

# シュミットハンマーを用いた 岩盤風化層の物性評価方法



島根大学 総合理工学研究科 助教 小暮哲也

1

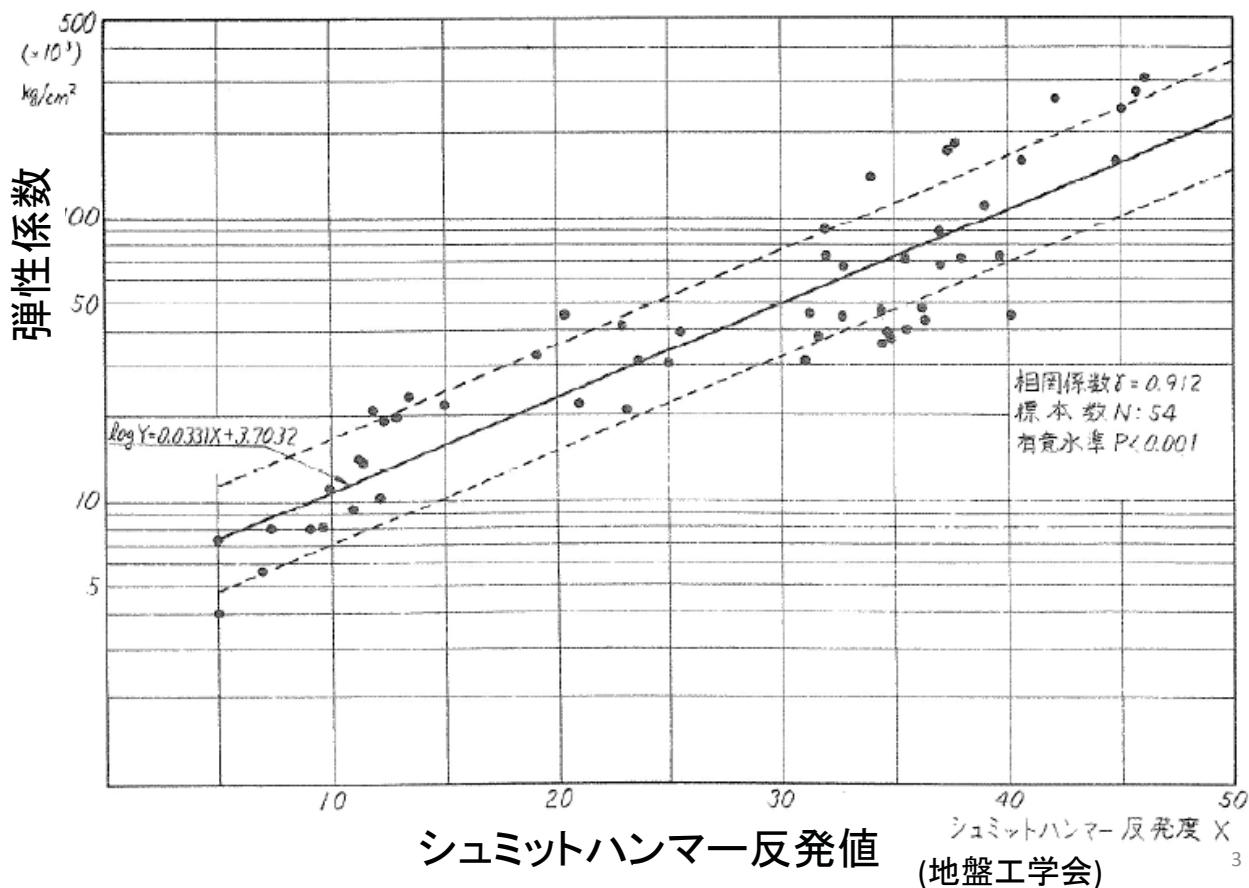
## シュミットハンマー打撃試験

- ・非破壊試験
- ・本体を対象物に押付けた時にハンマーが解放
- ・ハンマーが本体を打撃し、はね返る
- ・反発値から一軸圧縮強度を推定



2

## ハンマー反発値と弾性係数は線形関係



## 打撃方法

- 単打法

- 同一ポイントを1回のみ打撃  
表面の反発値を測定

- 連打法

- 同一ポイントで複数回打撃  
**風化層内部の岩盤強度推定に有効**  
(たとえば, Aydin, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 2009)

## 連打法



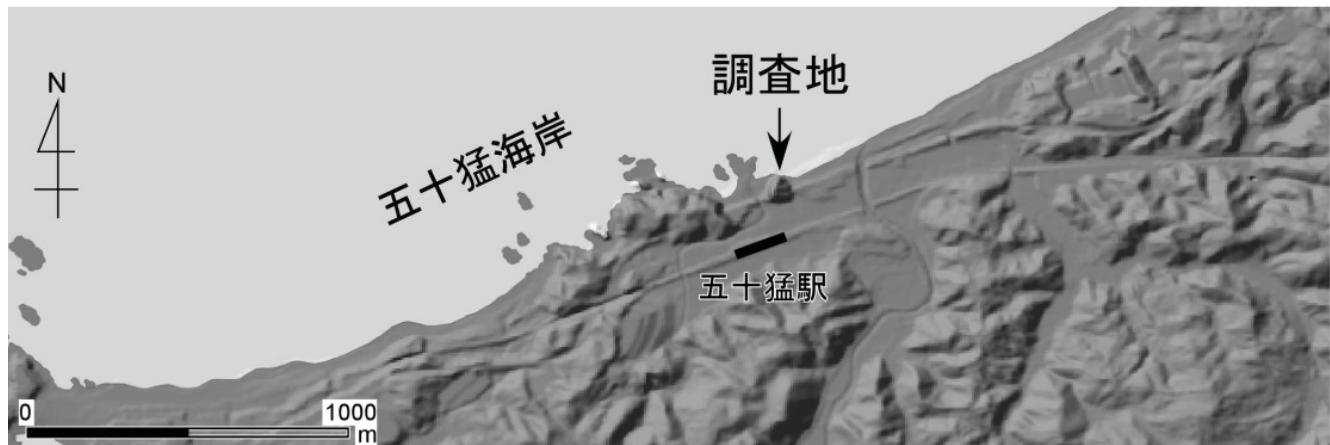
## 本講演の内容

大田市五十猛の海食崖における調査を例として、

- 連打法によるデータ取得
- データのグラフ化
- 解釈

について説明

# 場所: 大田市五十猛海岸



7



8



# 崖の縦断面型



11

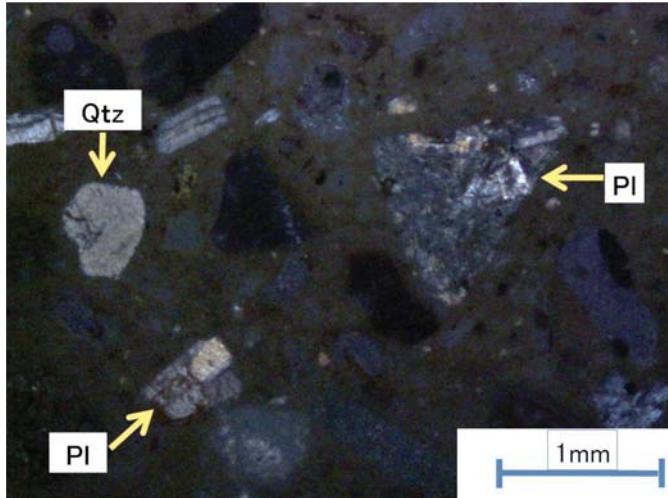


地質：久利層 凝灰角礫岩

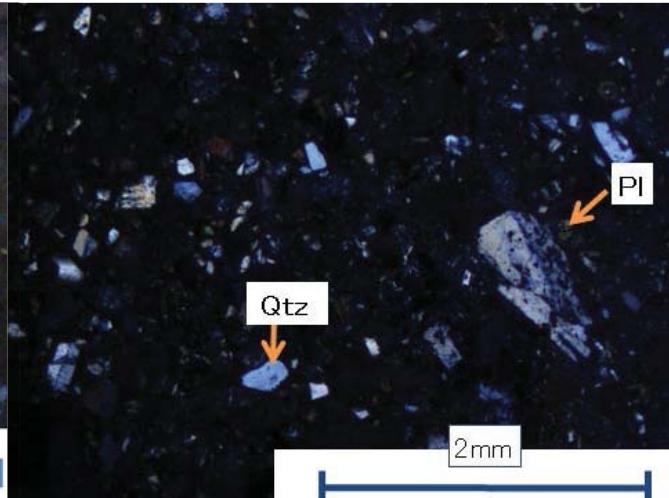
12

# 顕微鏡写真 (クロスニコル)

タフォニ表面



タフォニなし

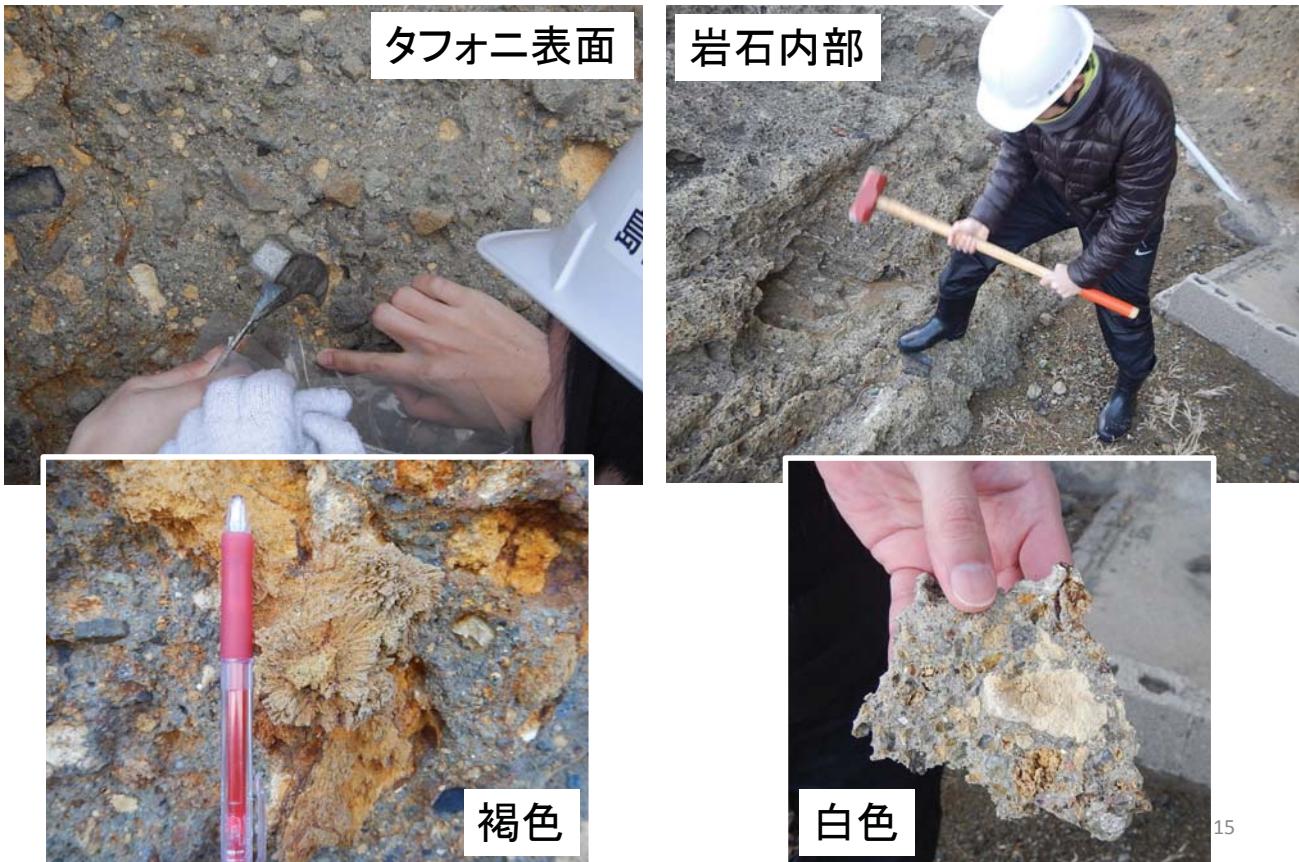


岩石が同種であることを確認

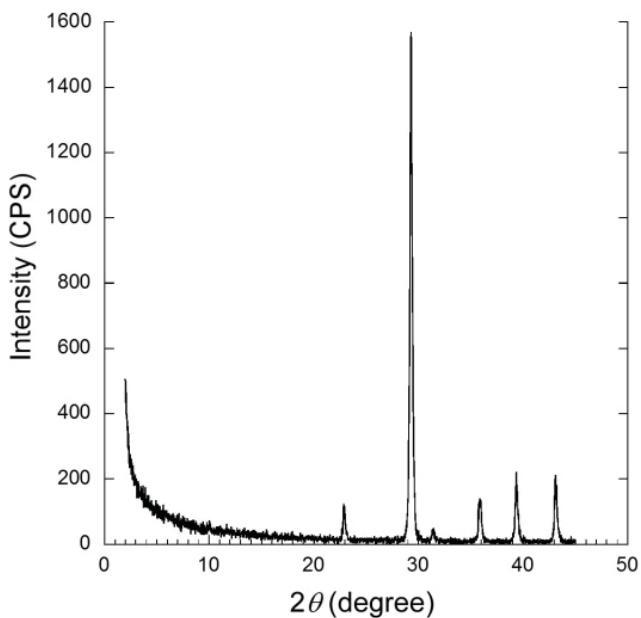
13



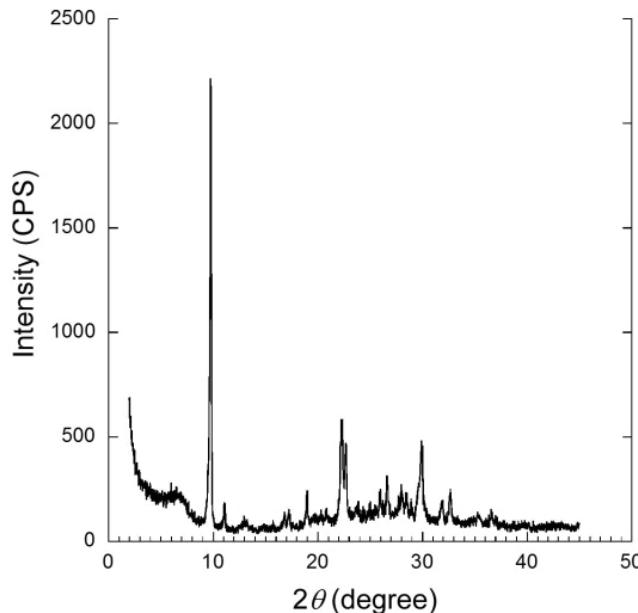
# 塩の結晶の同定: 2種類



XRD分析結果:  
タフオニ表面の塩: **方解石** (Calcite,  $\text{CaCO}_3$ )



# XRD分析結果： 岩石内部の塩：輝沸石 (Heulandite)



- ゼオライト鉱物の一種
- タフォニの有無に関わらず、岩石内部に存在  
→ 熱水変質作用の結果 (方解石より古い)

17

## 調査地域の特徴

- 海食崖の岩石は久利層の凝灰角礫岩
- タフォニ表面には褐色の方解石が析出
- タフォニが発達しない白・灰色の崖で落石発生



力学的性質を評価する必要  
(シュミットハンマー打撃試験)

18

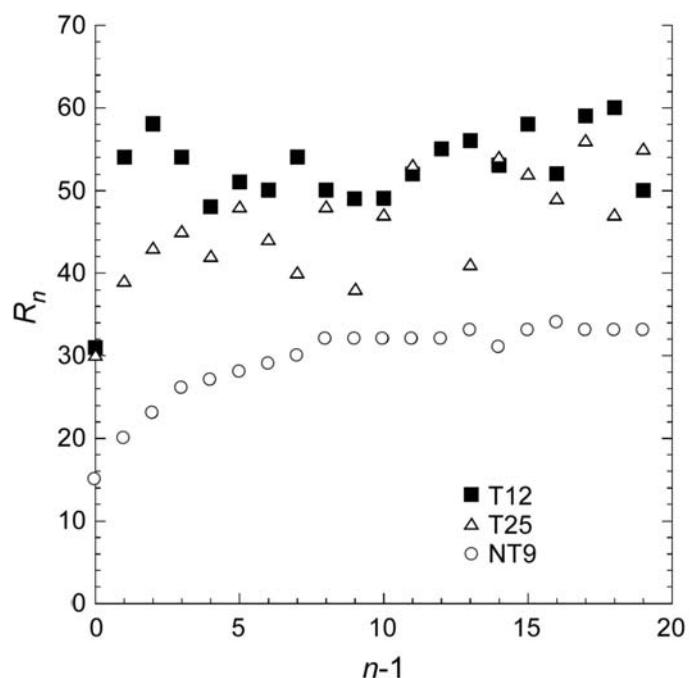
# 手法:連打法



## 基礎解析①: 反発値-打撃回数グラフの作成

全48地点中、代表的な3地点でのデータを例示

\* 横軸を打撃回数 $n$ ではなく、 $n-1$ とする(解析しやすくするため)

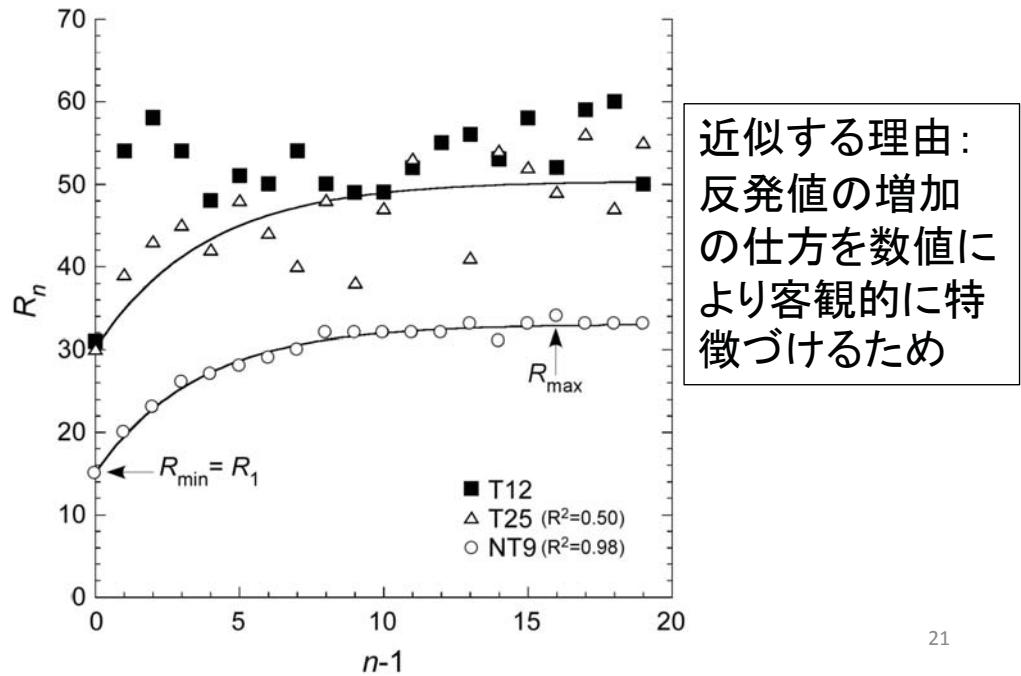


## 基礎解析②: 指数関数により近似

$$R_n = a(1 - \exp(-b(n-1))) + R_1$$

(反発値の変化を特徴付けるため切片を設定)

a:  $R_{\max}$  に関係  
b: 曲率



21

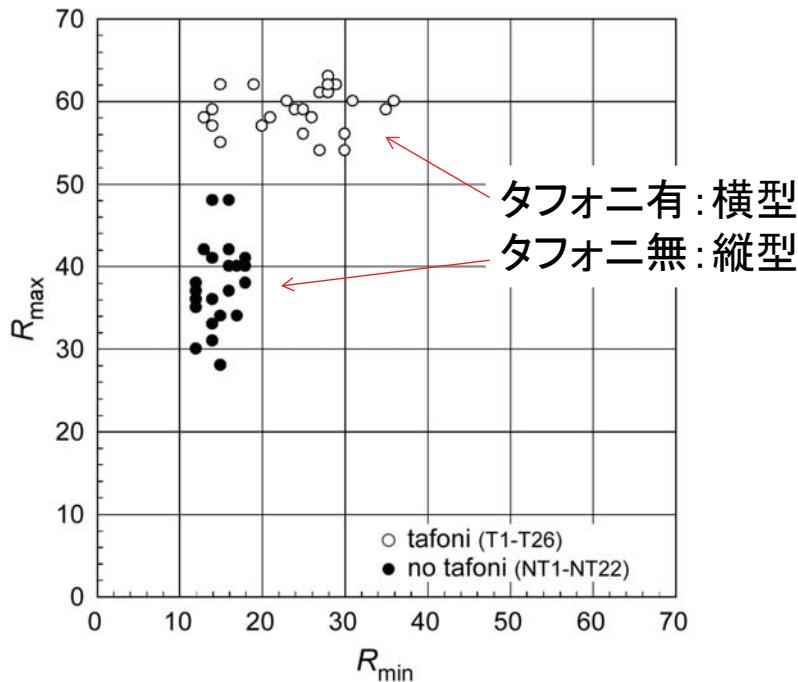
No.	$R_{\max}$	$R_{\min}$	$R_{\max}/R_{\min}$	$a$	$b$	$R^2$	No.	$R_{\max}$	$R_{\min}$	$R_{\max}/R_{\min}$	$a$	$b$	$R^2$
T1	60	36	1.67	19.3	0.54	0.61	NT1	36	12	3.00	22.2	0.42	0.88
T2	62	19	3.26	38.3	0.29	0.83	NT2	41	14	2.93	23.9	0.47	0.91
T3	58	13	4.46	39.4	0.68	0.75	NT3	42	16	2.63	24.9	0.19	0.94
T4	61	27	2.26	28.9	0.56	0.80	NT4	40	16	2.50	22.4	0.32	0.96
T5	54	30	1.80	20.7	0.46	0.82	NT5	48	16	3.00	28.6	0.62	0.92
T6	60	23	2.61	33.9	0.37	0.89	NT6	38	12	3.17	21.8	0.57	0.89
T7	56	25	2.24	27.6	0.31	0.81	NT7	48	14	3.43	30.9	0.45	0.94
T8	59	24	2.46	29.5	0.69	0.80	NT8	40	17	2.35	21.4	0.72	0.96
T9	59	35	1.69	20.7	0.63	0.85	NT9	34	15	2.27	18.0	0.28	0.98
T10	54	27	2.00	21.7	0.64	0.78	NT10	35	12	2.92	23.0	0.21	0.96
T11	59	25	2.36	30.6	0.44	0.90	NT11	41	18	2.28	21.2	0.27	0.84
T12	60	31	1.94	-	-	-	NT12	37	12	3.08	22.4	0.35	0.93
T13	62	15	4.13	42.0	0.45	0.88	NT13	38	18	2.11	18.9	0.71	0.97
T14	55	15	3.67	35.3	0.36	0.78	NT14	42	13	3.23	27.2	0.75	0.96
T15	62	29	2.14	27.6	0.84	0.78	NT15	40	18	2.22	20.2	0.31	0.91
T16	59	14	4.21	39.9	0.58	0.89	NT16	34	17	2.00	15.2	0.31	0.90
T17	62	28	2.21	32.2	0.18	0.71	NT17	36	14	2.57	19.6	0.58	0.85
T18	63	28	2.25	30.4	0.43	0.87	NT18	30	12	2.50	15.1	0.42	0.72
T19	61	28	2.18	27.8	0.80	0.70	NT19	28	15	1.87	12.4	0.26	0.86
T20	58	26	2.23	32.9	0.15	0.85	NT20	33	14	2.36	17.8	0.31	0.95
T21	62	28	2.21	30.5	0.45	0.84	NT21	31	14	2.21	15.0	0.51	0.83
T22	60	23	2.61	33.5	0.88	0.85	NT22	37	16	2.31	19.5	0.77	0.91
T23	58	21	2.76	34.2	0.49	0.90	T1-T26 M.V.*	59.0	24.4	2.60	30.7	0.51	0.81
T24	57	14	4.07	37.6	0.52	0.86	T1-T26 S.D.**	2.6	6.4	0.83	6.5	0.20	0.096
T25	56	30	1.87	20.4	0.26	0.50	NT1-NT22 M.V.*	37.7	14.8	2.59	21.0	0.45	0.91
T26	57	20	2.85	33.8	0.73	0.92	NT1-NT22 S.D.**	5.1	2.1	0.44	4.6	0.18	0.061

\*M.V. は平均値を表す。

\*\*S.D. は標準偏差を表す。

シュミットハンマー反発値: タフォニ > タフォニ無<sup>22</sup>

# 分析①: $R_{\max}$ と $R_{\min}$ の特徴



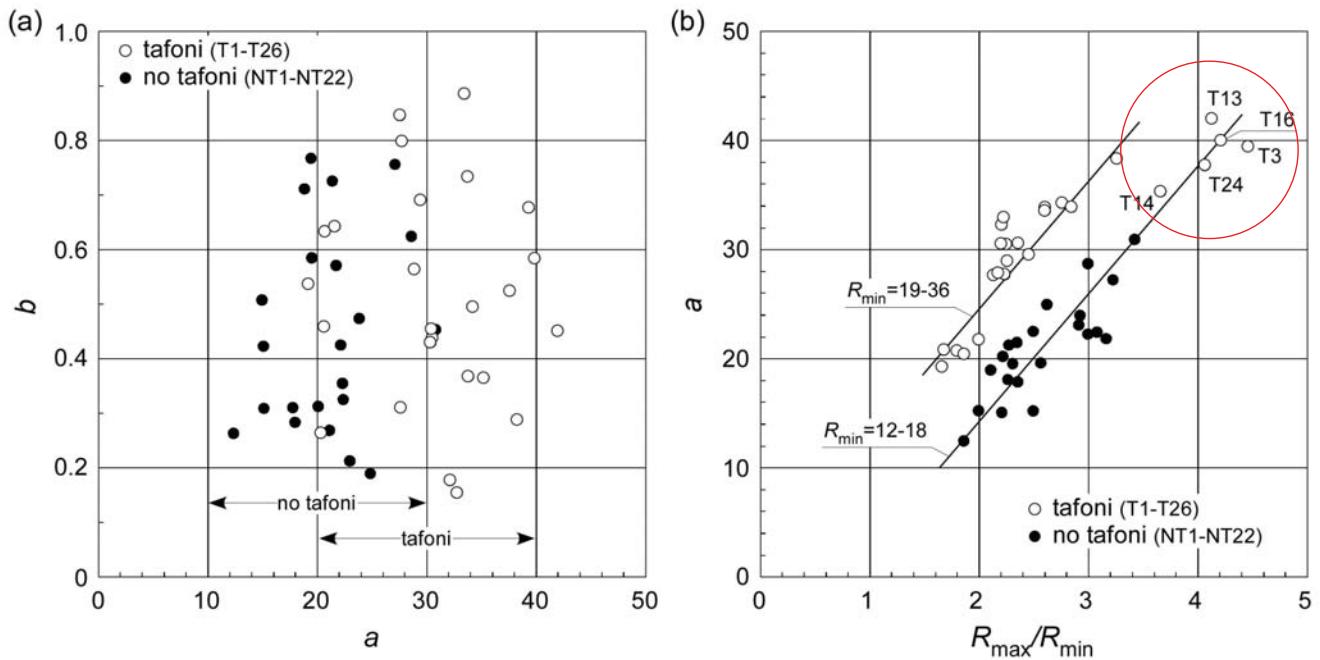
表面の風化層と内部の岩盤の状態を反映

23

タフオニ	シュミットハンマー反発値		状態	
	崖内部 ( $R_{\max}$ )	表面 ( $R_{\min}$ )	崖内部	表面
あり	54–63	13–36	未風化/弱風化, 均質	不均質
なし	28–48	12–18	風化, 不均質	風化, 均質

24

## 分析②: 強度特性の判別



$$R_n = a(1 - \exp(-b(n-1))) + R_1$$

$a$ :  $R_{\max}$  に関する関係,  $b$ : 曲率

25

No.	$R_{\max}$	$R_{\min}$	$R_{\max}/R_{\min}$	$a$	$b$	$R^2$	No.	$R_{\max}$	$R_{\min}$	$R_{\max}/R_{\min}$	$a$	$b$	$R^2$
T1	60	36	1.67	19.3	0.54	0.61	NT1	36	12	3.00	22.2	0.42	0.88
T2	62	19	3.26	38.3	0.29	0.83	NT2	41	14	2.93	23.9	0.47	0.91
T3	58	13	4.46	39.4	0.68	0.75	NT3	42	16	2.63	24.9	0.19	0.94
T4	61	27	2.26	28.9	0.56	0.80	NT4	40	16	2.50	22.4	0.32	0.96
T5	54	30	1.80	20.7	0.46	0.82	NT5	48	16	3.00	28.6	0.62	0.92
T6	60	23	2.61	33.9	0.37	0.89	NT6	38	12	3.17	21.8	0.57	0.89
T7	56	25	2.24	27.6	0.31	0.81	NT7	48	14	3.43	30.9	0.45	0.94
T8	59	24	2.46	29.5	0.69	0.80	NT8	40	17	2.35	21.4	0.72	0.96
T9	59	35	1.69	20.7	0.63	0.85	NT9	34	15	2.27	18.0	0.28	0.98
T10	54	27	2.00	21.7	0.64	0.78	NT10	35	12	2.92	23.0	0.21	0.96
T11	59	25	2.36	30.6	0.44	0.90	NT11	41	18	2.28	21.2	0.27	0.84
T12	60	31	1.94	-	-	-	NT12	37	12	3.08	22.4	0.35	0.93
T13	62	15	4.13	42.0	0.45	0.88	NT13	38	18	2.11	18.9	0.71	0.97
T14	55	15	3.67	35.3	0.36	0.78	NT14	42	13	3.23	27.2	0.75	0.96
T15	62	29	2.14	27.6	0.84	0.78	NT15	40	18	2.22	20.2	0.31	0.91
T16	59	14	4.21	39.9	0.58	0.89	NT16	34	17	2.00	15.2	0.31	0.90
T17	62	28	2.21	32.2	0.18	0.71	NT17	36	14	2.57	19.6	0.58	0.85
T18	63	28	2.25	30.4	0.43	0.87	NT18	30	12	2.50	15.1	0.42	0.72
T19	61	28	2.18	27.8	0.80	0.70	NT19	28	15	1.87	12.4	0.26	0.86
T20	58	26	2.23	32.9	0.15	0.85	NT20	33	14	2.36	17.8	0.31	0.95
T21	62	28	2.21	30.5	0.45	0.84	NT21	31	14	2.21	15.0	0.51	0.83
T22	60	23	2.61	33.5	0.88	0.85	NT22	37	16	2.31	19.5	0.77	0.91
T23	58	21	2.76	34.2	0.49	0.90	T1-T26 M.V.*	59.0	24.4	2.60	30.7	0.51	0.81
T24	57	14	4.07	37.6	0.52	0.86	T1-T26 S.D.**	2.6	6.4	0.83	6.5	0.20	0.096
T25	56	30	1.87	20.4	0.26	0.50	NT1-NT22 M.V.*	37.7	14.8	2.59	21.0	0.45	0.91
T26	57	20	2.85	33.8	0.73	0.92	NT1-NT22 S.D.**	5.1	2.1	0.44	4.6	0.18	0.061

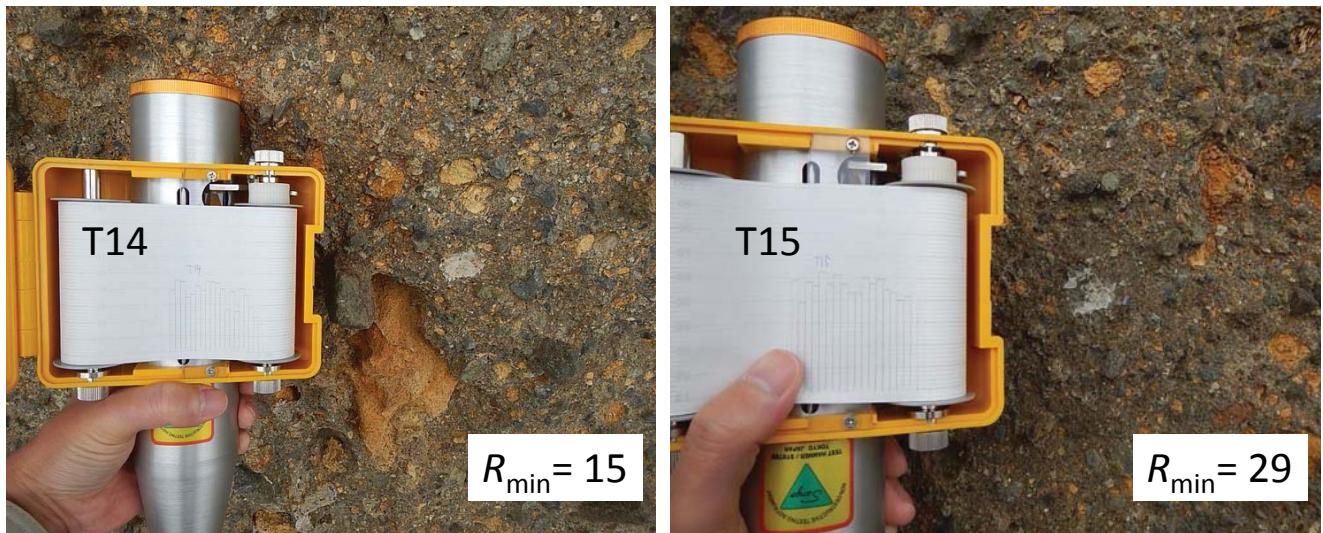
\*M.V. は平均値を表す。

\*\*S.D. は標準偏差を表す。

T3, T13, T14, T16, T24

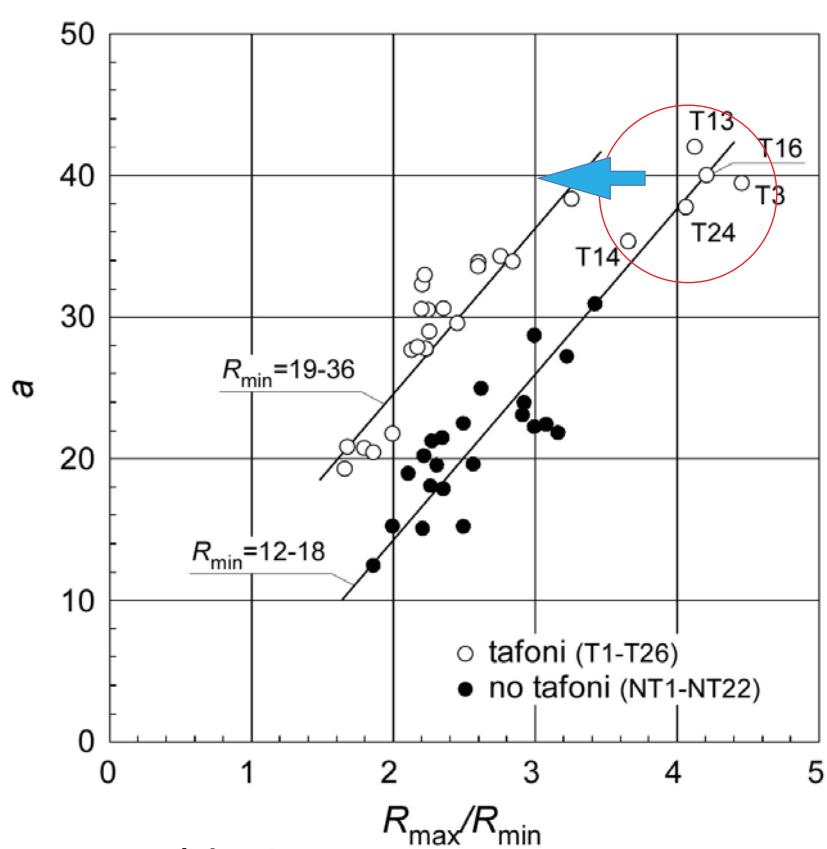
$R_{\min}$  が小さい

26



打撃面の状態が最小値に影響した可能性

27



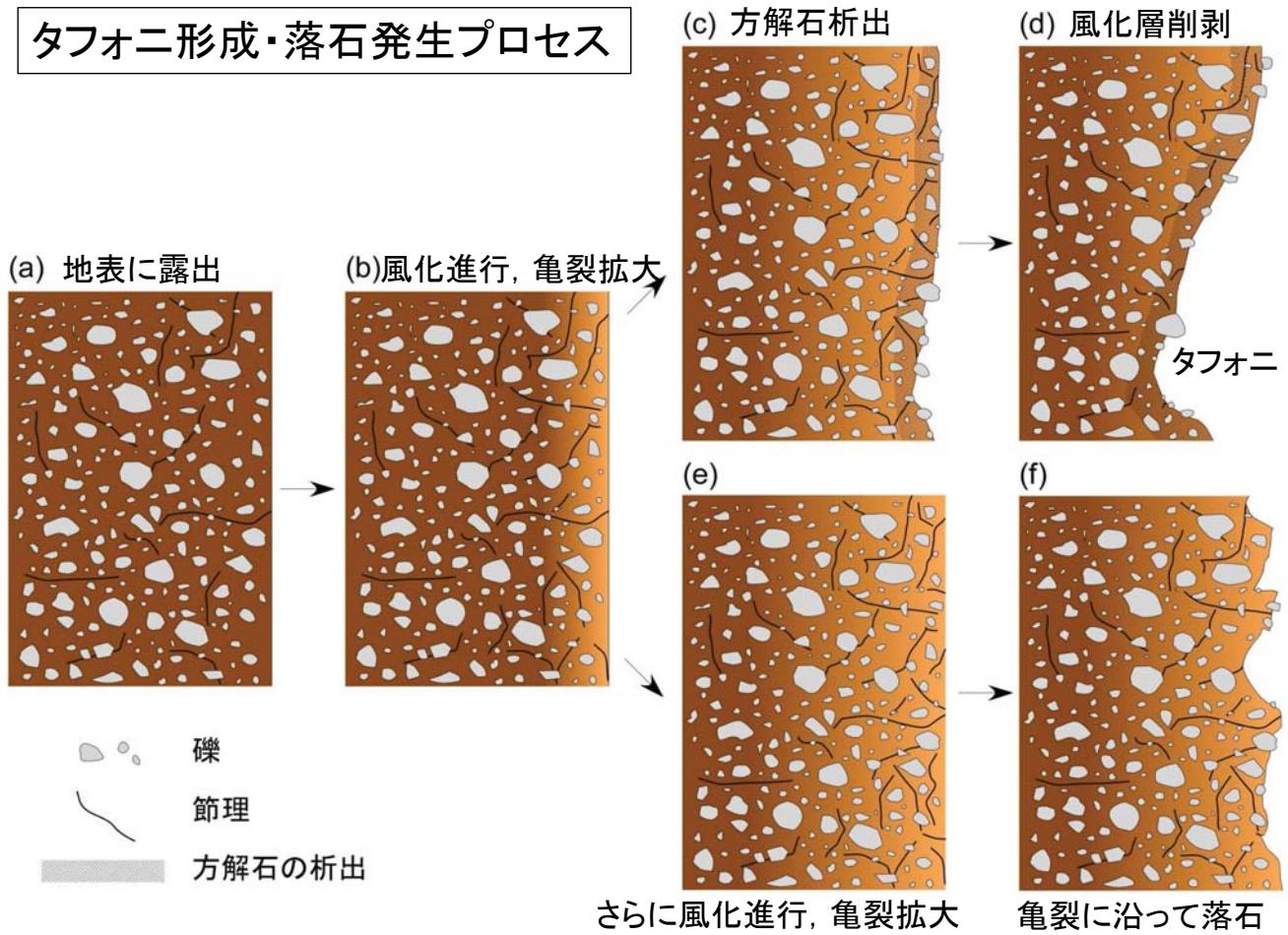
シュミットハンマー連打法:  
タフォニ発達/未発達部における崖表面の強度特性を判別可能<sup>8</sup>

# 大田市五十猛の崖の特徴

崖表面の状態	現象の種類	規模	発生頻度	岩盤強度	結晶の種類
タフオニ無	落石	大	低	小	輝沸石
タフオニ有	塩類風化	極小	頻繁	大	輝沸石 方解石

29

タフオニ形成・落石発生プロセス



# シュミットハンマー連打法による岩盤 風化層物性評価方法のまとめ

方法: 20回の連打 (回数について検討の余地有)

基礎解析:

- ① 打撃回数と反発値のグラフ
- ② 指数関数で近似し、二つのパラメータ ( $a$ と $b$ )を取得

分析:

- ①  $R_{\max}$ と $R_{\min}$ の比較 → 風化層の特徴を把握
- ②  $R_{\max}$ ,  $R_{\min}$ ,  $a$ ,  $b$ などを組み合わせて比較

31

## 参考文献

- 松倉公憲, 青木 久 (2004): シュミットハンマー: 地形学における使用例と使用法にまつわる諸問題. 地形25(2), 175-196.
- Aydin A. 2009. ISRM Suggested method for determination of the Schmidt hammer rebound hardness: Revised version. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 46: 627–634. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2008.01.020.

32