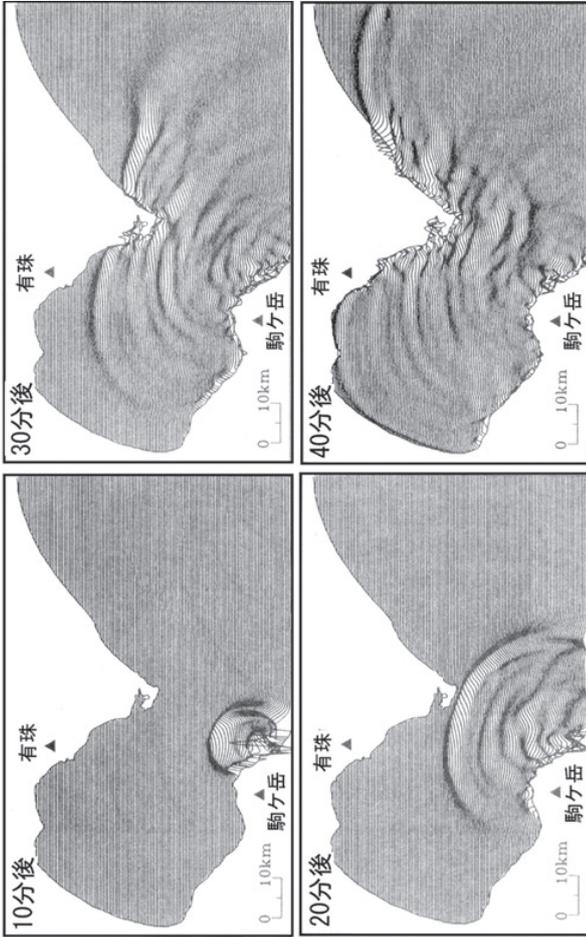
## 1942年噴火の推移

月日	時刻	状況
11月12日		山頂、山麓で“ドーン”という音を聞く
11月16日	8時頃	鳴動とともに噴火活動開始。
	8時10分	噴煙が上昇し始める。 火砕サージが3方向に発生。
	8時18分	群発地震が発生。
	8時18～20分	噴煙が高く上昇（最高8,000m）。 山頂に2本の火柱が確認される。
	8時20～23分	噴煙は東南東方向にたなびく。 南一南東山麓で強い空振を感じる。 雷光と雷鳴が確認される。
	8時40分	噴煙が黒煙から白煙に変わる。
	8時50分	噴煙高度が500～1,000m程度になる。 火口から東南東に約12kmの麓部では、 夕方まで降灰が続く。
	11月18日	10時51分
	10時57分	北西山麓で降灰を確認。

石川・榎本（1942）、森根勘解（1944）を引用



噴火開始から約5分後の駒ヶ岳



## 最近の活動 (1996~)

1996年3月16日の噴火

前兆なし  
噴出量12万t



1998年10月25日の噴火  
前兆なし  
噴出量4700t



これらの噴火は1929年噴火の規模の千から1万分の1の大きさである。

## 北海道駒ヶ岳1996年以降の活動史

Year	Date	Activity	Duration of tremor (m, minute, s, second)	Maximum amplitude of tremor (µm)	Ash fall	Total amount of ash fall	Remarks
1996	3/5, 18:10	Eruption	6m, 22s.	~8.3	L	1.2 X 10 <sup>6</sup> ton	first eruption after 54 years' repose
	3/6, 14:53	Tremor	1m, 54s.	~1.1	N.D.		
1998	10/25, 09:12	Eruption	5m, 47s.	~15.9	L	5 X 10 <sup>6</sup> ton	
1999	3/1, 08:23	Tremor	1m, 10s.	~0.8	N.D.		
2000	3/12, 16:43	Tremor	33s.	~0.7	N.D.		
	3/23, 13:49	Tremor	56s.	~1.7	N.D.		
	9/4, 22:14	Eruption	9m, 47s.	~3.4	L	ca. 10 <sup>5</sup> ton*	Abundant in lithic ejecta
	9/12, 22:12	Eruption	3m, 8s.	~1.1	S	Trace	
	9/28, 13:56	Eruption	7m, 38s.	~1.4	M	Unknown	
	10/24, 00:02	Eruption	2m, 38s.	~1.0	S	Trace	
	10/28, 02:44	Eruption	8m, 55s.	~2.9	L	> 3 X 10 <sup>6</sup> ton**	Several explosions. Wet surge deposits.
	11/4, 06:03	Tremor	2m, 2s.	~7.4	N.D.		
	11/8, 07:38	Eruption	9m, 9s.	~2.4	M	> 2 X 10 <sup>6</sup> ton**	Wet surge deposits (?)
2001	1/17, 13:30	Tremor	34s.	~1.7	N.D.		

(Ash fall: L, large scale (> 10<sup>6</sup> ton); M, medium scale (10<sup>5</sup> ~ 10<sup>6</sup> ton); S, small scale (< 10<sup>5</sup> ton); N.D., not detected)  
Data for tremor is obtained at A site of JMA. \*, estimation using proximal deposits; \*\*, estimation using medial and distal deposits

1929年あるいは1942年噴火前の約10年間で類似している

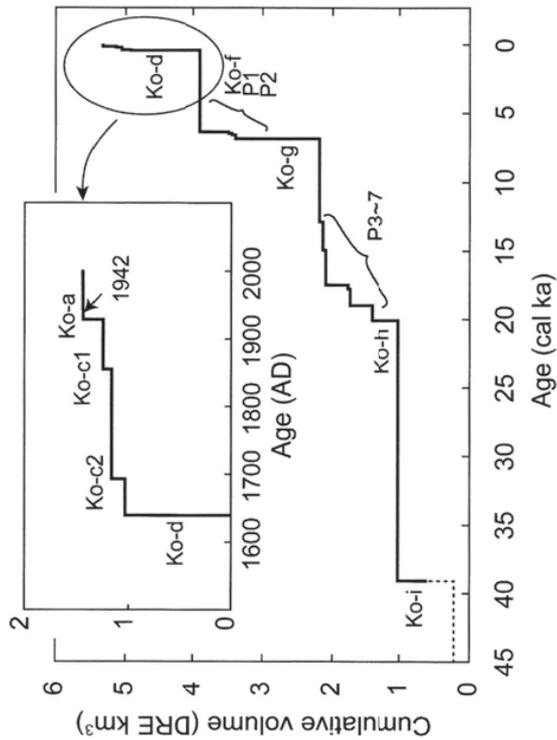
## 北海道駒ヶ岳の過去100年間の噴火活動

噴火年	月日	噴出重量 (t)	噴火様式
1919	6/17		水蒸気噴火
1922	5/22		水蒸気噴火
1923	2~3月		水蒸気噴火
1924	6/31		水蒸気噴火
1929	6/17	4.7X10 <sup>8</sup> *	ブリーニ一式噴火
1934	9/29		小活動
1935	11/15		水蒸気噴火
1937	3/17		水蒸気噴火
1938	2~4月		水蒸気噴火
1942	11/16	3.0X10 <sup>6</sup> *	マグマ水蒸気噴火
1996	3/5	1.2X10 <sup>5</sup> **	水蒸気噴火
1998	10/25	5.0X10 <sup>4</sup> ***	水蒸気噴火
2000	9~11月	1.3X10 <sup>5</sup> ***	水蒸気噴火
?			?

Eruptive history is after Katsui et al. (1975).  
Eruptive mass is after Yoshimoto (in prep.), Ue et al. (1997)(\*\*) and Nakagawa et al. (2001).

## 噴火履歴から見ると歴史時代活動期は？

もう十分な量のマグマを噴出



本格的噴火の前兆として  
中小噴火が連発する

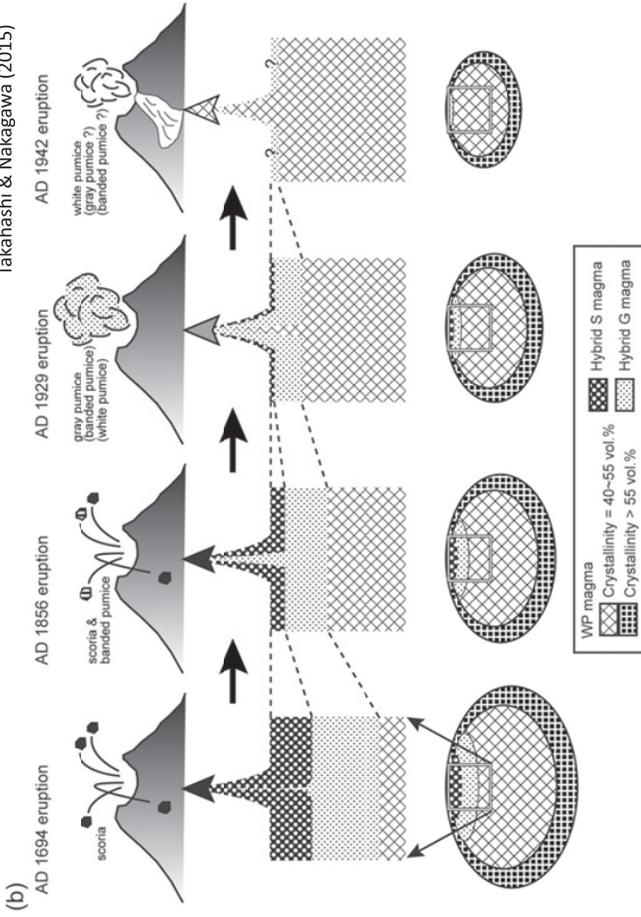


近い将来の本格的マグマ噴  
火の危惧(数年前まで)

が、活動は終息した。何故か？

## 北海道駒ヶ岳のマグマ溜りの時間変化

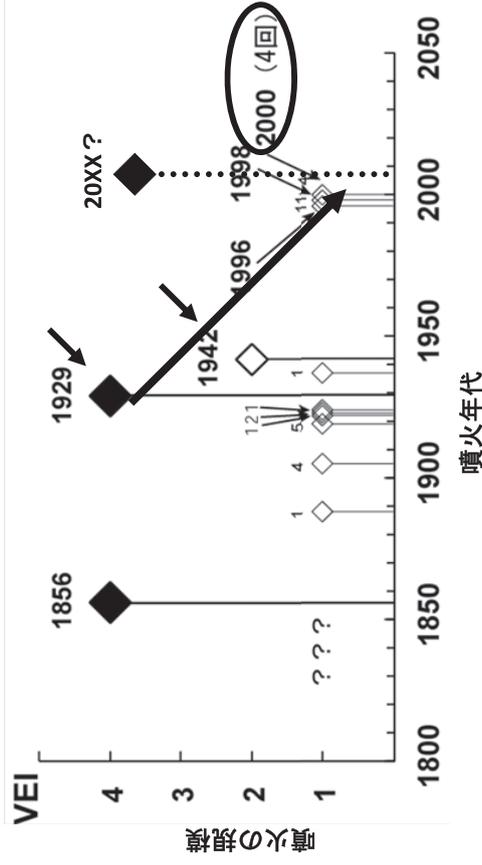
Takahashi & Nakagawa (2015)



## まとめ

1. 過去と同じ噴火活動:  
大噴火から中小噴火へ
2. 過去と同程度のマグマ  
は既に噴出
3. 1640年の噴火では高温マグマが低温マグマに貫入し、成層マ  
グマ溜りを作った。
4. 噴火の主体をなす低温マグマは減少し、徐々に温度低下し、  
現在では自力で噴火するのは困難？

## 1996年からの活動の解釈



活動度の上昇はない  
 2000年が活動のピーク

同じパターン・規模の減少

## 北海道駒ヶ岳の将来予測

これまでと同じプロセスでは、

大規模(1929年<)に噴火する可能性は低い

中小規模の噴火が散発する可能性が最も高い

高温マグマの貫入があれば  
 ... 顕著な前兆があるだろう

## 一般講演

地質リスクマネジメントについて～地質リスク調査検討業務～	27
（一社）全国地質調査業協会連合会 地質リスク WG 委員 黛 廣志 （川崎地質株式会社 技術企画部 部長）	
地すべり抑止杭着工段階で発現した地すべり拡大現象について	39
明治コンサルタント株式会社 技術部 防災課長 清水 順二	
支持層の不確実性を地質リスクマネジメントする	45
大地コンサルタント株式会社 札幌支社 地質専門職 寺井 康文	
自然の力を利用した水処理技術～人工湿地による坑廃水処理～	49
北海道立総合研究機構 地質研究所 資源環境部 主査 荻野 激	



# 第54回試錐研究会 (2016.02.25)

## 地質リスクマネジメントについて ～地質リスク調査検討業務～

(一社)全国地質調査業協会連合会  
地質リスクWG 委員 黛 廣志

### 1.1 地質リスクとは

- (1) リスクの概念
- (2) 地質リスクとは

## 1. 地質リスクとそのマネジメント

### 1.1 地質リスクとは

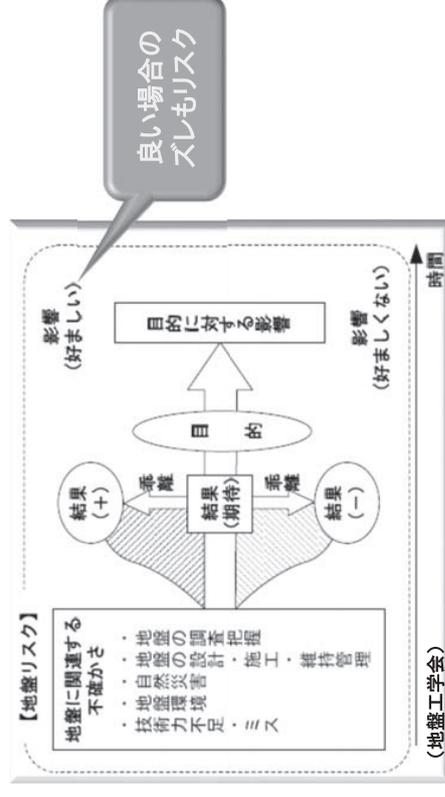
- (1) リスクの概念
- (2) 地質リスクとは

## 内容

- 1. 地質リスクとそのマネジメント
  - 1.1 地質リスクとは
  - 1.2 地質リスクマネジメントが必要とされる背景
  - 1.3 リスクマネジメントとは
  - 1.4 地質リスクマネジメントの効果
- 2. 地質リスク調査検討業務発注ガイド
  - 2.1 本業務の必要性と効果
  - 2.2 発注段階
  - 2.3 調査検討の手順・内容
  - 2.4 発注状況について
  - 2.5 今後の課題

## (1)リスクの概念

リスク＝目的に対する不確かさの影響



(地盤工学会)

# 1.2 地質リスクマネジメントが 必要とされる背景

- (1) 地質リスクの素因と誘因
- (2) 発注・契約上の問題

## (2)地質リスクとは

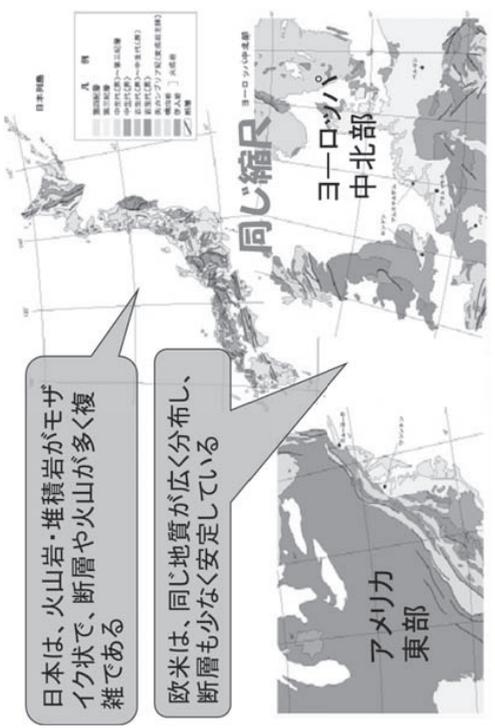
地質に係わる事業リスク、特に、コスト増大リスクに着目(コスト縮減への貢献)、事業コスト損失そのものと、その要因の不確実性を指す (地質リスク学会)

地質リスクは建設事業に焦点を当て、その建設コストに極めて大きな影響を及ぼす地質、地盤、地下水などに係る不確実性のこと。  
計画、調査、設計、施工ならびに維持管理の各建設段階において、そのリスクを管理することによりできるだけトータルコストを抑えることを主目的としたものである。  
当然の事ながら、災害や事故を防止することも含まれる。

## (1) 地質リスクの素因と誘因



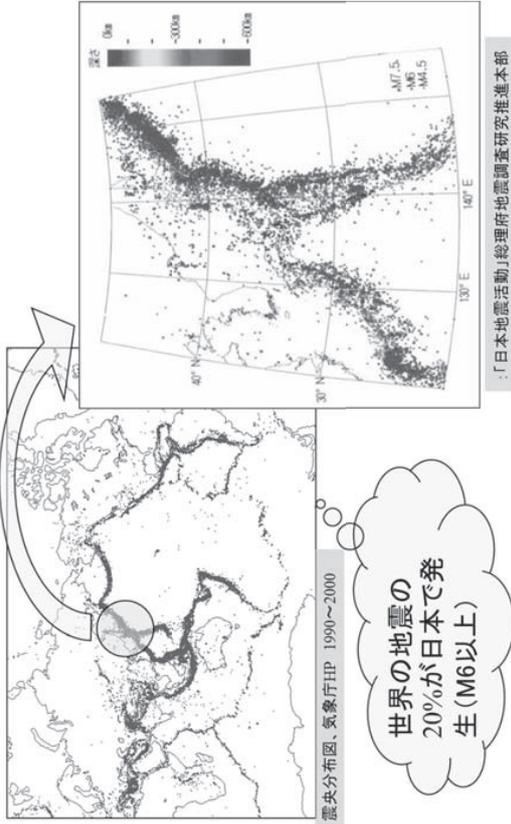
## 【素因】地質条件の複雑さ ～欧米との差異～



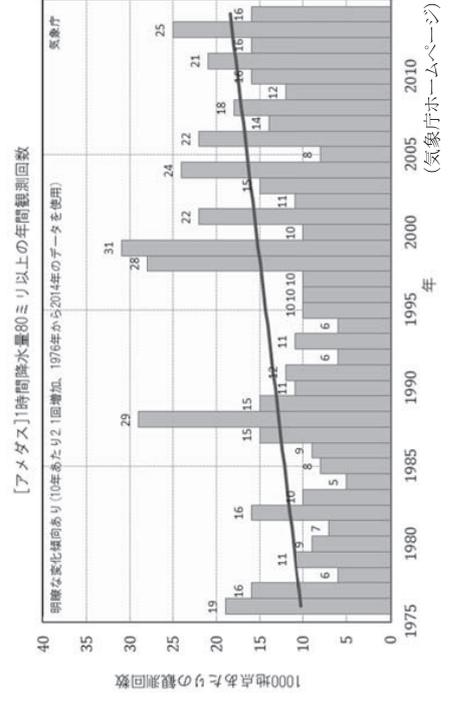
# プレートテクトニクスからみた日本列島



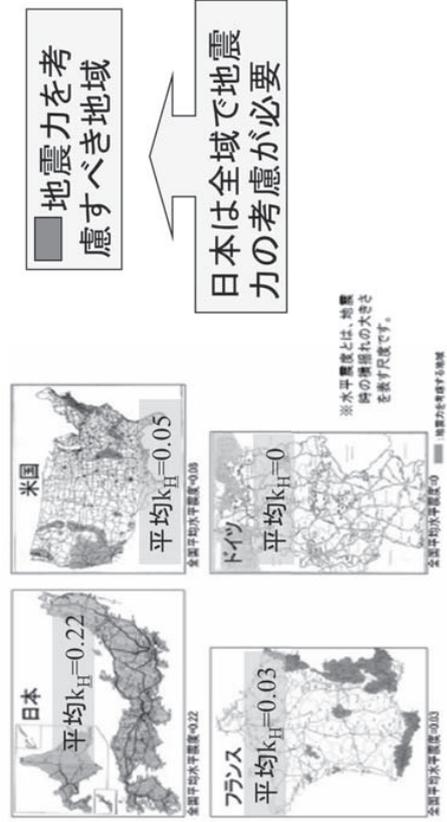
# 【誘因】活発な地震活動～地震発生分布～



# 【誘因】地球温暖化に伴う豪雨の増加



# 耐震設計の必要性は世界最大



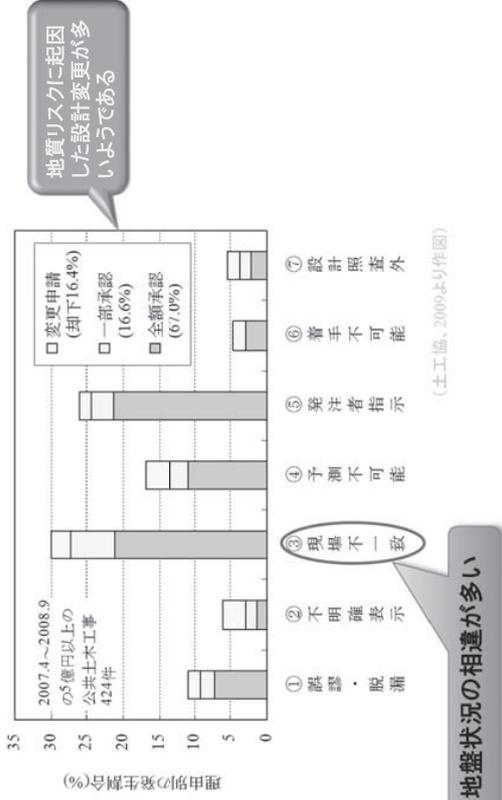
## (2) 発注・契約上の問題

### ① 発注者にとっての地質リスク

- 従来は当初条件と異なる場合に比較的容易に設計変更が行われてきた。ところが、地質条件の変更による工事費増大への見方が厳しくなってきたおり、監査で問題になったり、極端な場合合議会承認が得られなれない可能性もある。
- 工事費が税金からきていることから、発注者としてエンドユーザーである国民への説明責任が問われる。

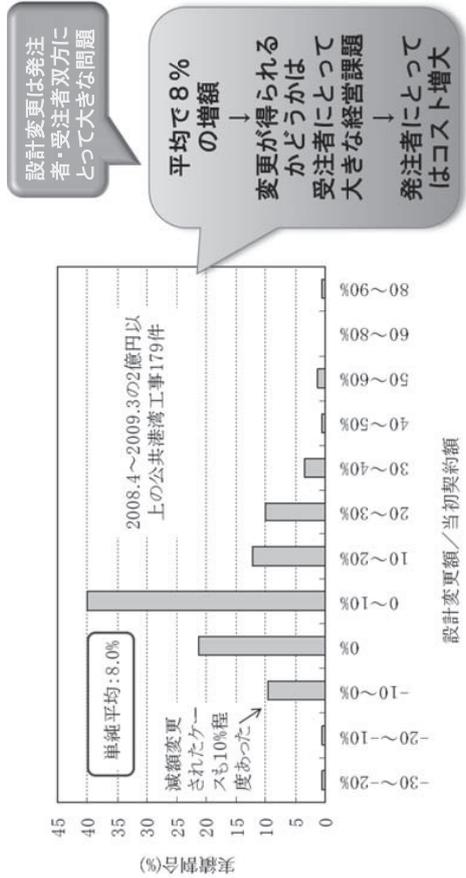
## 工事契約と地質リスク

### ～ 設計変更の理由 ～

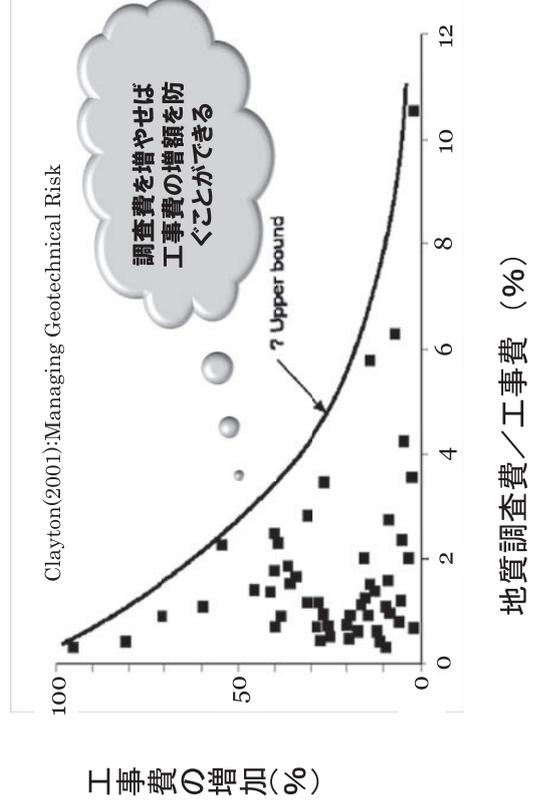


## 工事契約と地質リスク

### ～ 設計変更額の実際 ～



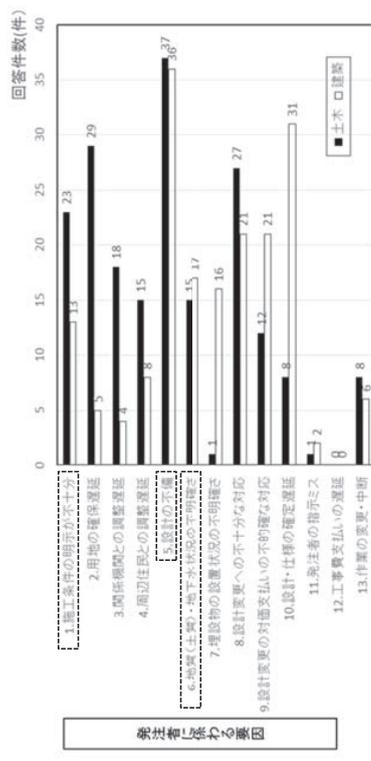
## 設計変更増額と調査費の関係例(英国)



## ② 受注者にとっての地質リスク

- 調査、設計技術者は、予見すべき地質リスクを予見しなかった場合、瑕疵責任を問われる可能性がある。
- これらの問題に対して保険制度があるが、最近では大きな賠償額を要求されるケースが散見されるため、地質リスクは経営に影響を及ぼす問題としても捉える必要がある。
- 一方地質リスクは、工事受注者にとっては原価への悪影響に直結することがある。

## 工事の原価に影響を及ぼす要因



## 1.3 リスクマネジメントとは

### (1) リスクマネジメントの定義

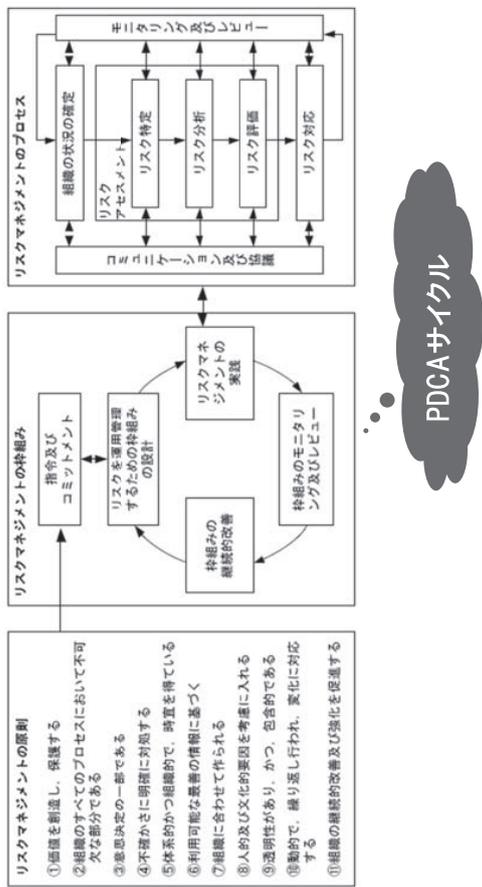
### (2) 地質リスクの扱い

## (1) リスクマネジメントの定義

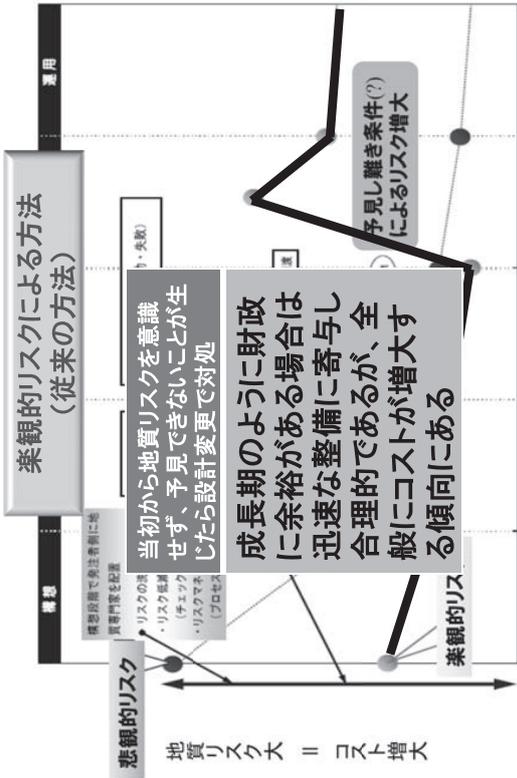
リスクについて、組織を指揮統制するための調整された活動(JIS Q 31000)

単純にリスク管理として捉えるのではなく、組織活動あるいは経営そのものとして位置づけている

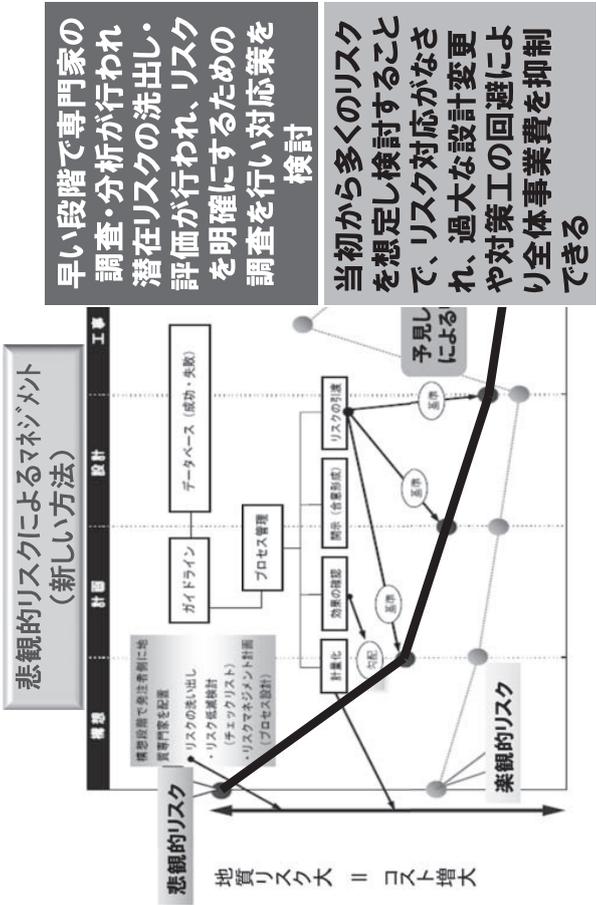
# リスクマネジメントの原則、枠組み及びプロセスの関係(ISO 31000)



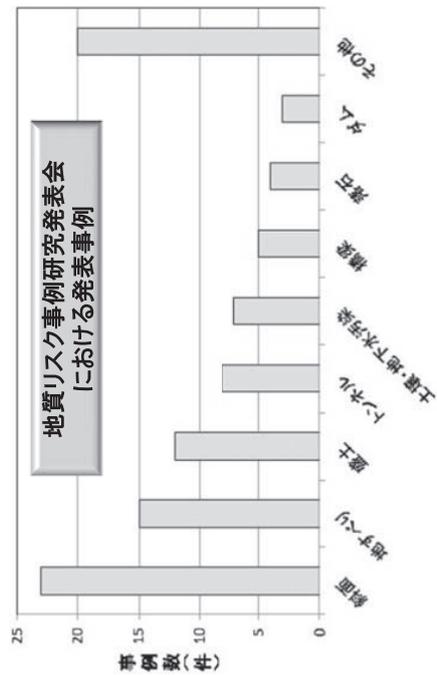
# (2)地質リスクの従来の扱い ～楽観的リスク～



# 地質リスクの新たな扱い ～悲観的リスク～



# 1.4 地質リスクマネジメントの効果



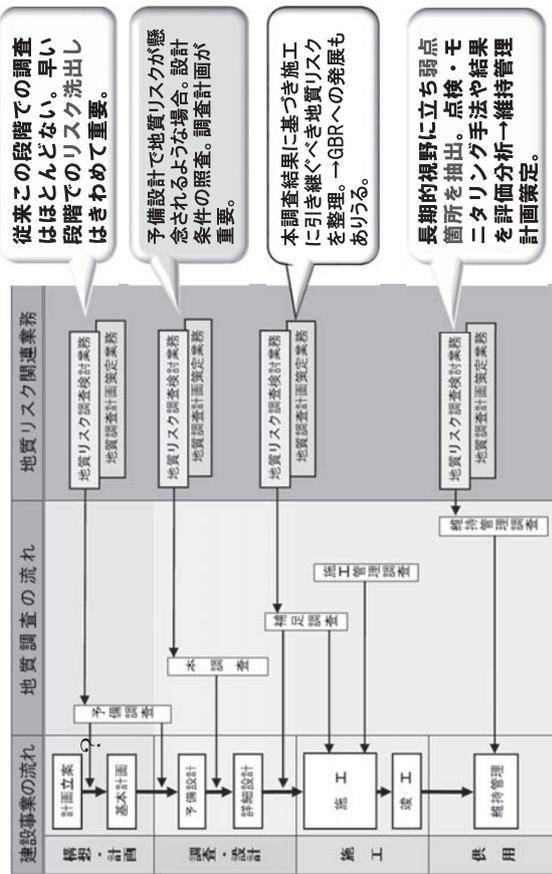
(地質リスク学会地質リスクマネジメント体系化委員会、2014)



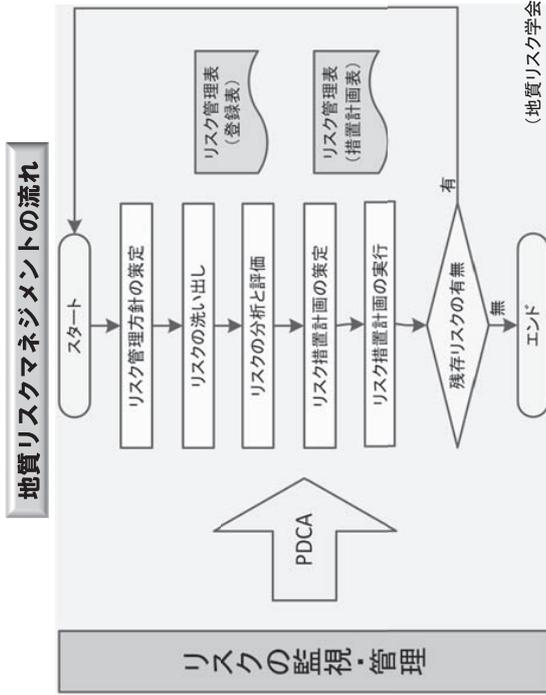
# 地質リスク調査検討業務の効果

- ① 事業の各段階で地質に起因するリスクを抽出することで、適切なリスクマネジメントが展開できる
- ② 事業の各段階で後続段階へのリスク引渡し内容が明確となる
- ③ 従来のリスク発生後の事後対応から事前のリスク管理型となる
- ④ 関係者のリスクコミュニケーションが図られる(リスク共有、リスク共生)

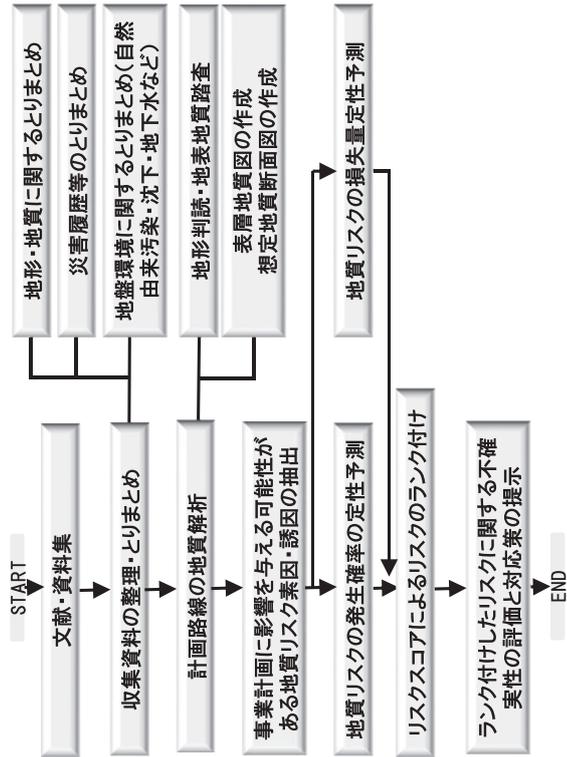
# 2.2 本業務の発注段階



# 2.3 調査検討の手順・内容



# 基本計画段階での検討手順例



# 地質リスク検討のための調査項目例

- 1) 既往文献収集・とりまとめ
  - ・地形・地質
  - ・災害履歴(地震、斜面、土石流など)
  - ・地盤環境(沈下、地下水、水文、汚染など)
- 2) 地質解析
  - ・地形判読
  - ・航空写真判読
  - ・地表地質調査
  - ・表層地質図作成
  - ・地質断面図作成
- 3) 地質リスク要因・誘因の抽出
  - ・素因の抽出
  - ・誘因の特定
- 4) 地質リスクの発生確率と損失量の定性予測
  - ・発生確率のランク区分設定
  - ・損失量のランク区分設定
  - ・発生確率予測
  - ・損失量予測
  - ・リスクスコアによるリスクランク区分
  - ・不確実性の評価
  - ・対応案の提示

# 土砂災害タイプとリスク特定例

災害タイプ	文献調査段階	調査段階	リスク評価・リスク対策	
地すべり	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地すべり指定の有無(周辺域も含む)</li> <li>・既存地すべり地形分布図(NED等)</li> <li>・地すべり活動記録の有無</li> <li>・基礎地質の種類(新第三紀層、第四紀層、その他の地すべりを起こしやすい地質)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空中写真判読(地すべり地形の分布確認)</li> <li>・地質、地質構造の確認</li> <li>・地表調査による地すべり地形の確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ポーリング</li> <li>・地すべり観測</li> <li>・地質調査</li> <li>・その他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・リスク回避: 発生可能性があり、対策が困難(技術的、経済的等)なリスクがある場合、ルーラーの変更などにより、当該斜面(リスクリク)を回避する。</li> </ul>
深層崩壊	<ul style="list-style-type: none"> <li>・深層崩壊発生記録の有無</li> <li>・岩盤クレープ地形の分布状況(NED等)</li> <li>・基礎地質の種類(中古生層など)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空中写真判読(深層崩壊跡地や岩盤クレープ地形の分布確認)</li> <li>・地質、地質構造の確認</li> <li>・地表調査による深層崩壊跡地、岩盤クレープ地形の確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ポーリング</li> <li>・地質調査</li> <li>・地形解析</li> <li>・その他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・リスク回避: 発生可能性があり、対策可能なものは、対策工の整備によりリスクを低減する。ハート対策が困難もしくは十分ではない場合は、アプト対策による減災を目指す。</li> </ul>
中小規模崩壊	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地形勾配の種類(地形図)</li> <li>・基礎地質の確認(崩壊要因のある地質か)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空中写真判読(崩壊跡地や堆積地形の分布確認)</li> <li>・地質、地質構造の確認</li> <li>・地表調査による崩壊堆積物の確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ポーリング、サブ</li> <li>・地質調査</li> <li>・その他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・リスク低減: 発生可能性も小さいものは、発生確率と損失量の両方、リスクスコアを低減する。(発生後事後処理を想定)</li> </ul>
落石	<ul style="list-style-type: none"> <li>・落石発生源の有無(地形図)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空中写真判読(落石発生源の分布)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・詳細地質調査による落石発生源の分布調査</li> </ul>	

リスクの可能性があれば、次の段階の調査に進む

(地質リスク学会・GUPI 2015)

# 地質リスクの分析例

発生確率	発生確率				
	① 50年に一度以上	② 10~50年に一度	③ 5~10年に一度	④ 1~5年に一度以上	⑤ 1年に一度以上
AA: リスク回避(路線変更)	C	C	C	C	C
A: リスク低減(万全な対策)	C	B	B	B	B
B: リスク低減(調査結果に応じて対策)	B	B	A	A	A
C: リスク留保(施工へ待機し、モニタリング)	B	A	A	A	AA
① 事業の継続に影響を与えない	A	A	A	AA	AA
② 軽微な修復で事業継続可能となる影響	A	A	A	AA	AA
③ 大きな損失を受けけるが事業は継続可能で、遅延がある	A	A	A	AA	AA
④ 事業が中断または大幅な遅延となる影響	A	A	A	AA	AA
⑤ 事業の継続不能となる影響	A	A	A	AA	AA

(注1) ①非常に低い、②低い、③中程度、④高い、⑤非常に高い

(注2) 評価者の判断が入りやすいため、条件や判断結果に対する不確実性を明示する

# リスク管理表(登録表)の例

番号	名称	詳細	状況	危険性	発生確率	影響度(最大)	リスク	対策	優先度
1	地すべり	地すべり指定の有無(周辺域も含む)	危険性	発生確率	影響度(最大)	リスク	対策	優先度	1

① 地すべり指定の有無(周辺域も含む)を確認し、既存地すべり地形分布図(NED)を確認する。  
 ② 地すべり活動記録の有無を確認する。  
 ③ 基礎地質の種類(新第三紀層、第四紀層、その他の地すべりを起こしやすい地質)を確認する。  
 ④ 空中写真判読(地すべり地形の分布確認)を行う。  
 ⑤ 地質、地質構造の確認を行う。  
 ⑥ 地表調査による地すべり地形の確認を行う。  
 ⑦ 必要に応じて、地すべり観測やポーリングを実施する。  
 ⑧ リスク回避(技術的、経済的等)なリスクがある場合、ルーラーの変更などにより、当該斜面(リスクリク)を回避する。

(注) リスクスコアは、発生確率と影響度の両方から算出される。発生確率と影響度の両方が低い場合は、リスクスコアが低くなる。発生確率と影響度の両方が高い場合は、リスクスコアが高くなる。



## 「平成27年度牛根境地区地質調査 総合解析業務」の特記仕様書 における具体的な記載内容

1. 地質リスク調査検討： 概略設計に先立ち地質リスクを抽出し設計施工上の留意事項を検討し、明らかにする。
2. 地質調査計画策定： 地質リスクを踏まえ、事業目的に合致した適切で経済的な地質調査計画を策定する。

## 今後の課題(1)

### リスク評点の妥当性

リスク評点については、より客観性を持たせる意味で定量化の試みは必須と考えられるが、妥当な評価とすするためには事例を積み重ねる必要がある。

## 2.4 地質リスク調査検討業務の 発注状況(2)

地方自治体

予備調査の段階で地質リスクを意識した発注  
技術顧問の発注状況

1. 国交省でアドバイザー・コンサルタント制度公募・  
発注(東北地方整備局)
2. 自治体で土砂災害関連の技術アドバイザー  
委託 (秋田県等)

※「地質リスク調査検討業務」は H27.11.24の  
改訂により、試行から本格実施の扱いとなった。

## 今後の課題(2)

### 地質調査の投資効果

地質リスクの洗出しは地質リスクマネジメントの  
第一歩である。これを本格的なマネジメントに発  
展させるためには、計画する地質調査の投資効  
果を明示することも必要である。

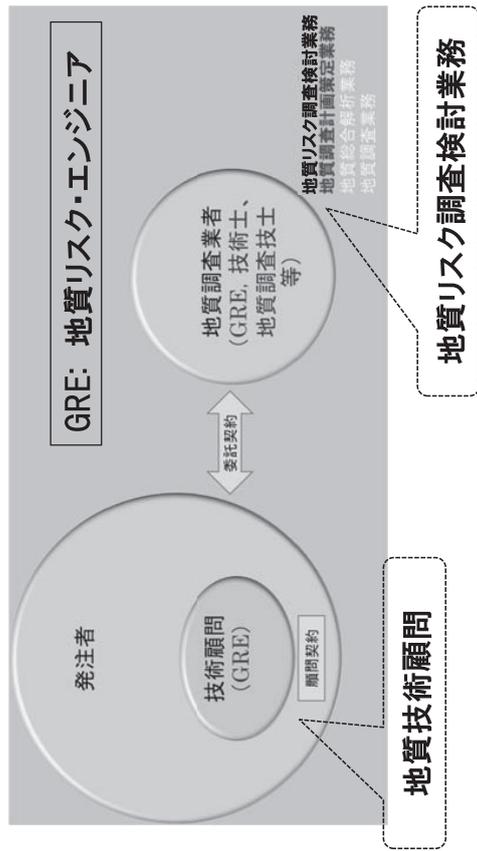
想定されるリスク事象による被害額と、地質調  
査投資額を対比することにより投資効果を示すこ  
とは、地質リスク調査検討業務の一部として位置  
づけることも検討に値すると考えられる。この際、  
現在使用している地質リスク事例シートを活用す  
ることが可能であろう。

# 今後の課題(3)

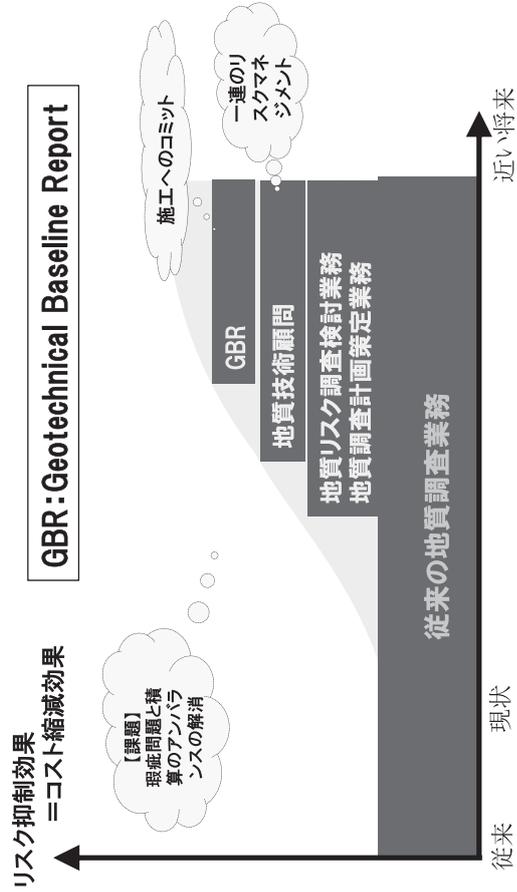
## 地質技術顧問との関係

地質技術顧問は、将来発注者側に立った支援業務としてアドバイザリー契約を行い、地質リスクのマネジメントを実施することが目標の一つと考えられる。このような技術顧問契約は発注者にとって、以前ほどではないにしても抵抗感があることは至めない。この制度を最終目標として見据えながら、個々のプロジェクト単位で地質リスクマネジメントを行うのが地質リスク調査検討業務であると位置づけることも可能である。この検討業務が地質リスクのマネジメントの必要性の理解を広め、地質技術顧問の制度化につながることを期待したい。

# 地質技術顧問と地質リスク調査検討業務の関係



# 地質リスク関連業務の発展イメージ

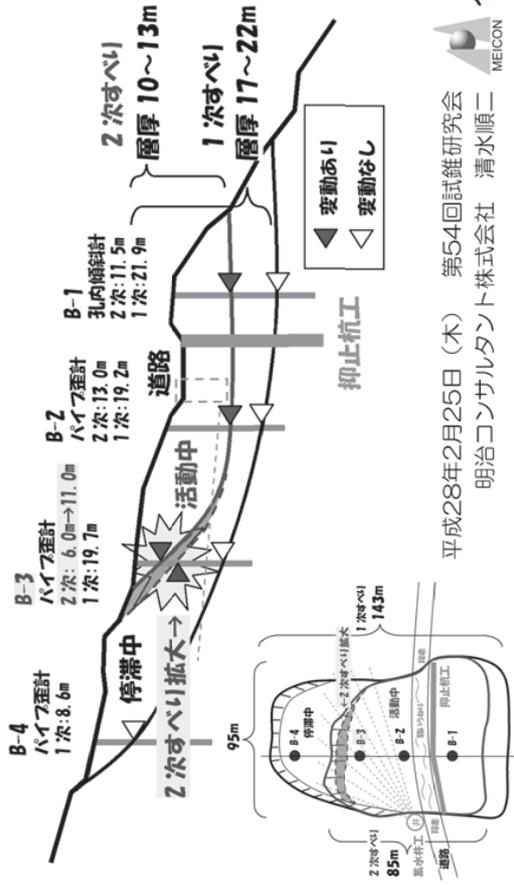


完

ご清聴有難うございました



## 地すべり抑止杭着工段階で発現した 地すべり拡大現象について



地質リスクとは  
地盤・地質の様々な不確実性に起因して生じる不都合な事象

「地質に係わる事業リスク」を  
“地質リスク”と定義し、事業コスト損失そのものとその要因の不  
確実性をさす。

(地質リスク学会)

3

## 1. 事例の概要

- 地すべり概要と発現したリスク (B)

## 2. 現象の詳細について

- 動態観測結果と気象状況
- 地すべり範囲拡大状況
- 地質リスク発現の原因

## 3. 発現したリスクへの対応

## 4. まとめ

2

不確実性に起因して生じる

不都合な事象

施工段階での不符号、変状  
崩壊・地すべり、出水、井戸涸渇

手戻り、事故  
工事コスト、補償

● 地中の不可視な情報

支持地盤の深さや層厚の変化  
物性の不均一性、地下水

複雑な地形形成史  
や地質分布

調査の限界、誤差  
(数量や技術)

品質向上努力  
複合調査  
高品質BR  
シミュレーション

● 継時的な状態や状況の変化

岩盤等の劣化

応力状態の変化

物理・化学・生物的变化、緩急  
除荷、載荷、バランス変化  
乾湿、膨潤、凍結融解  
破壊、碎片化、溶解

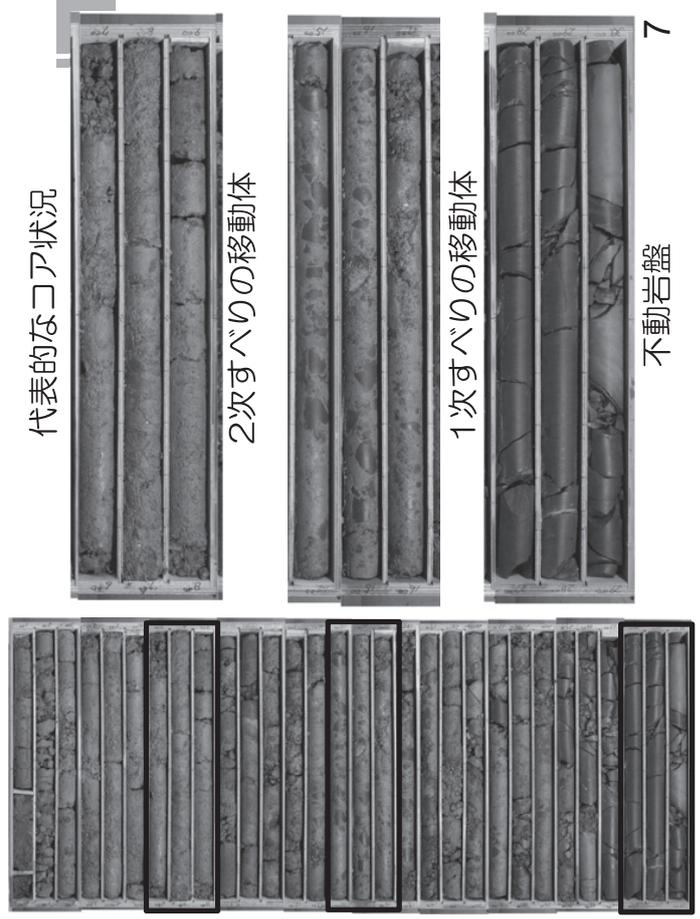
4

# 1. 事例の概要

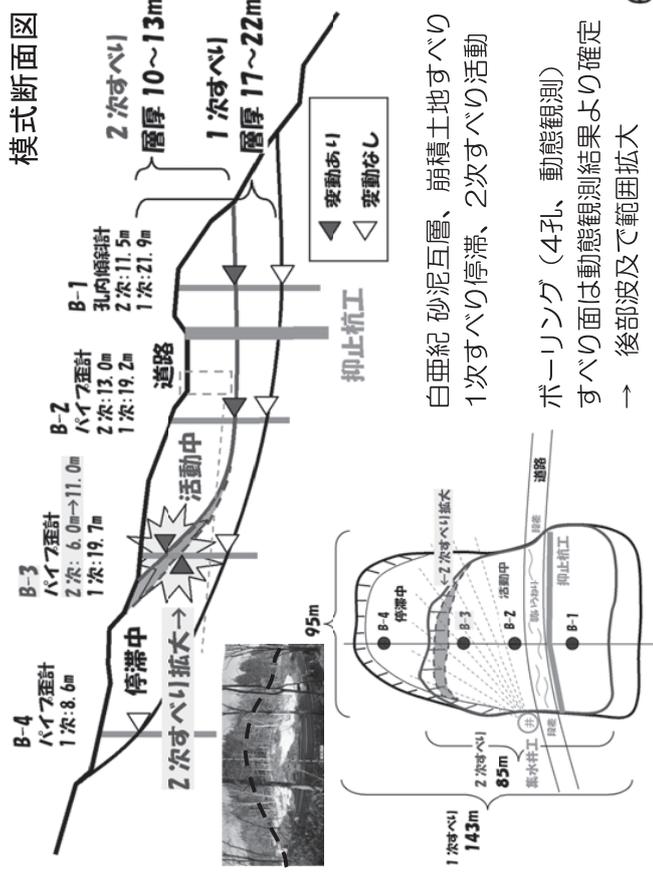
**B. 地質リスクが発現した事例**

- 地すべり現象 (道路変状)
- 融雪最盛期前の着工を目指し対策設計 (2012.12)
- 2013.2末, 工事着工段階で地すべり範囲拡大
- 修正設計と抑止杭工の規格変更  
必要抑止力 +52.1 kN/m (608.4→660.5 kN/m)  
杭打設ピッチを変更 (2.0m→1.8m), 抑止杭5本増  
修正設計 (60万円), 追加工事 (2,400万円)
- 調査・観測で把握されていたすべり面が変化  
地すべり地内で起こり得る事象 → 地質リスク評価の難しさ (教訓)

5

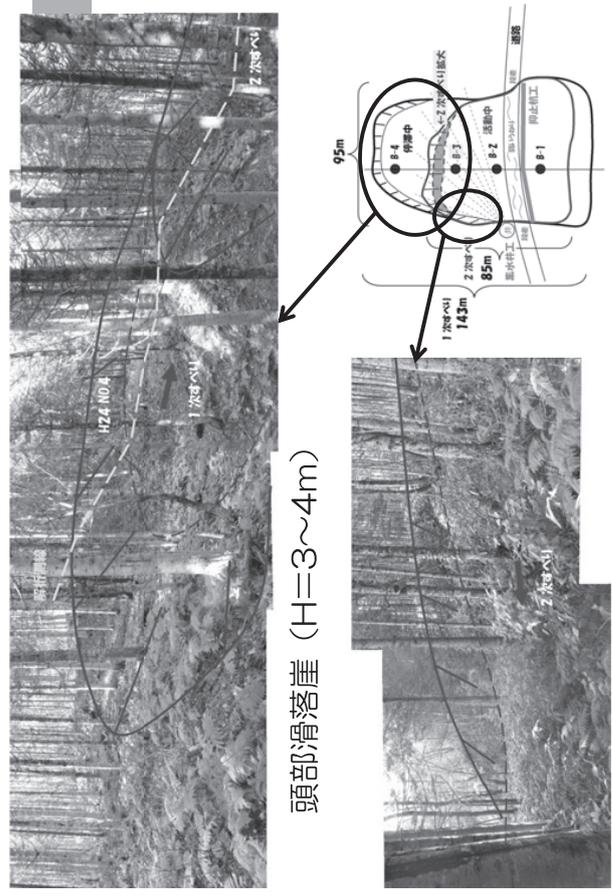


7

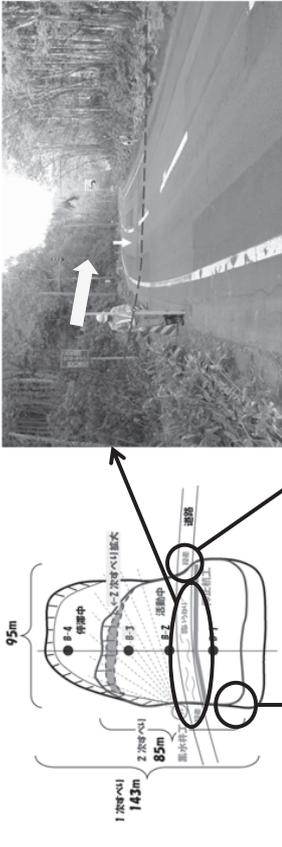


白亜紀 砂泥互層、崩積土すべり  
1次すべり停滞、2次すべりの活動  
ボーリング (4孔、動態観測)  
すべり面は動態観測結果より確定  
→ 後部波及で範囲拡大

6



8



路面のうねり



構造物破損

路面の亀裂

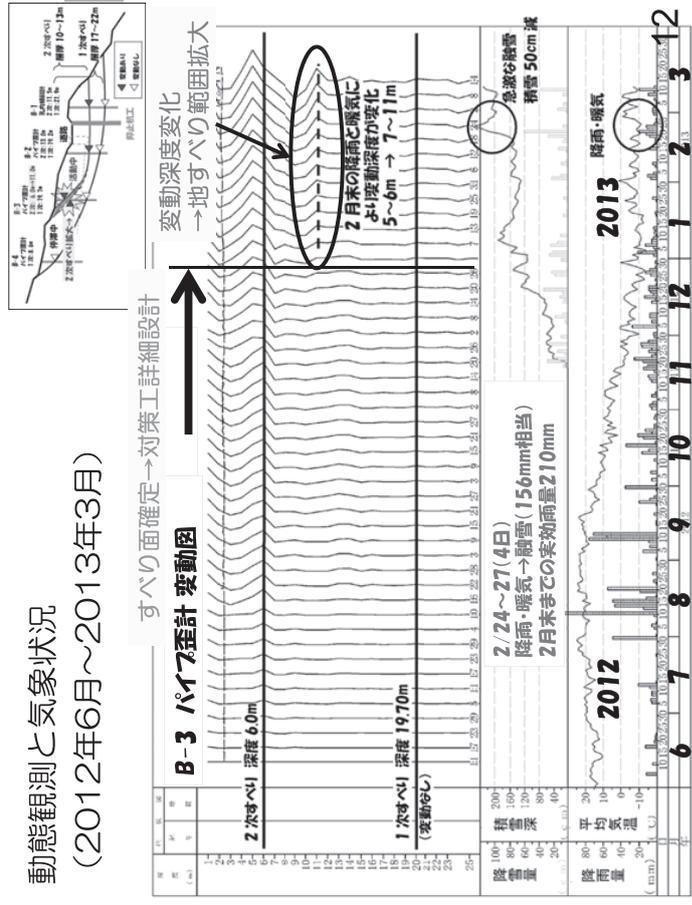
9

## 2. 現象の詳細について

- 動態観測結果と気象状況
- 地すべり範囲拡大状況
- 地質リスク発現の原因  
調査不足か？すべり面の見誤りか？

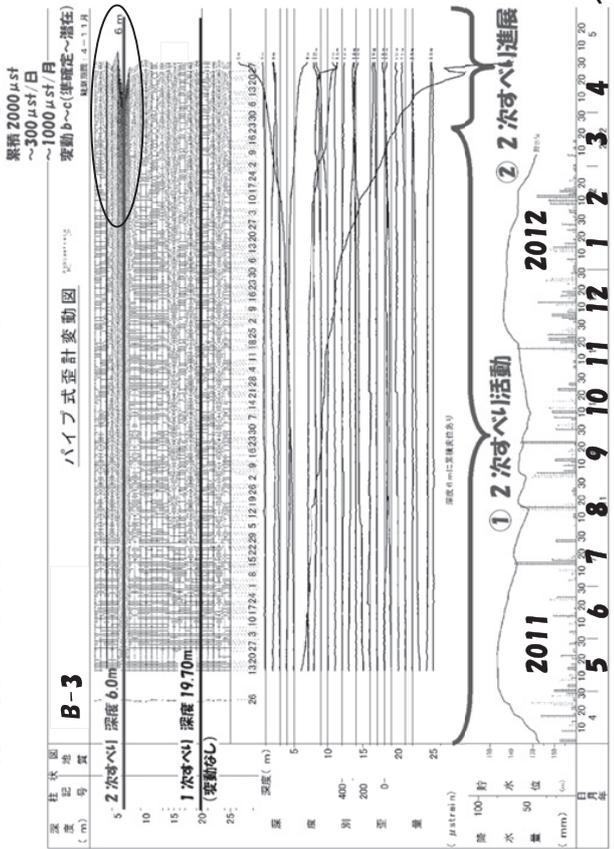
10

### 動態観測と気象状況 (2012年6月～2013年3月)



11

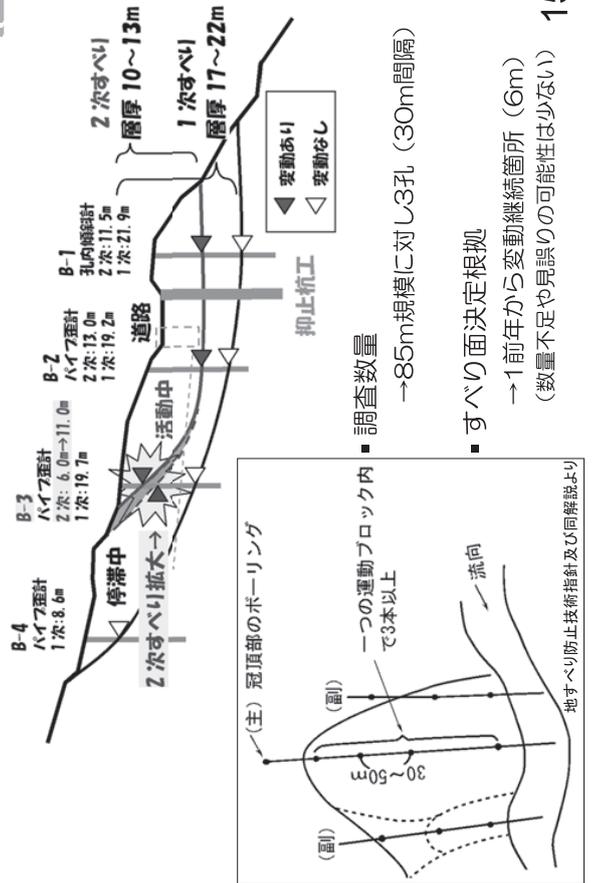
# 前年度の観測結果 (2011年5月~2012年4月)



13

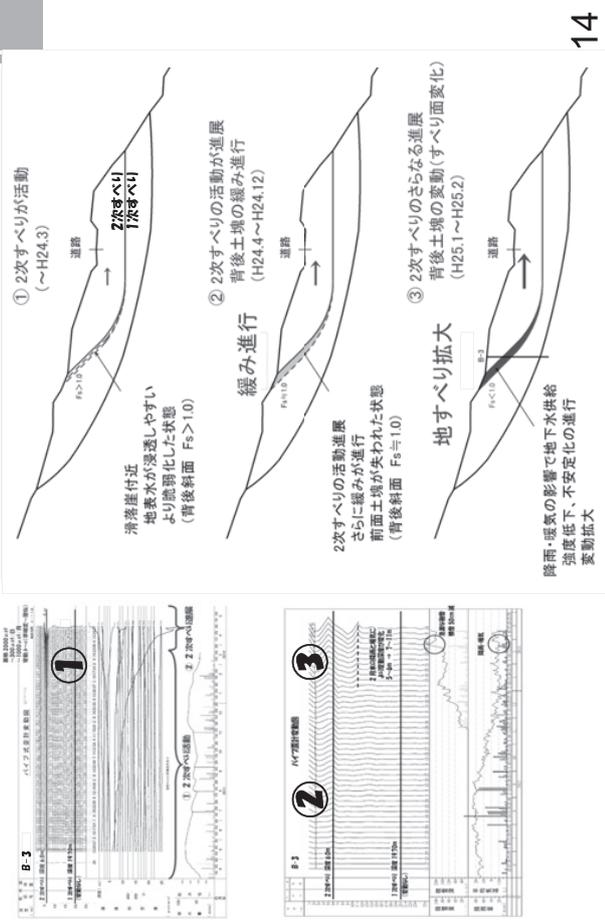
# 地質リスク発現の原因

調査不足？すべり面の見誤り？



15

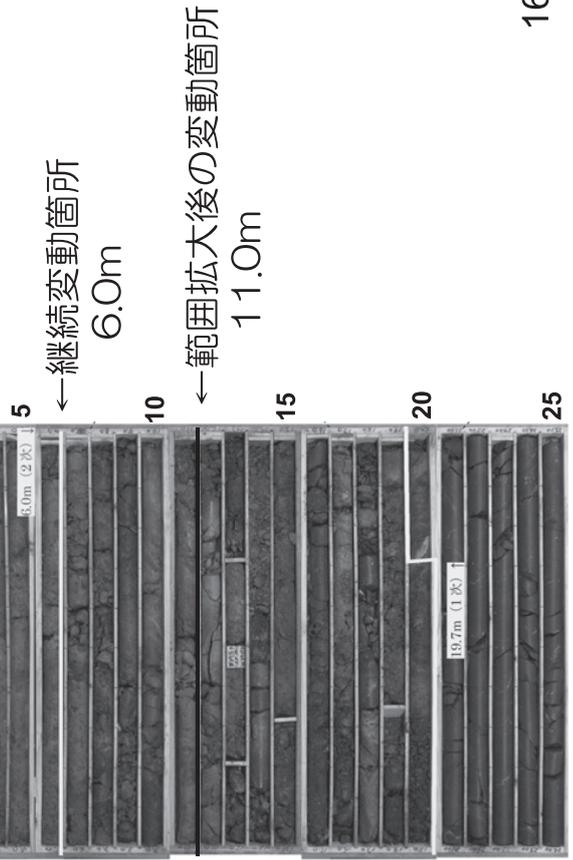
# 地すべり範囲拡大のメカニズム



14

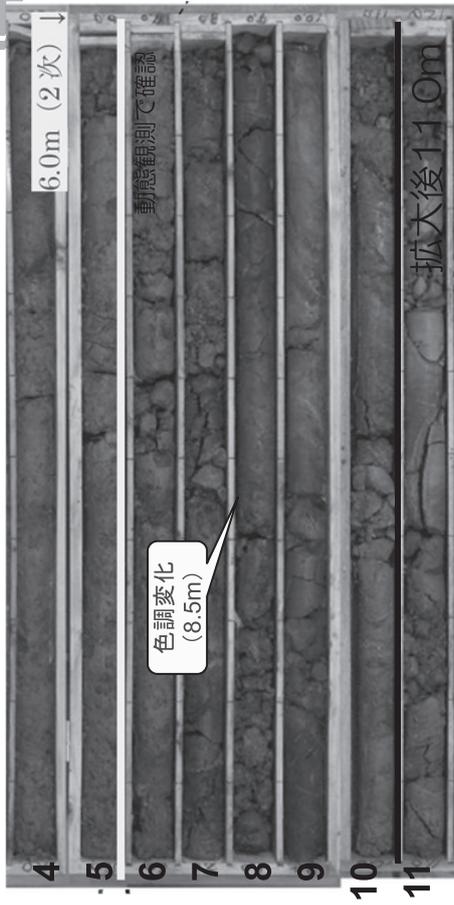
# 変化が確認された

B-3号孔のコア状況



16

### B-3号孔のコア状況（変動深度6m→11mへ）



コア状況（構造や硬軟）や色調の変化を踏まえて、11.0mまでの深度変化を予想できたであろうか？ 17

- 観測データより再解析（追加調査なし）
- 増加分の抑止力算出
- 修正設計（杭ピッチ変更）

検討期間の分のみ工事工程圧迫

	頭部付近の すべり面深度	必要抑止力	抑止杭工の規格	追加費用
当初	5~6m	608.4 kN/m	φ508mm, t=23mm 2.0mピッチ, 47本	-
拡大後	7~11m	660.5 kN/m	φ508mm, t=23mm 1.8mピッチ, 52本	修正設計 60万円 追加工事 2,400万円
変化	深度方向に2~5m 背後方向に6m	52.1 kN/m増	ピッチ2.0→1.8m 5本増	2,460万円増

19

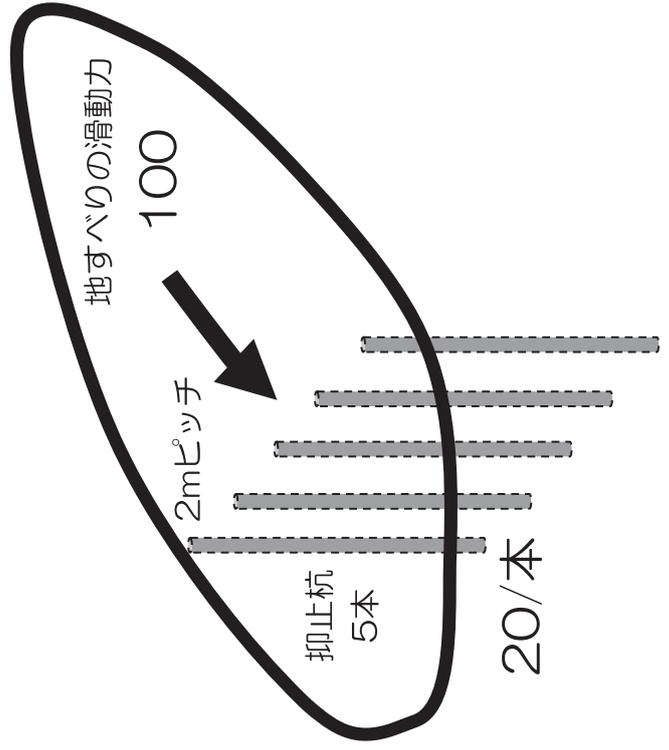
### 3. 発現したリスクへの対応

- 通常であれば、  
抑止杭の規格及び最適配置等を再検討
- 問題は工事が着工段階、  
抑止杭は既に手配済み  
新規手配はコスト増、工事完成延伸
- 手配済みの資材を活用したい

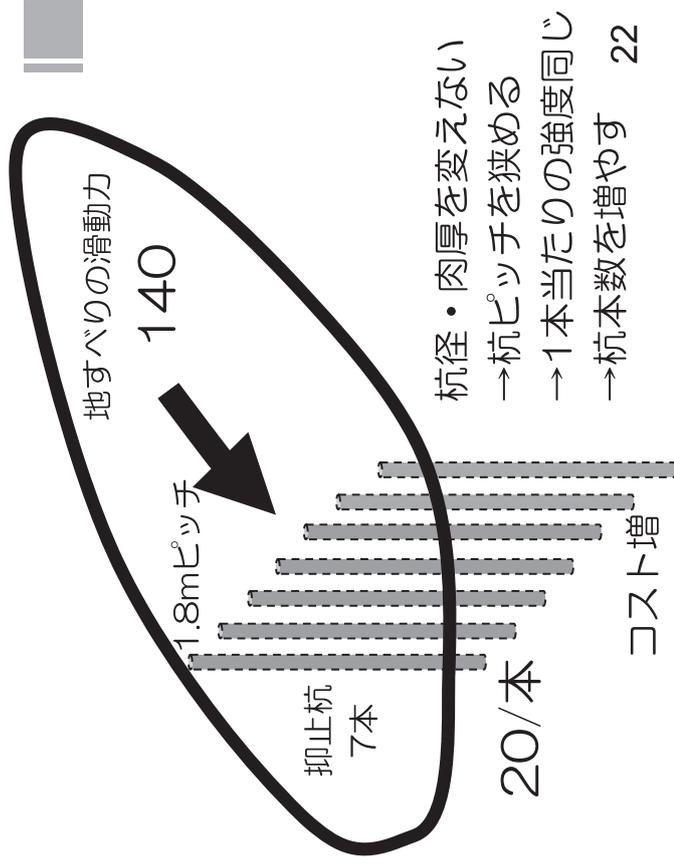
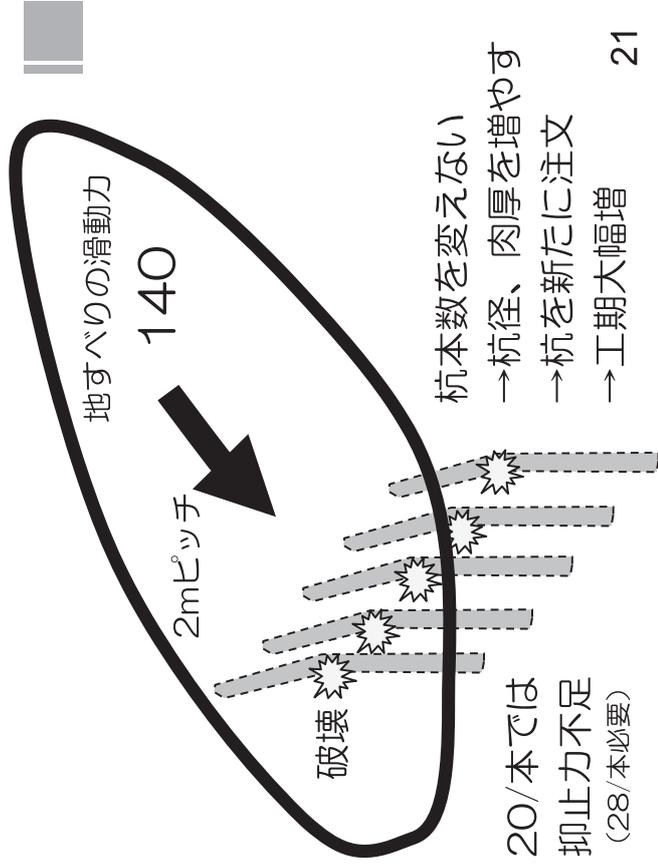
地すべり抑止杭は受注生産別規格の杭を新たに注文すると納品が数か月ずれ込む！

融雪期や降雨期を挟み、地すべり活動活発化の恐れ

18



20



どうすればリスクマネジメントできたか...

前面の押さえがなくなった仮定し  
安全率を試算 ( $F_s = 0.82$ )



- このような想定を事前に行い、定量的に地質リスクを表明するためには...
- 物理探査による脆弱部の抽出
- ボーリング、室内試験などの追加調査
- FEM解析による応力状態の検証

地質コンサルタント  
による提案が鍵!

## 4. まとめ

- 地質リスクが発現した事例を紹介  
(地すべり頭部の変動深度が変化し抑止杭増 2,400万円)
- 1歩踏み込んだリスクマネジメントを  
リスク発現を予測し事前に対応できれば○  
事前の想定により発現時のスムーズな検証や対応で○  
(作業の手戻りや停滞、追加費用の発生を最小限に)
- 地質リスク学会でマネジメント事例収集  
(HPで公開: <http://www.georisk.jp/>)

## 支持層の不確実性を 地質リスクマネジメントする ～支持杭の長さ不足は防げるか？～

1. 地質リスクを考慮した杭長の最適化
2. 地質リスクマネジメントに必要な能力
3. まとめ

大地コンサルタント(株) 寺井 康文

### 1. 地質リスクを考慮した杭長の最適化

#### 【杭の長さの設定方針？】

〈地質を扱ううえで回避できない条件〉

- ・ 調査結果には不確実さが残る。(地質リスクの発生)

〈設定にあたって検討すべき条件〉

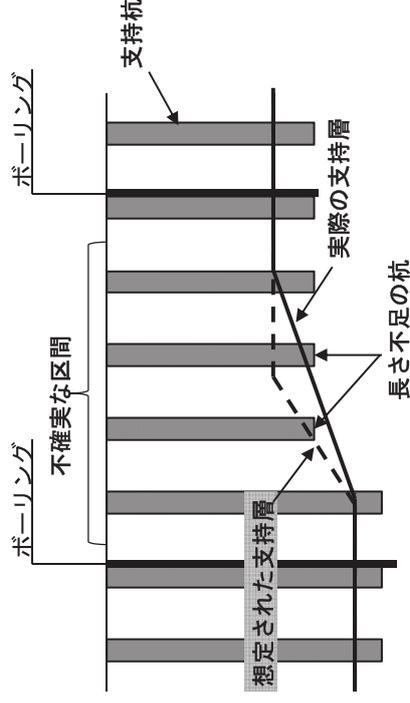
- ・ 地質リスクをどのように解消する(または受忍する)か？  
求められる支持層分布の精度は？  
リスクが顕在化した場合の対応が可能？etc.

〈リスク対応方針の例〉

- 1) 確実に杭が到達する精度で支持層分布を調査する。  
(地質調査段階でリスクを解消)
- 2) 確実に支持層に到達する長さの杭を計画する。  
(設計段階でリスクを解消)
- 3) 杭打ち時に確認された深度まで杭を継ぎ足す。  
(施工段階でリスクを解消)

### 1. 地質リスクを考慮した杭長の最適化

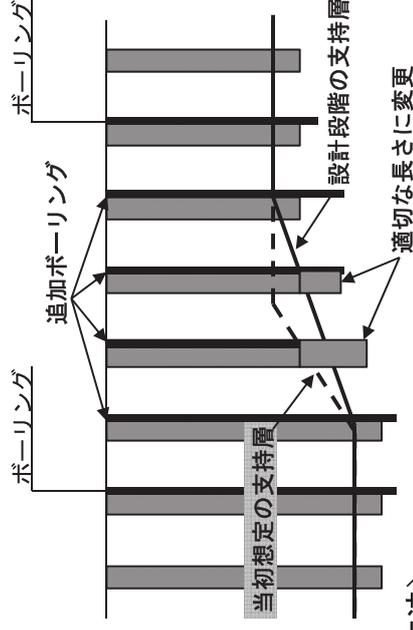
#### 【支持層が傾斜した地盤に杭を打つと？】



- ・ 調査地点間は推定による(不確実)。  
不確実さが悪い方へ作用した場合、杭先端が支持層に到達しない。

### 1. 地質リスクを考慮した杭長の最適化

#### 【確実に杭が到達する精度で支持層を把握】



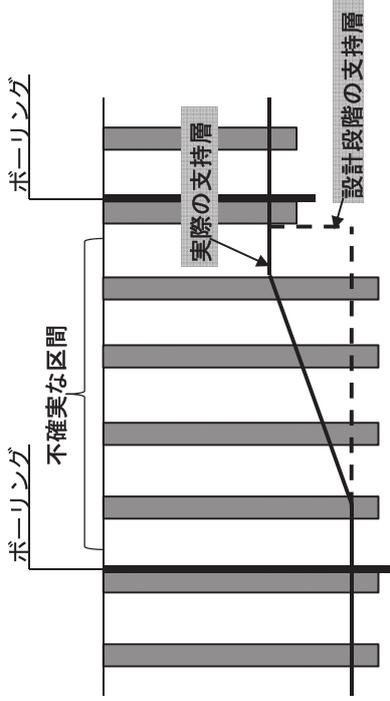
〈方法〉

- ・ 不確実な区間の調査を追加する。

〈問題〉

- ・ 調査コストが増大する。

1. 地質リスクを考慮した杭長の最適化  
【確実に支持層に到達する長さの杭を計画】



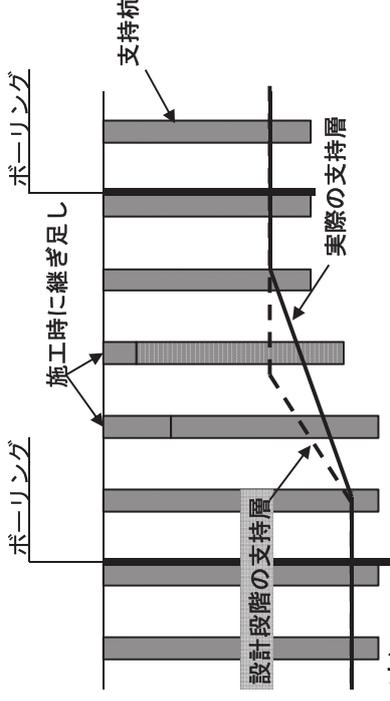
〈方法〉

- ・ 不確実な区間の支持層を深い側の調査結果で評価。

〈問題〉

- ・ 施工コストが増大する。

1. 地質リスクを考慮した杭長の最適化  
【施工時に継ぎ足す】



〈方法〉

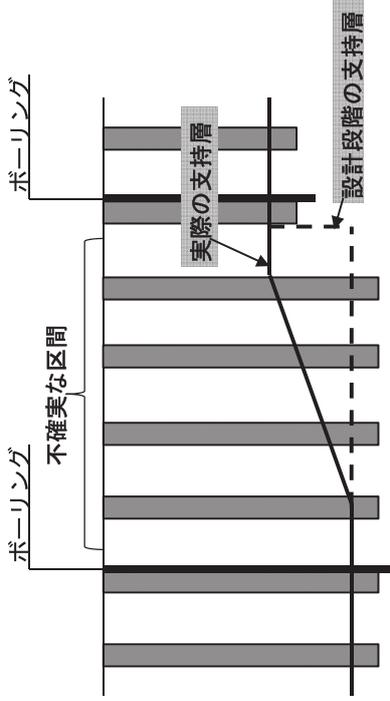
- ・ 不確実さを受忍して計画し、施工時に支持層の深さを確認し不足分を補う。

〈問題〉

- ・ 工期が増大する。工法が限定されコストが増大する。

1. 地質リスクを考慮した杭長の最適化

【確実に支持層に到達する長さの杭を計画】



〈方法〉

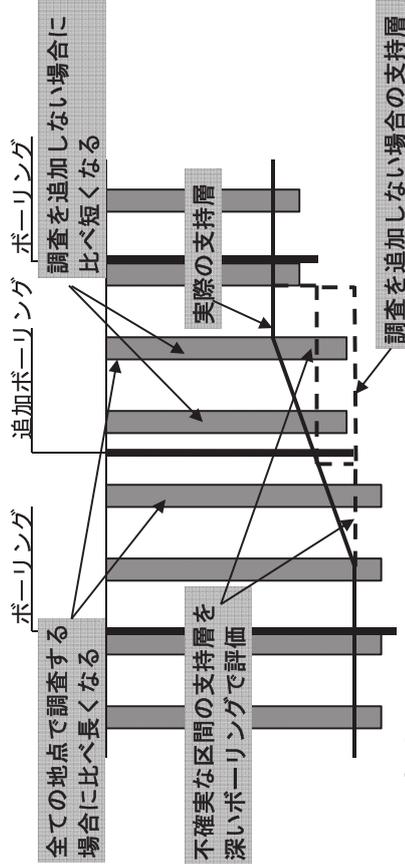
- ・ 不確実な区間の支持層を深い側の調査結果で評価。

〈問題〉

- ・ 施工コストが増大する。

1. 地質リスクを考慮した杭長の最適化

【施工前段階での最適化】



〈方法〉

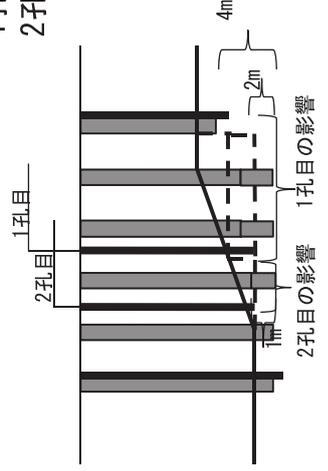
- ・ 追加調査と確実な長さの杭の組み合わせで調査コストと施工コストを最小化。

1. 地質リスクを考慮した杭長の最適化

【施工前段階での最適化】

〈期待値算出のための諸定数〉

- ・ 追加ボーリング1孔の調査コスト：a円 (30万円)
- ・ 杭長1mあたりの施工コスト：b円 (20万円)
- ・ 追加ボーリングで杭長が短くなる可能性：c% (50%)
- ・ 追加ボーリングn孔目での杭長の影響本数： $d_n$ 本
- ・ " " " " " " " " " " " " " " " "
- ・ 短くなりうる杭長： $e_n$ m
- ・ 1孔目  $d_1$  : 2本  $e_1$  : 2m
- ・ 2孔目  $d_2$  : 1本  $e_2$  : 1m



1. 地質リスクを考慮した杭長の最適化

【施工前段階での最適化】

〈期待値の算出〉

(調査コスト+杭長が短くなった場合の効果) × その可能性  
+ (調査コスト+効果なし) × その可能性

追加調査なし

: 0万円 - 0万円 × 100% = 0円

追加調査1孔目の期待値

: [20万円 × 1孔 + {-30万円 × (2本 × 2m)}] × 50%  
+ 20万円 × 1孔 × 50% = -40万円

追加調査2孔目の期待値

: [20万円 × 1孔 + {-30万円 × (1本 × 1m)}] × 50%  
+ 20万円 × 1孔 × 50% = +5万円

追加調査1孔実施し杭長を計画するのが合理的

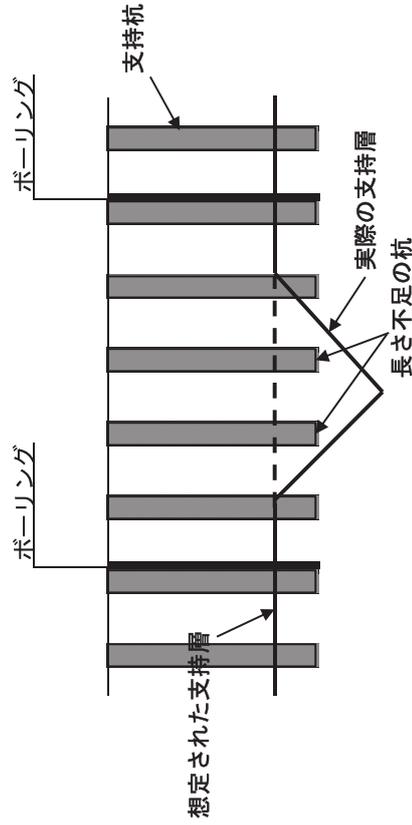
1. 地質リスクを考慮した杭長の最適化

【最適な杭の計画は？】

- ・ 地質リスクへの対応方針（どの段階で不確実さを解消するか）を検討することから始まる。
- ・ 「追加調査のコスト+施工コスト」の期待値を算出することにより、最適な杭長を計画できる（トータルコスト縮減）。
- ・ 調査精度を向上させることが必ずしも合理的ではなく、実際の支持層深度よりも長い杭を計画することが必ずしも過大な設計にはならない。
- ・ 支持層に到達させることだけが課題ではない（硬質な支持層で長い杭が高止まりする場合など）。地質リスクは単調ではない。

2. 地質リスクマネジメントに必要な能力

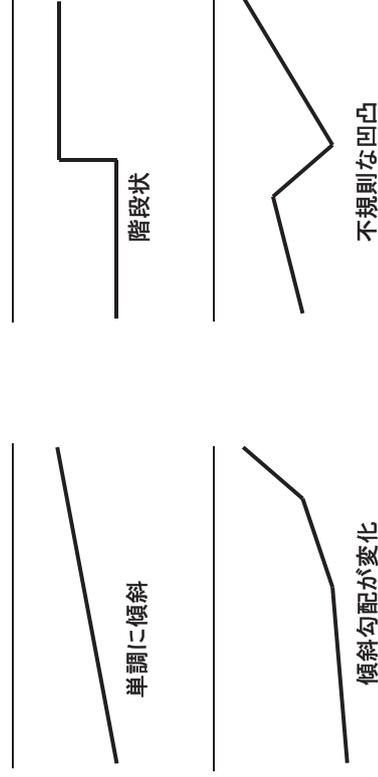
【地質（支持層の分布）は単調か？】



- ・ 調査地点が支持層最深部と一致するとは限らない。
- ・ 最深部で調査されない限り、支持層に確実に到達する杭を計画できない。

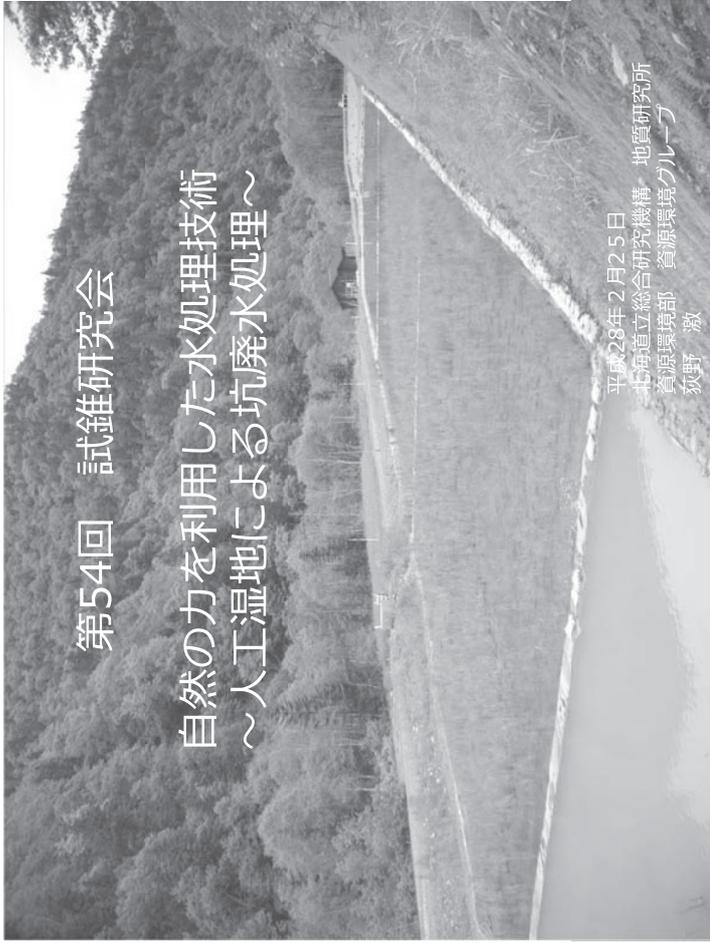
2. 地質リスクマネジメントに必要な能力

【地質リスクマネジメントは規格化できるか？】



- ・ 支持層の分布形状は多様で調査方法は臨機応変。
- ・ 調査精度向上と必要なコストは定量化できる。

<p>2. 地質リスクマネジメントに必要な能力</p> <p>【地質リスクを明らかにする】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 支持層の分布形状はどのように不確実なのか？ (地質リスクの抽出)</li> <li>・ どの地点で調査をするのが効果的か？ どの調査手法が効果的か？ どれだけの調査でどれだけ精度向上？</li> <li>・ そもそも不確実なのか？ (地質リスクの発見)</li> </ul> <p>地質リスクを明らかにするためには 常に問題意識 (地質リスクに敏感) 対象の地形・地質の成因を検討する 地質調査の特徴や精度を知る</p>	<p>2. 地質リスクマネジメントに必要な能力</p> <p>【マネジメントする】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地質リスクを評価する。 顕在化するとどのような問題が発生？</li> <li>・ 調査コストと効果への意識を高める。 調査を追加し精度を向上させるときか？ 不確実さを受忍した設計を目指すべきか？</li> <li>・ 全体をトータルで考える。 事業の上流 (計画) から下流 (施工、維持管理) まで マネジメントするためには 調査～設計施工維持管理に至るまで広範な知識 社会貢献 (トータルコストの縮減) の意識 倫理的な対応</li> </ul>
<p>2. 地質リスクマネジメントに必要な能力</p> <p>【地質リスクを明らかにする】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 事業の主体 (発注機関)</li> <li>・ 地質調査技術者の不足 (不在)。 事業全体を見る立場ながら地質リスクを考えられない。</li> </ul> <p>○ 設計技術者</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地質リスクへの認識不足。</li> <li>・ 調査のコストや特徴・精度に対する無知。 地質リスクを受忍した設計ができない。</li> </ul> <p>○ 地質調査技術者</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地質リスクへの認識不足。</li> <li>・ 設計施工に対する無知。 地質リスクを伝達できない。</li> </ul>	<p>3. まとめ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 不確実な支持層を対象とした施設の計画は、地質リスクマネジメントにより最適化できる。</li> <li>・ 地質リスクマネジメントのために大切なのは意識。 地質リスクへの問題意識 マネジメントによる社会貢献意識</li> <li>・ 地質リスクマネジメントは社会貢献する。 トータルコスト縮減、少ない予算で社会基盤整備 適切な地質調査による安全な社会基盤整備</li> </ul> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">地質調査業の社会的地位向上</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">社会啓蒙 (土砂災害の減災etc.)</p>



## 第54回 試錐研究会

自然の力を利用した水処理技術  
～人工湿地による坑廃水処理～

平成28年2月25日  
北海道立総合研究機構 地質研究所  
資源環境部 資源環境グループ  
狩野 激

## 1 自然の力による水処理技術とは？

自然の浄化能力・エネルギー(微生物の代謝、植物の光合成・吸収、土壌の吸着及び地形勾配など)のみ利用した水処理方法

### メリット

- ・ 電気等エネルギーが不要
- ・ 施設の維持・管理費、人件費、薬剤費が少額

### 代表例

人工湿地処理

### 人工湿地処理

各種の排水(廃水)処理に適用可能

- ・ 酸性坑廃水・生活排水・酪農排水・工場排水など

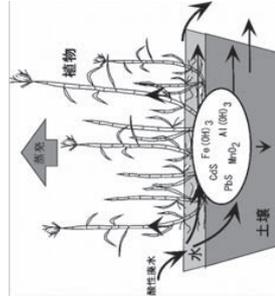
対象となる成分

- ・ 有害金属成分(カドミウム(Cd)、鉛(Pb)、砒素(As) など)
- ・ SS, BOD, T-N, NO<sub>3</sub>-N など
- ・ 有機系物質



## 人工湿地の浄化機能

- ▶ **植物**：吸い上げ，吸着，ろ過・蒸発散，酸素供給，微生物の生息環境の整備
- ▶ **水**：蒸発，化合物形成，分解，微生物・細菌の酸化還元，沈降
- ▶ **土壌**：微生物の酸化還元，イオン交換，吸着，微生物の生息環境の整備



人工湿地処理	メリット	特徴	微
	環境負荷小	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 電気等のエネルギー不要</li> <li>・ 大規模施設の必要がない</li> </ul>	
	低コスト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 薬剤を使用しない</li> <li>・ 維持管理費・人件費が少ない</li> </ul>	



## 3 人工湿地処理の稼働状況

### 国内では

- 酪農排水・工場排水については、北海道内を中心に現在6か所稼働中(農研機構HPより)。
- 酸性坑廃水は、地質研究所の調査・研究が中心。稼働実績なし。

### 地質研究所

- 休廃止鉱山鉱害防止対策(坑廃水処理対策)の処理費低減化を目的として、研究を開始。
- 2015年より**日本庫鉱山**で実用規模人工湿地による試験運用開始。

### 海外では

- 1970年代前半からヨーロッパ・北米を中心に研究開始。
- 数百～数千の人工湿地が排水処理施設として稼働。  
(ドイツ：50,000、アメリカ8,000など、周・細見(2008))



## 鉾山鉾害防止対策の概要

4

### 鉾山鉾害(坑廃水)

有用な鉾物を含む岩石(鉾石)を採掘するために掘削された坑道(採掘トンネル)や不純物を多く含み捨てられた岩石(捨石)堆積場などから流出したカドミウムや砒素などの有害物質を含んだ水(坑廃水)が、河川を汚染し、河川環境や河川水を利用している地域住民に被害・悪影響を与える。

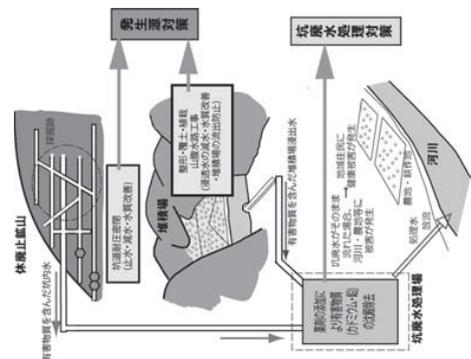
### 鉾害防止対策

- ・ 発生源対策：坑廃水の流出防止・水質改善など

・ 坑廃水処理対策：消石灰等の薬剤を使い、有害物質を除去



- ・ 現在、日本国内では坑廃水処理施設は79箇所(第5次基本計画より)
- ・ 坑廃水処理は半永久的に行う必要がある
- ・ コスト(薬剤費等)：年間約30億円)の低廉化が課題



## 北海道における鉾害防止対策の現状

5

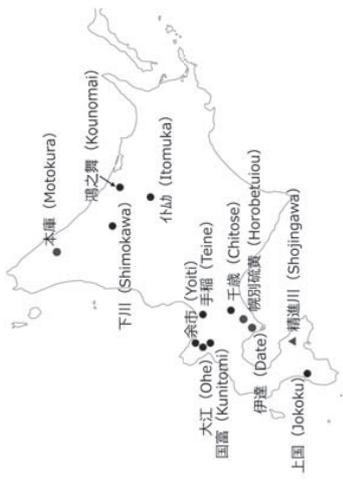
- 義務者不存在鉾山 (●、▲)
  - ✓ 鉾害防止義務者が不存在
  - ✓ 対策は地方公共団体(費用は国3/4、地方公共団体が1/4)
  - ✓ 水処理費は年間約3億円程度

鉾山名	所在地	主な鉾種
朝別鉾	朝別町	硫黄・硫化鉄
伊達	伊達市	金・銀・銅・硫化鉄
本庫	枝幸町	銅・鉛・亜鉛
精進川鉾山	七飯町	硫黄・硫化鉄
東美施	鹿部町	
未着手		

### 義務者存在鉾山 (●)

- ✓ 鉾害防止義務者が存在：自ら対策を実施

鉾山名	所在地	主な鉾種
湖之舞	紋別市	金・銀
余市	余市町	銅・鉛・亜鉛
国富	共和町	銅・鉛・亜鉛
手稲	札幌市	金・銀・銅
作山	札幌市	水銀
千歳	千歳市	金・銀
下川	下川町	銅
上国	上ノ国町	マンガン
大江	仁木町	マンガン



## 本庫鉾山の概要

6

### 鉾山位置

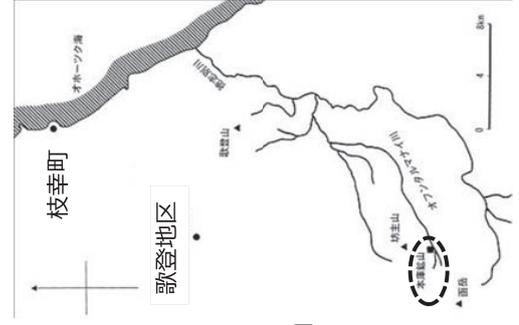
北海道枝幸郡枝幸町歌登地区(旧歌登町)に所在し、旧歌登町市街地から約30kmの距離にある。

### 鉾種

金・銀・銅・鉛・亜鉛

### 坑廃水処理

- ・ 消石灰(Ca(OH)<sub>2</sub>)による中和
- ・ 坑廃水の自然流下を利用
- ・ 消石灰の導入は水車による動力を使用



本庫(もとくら)鉾山

北海道枝幸町歌登 本庫(もとくら)鉾山



## 実用規模人工湿地の概要 表面流型

7

### 表面流型人工湿地(2013年造成) 仕様

幅：20m、長さ：約99m (約1:5)  
 深さ：0.7m(水深0.1m程度、湿地部)  
 面積：約1,927m<sup>2</sup>

沈殿池：200m<sup>2</sup>

湿地部：1,712.5m<sup>2</sup> 越流部：15.0m<sup>2</sup>

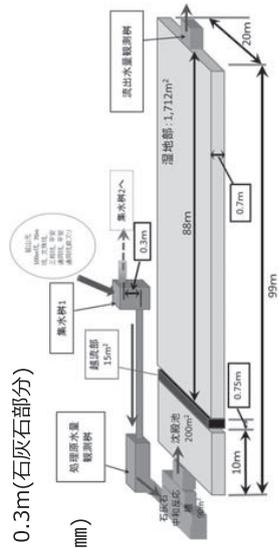
植生：ヨシ 地元の自生ヨシを50cm間隔で移植

### 石灰石中和反応槽 仕様

幅：6m、長さ：16m、深さ：0.3m(石灰石部分)

面積：約90m<sup>2</sup>

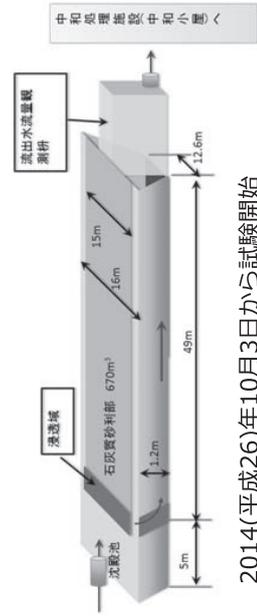
石灰石使用量：27m<sup>3</sup>(40~80mm)



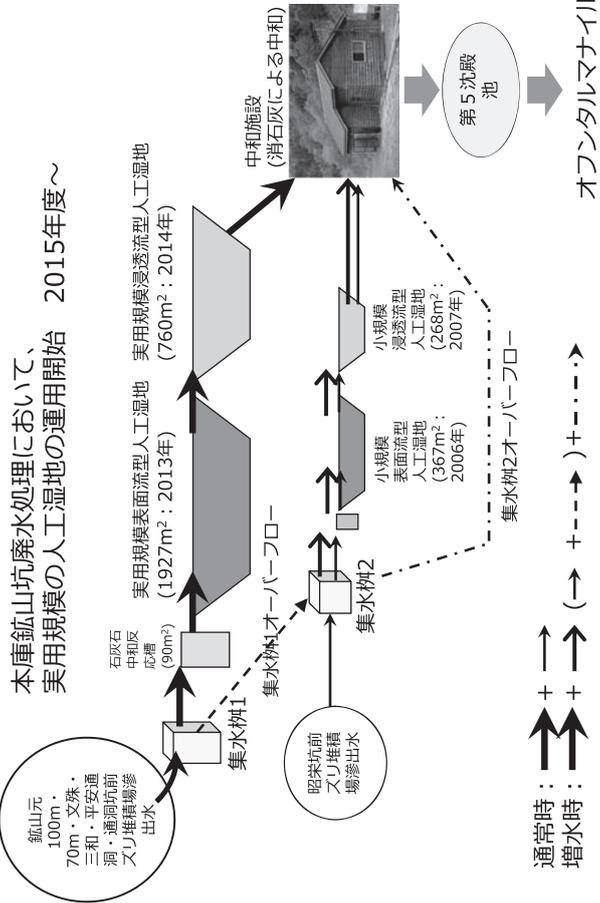
2013(平成25)年11月15日 9:00頃坑廃水導入開始(約200L/min)

浸透流型人工湿地(2014年造成) 仕様

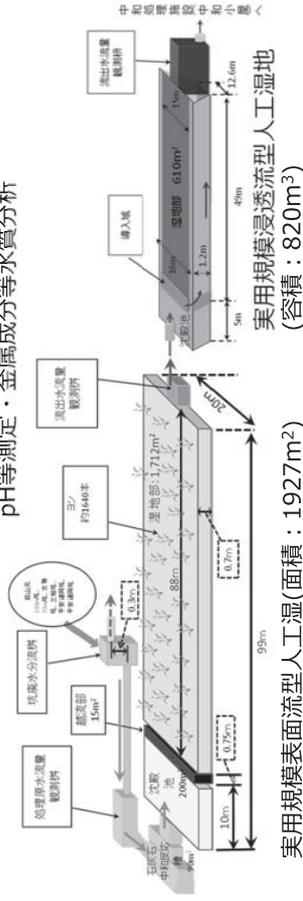
- 幅：約15m、長さ：約56m (約1:4)
- 深さ：1.2m
- 面積：約760m<sup>2</sup>
- 体積：約820m<sup>3</sup>
- 内部基材：石灰質砂利(φ40~150mm)
  - ・ 流出口で湿地内の水位調整を可能にする
  - ・ 浸透用の補助パイプを設置する
  - ・ 将来的なメンテナンスを考慮する



2014(平成26)年10月3日から試験開始



- 目的
  - 実用規模人工湿地の処理効果を検証
  - 坑廃水処理費用の削減に向けた検討
- 内容
  - 人工湿地における流入水・流出水の水量・水質調査：
    - pH等測定・金属成分等水質分析
  - 河川(オフンタルマイ川・徳志別川)水質調査：
    - pH等測定・金属成分等水質分析



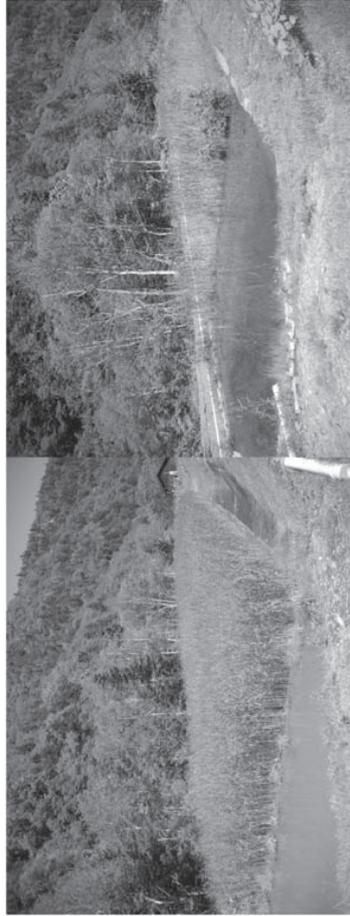
実用規模表面流型人工湿地

実用規模浸透流型人工湿地



12

### 小規模人工湿地(2015年8月)



小規模表面流型人工湿地

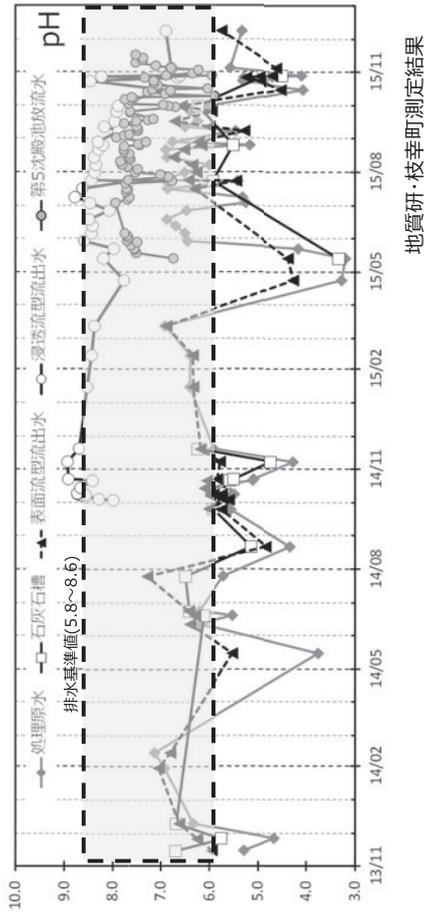
小規模浸透流型人工湿地



### 調査結果(実用規模人工湿地) 1

13

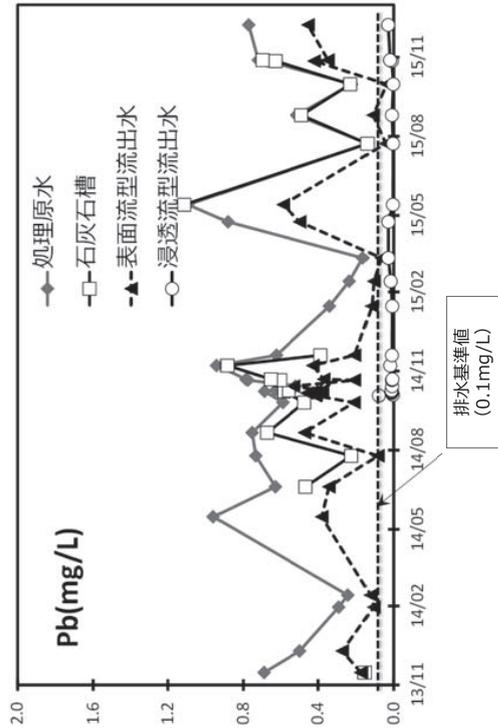
### 水質状況 pHの変化 (2013年11月～2015年12月まで)



14

### 調査結果(実用規模人工湿地) 2

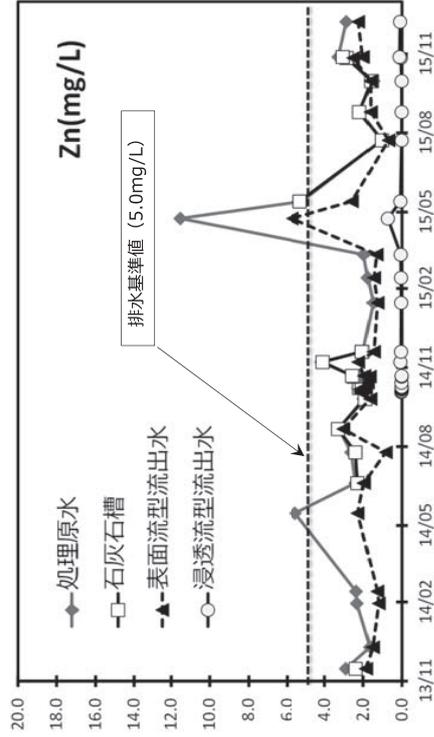
### 水質状況 鉛(Pb)の変化 (2013年11月～2015年12月まで)



### 調査結果(実用規模人工湿地) 3

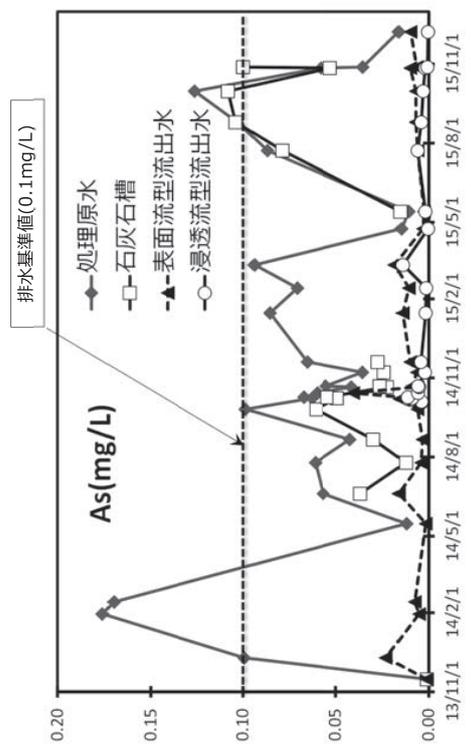
15

### 水質状況 亜鉛(Zn)の変化 (2013年11月～2015年12月まで)

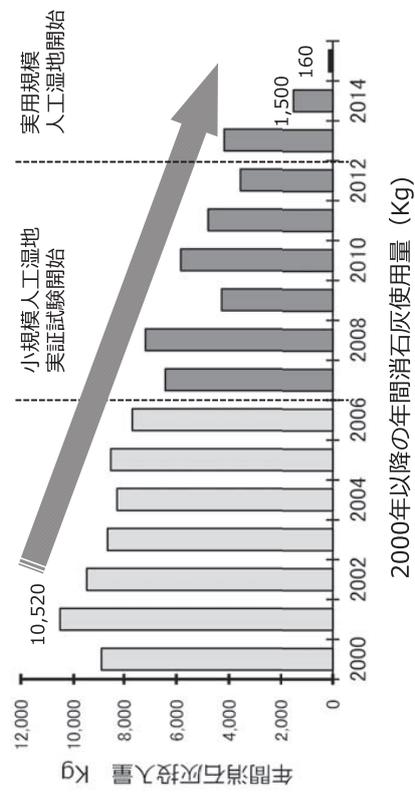




水質状況 砒素(As)の変化  
(2013年11月～2015年12月まで)



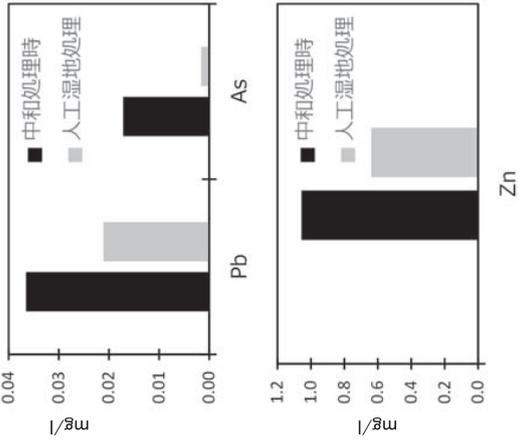
消石灰投入量の推移



2000年以降の年間消石灰使用量 (Kg)  
✓ 消石灰の年間使用量の大幅な削減は可能である



消石灰による中和処理実施時と実用規模導入後の水質比較



中和処理時(消石灰による中和)  
2002年5月～2006年11月までの  
の平均値

人工湿地処理(実用規模導入後)  
2015年5月～11月までの平均値



- 2つの人工湿地を組み合わせることで、分析を行ったすべての金属成分で排水基準値以下にまで濃度を低下させることができました。
- 薬剤による中和処理と同等以上の効果を得た。
- 薬剤使用量を大きく削減できた。

- ◆ 本結果から、今後本庫鉱山では、人工湿地処理へ移行する可能性が高い
- ◆ 本格運用に向け
  - ✓ 今後も一定期間、浄化効果の確認が必要。
  - ✓ 結果を踏まえて人工湿地処理への完全移行の可能性について検討を進める。

今後の展開

- ◆ 人工湿地処理の導入を促進させていくには、本庫鉱山での成果が非常に重要。
- ◆ 本庫鉱山においてスムーズに人工湿地処理に移行できるように、地元自治体など関係機関と協力しながら進めていくことが必要。
- ◆ 全国の坑産水処理施設への普及を目指し、本庫鉱山での成果を積極的にPR

---

第 54 回試錐研究会講演資料集

---

平成 28 年（2016 年）2 月 25 日 発行

編集 試錐研究会

出版 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 地質研究所

〒060-0819 北海道札幌市北区北 19 条西 12 丁目

電話 011-747-2420

FAX 011-737-9071

URL <http://www.hro.or.jp/gsh.html>

印刷 岩橋印刷株式会社

〒063-8580 北海道札幌市西区西町南 18 丁目 1-34

電話 011-669-2500

---