

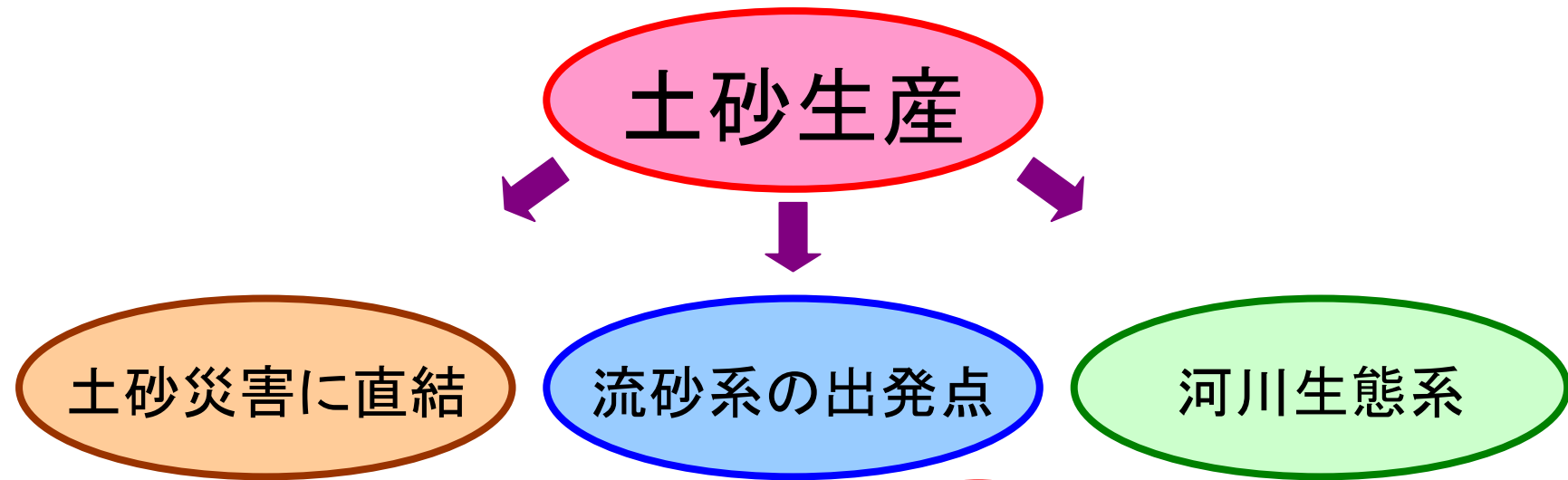
凍結融解による土砂生産

京都大学 防災研究所

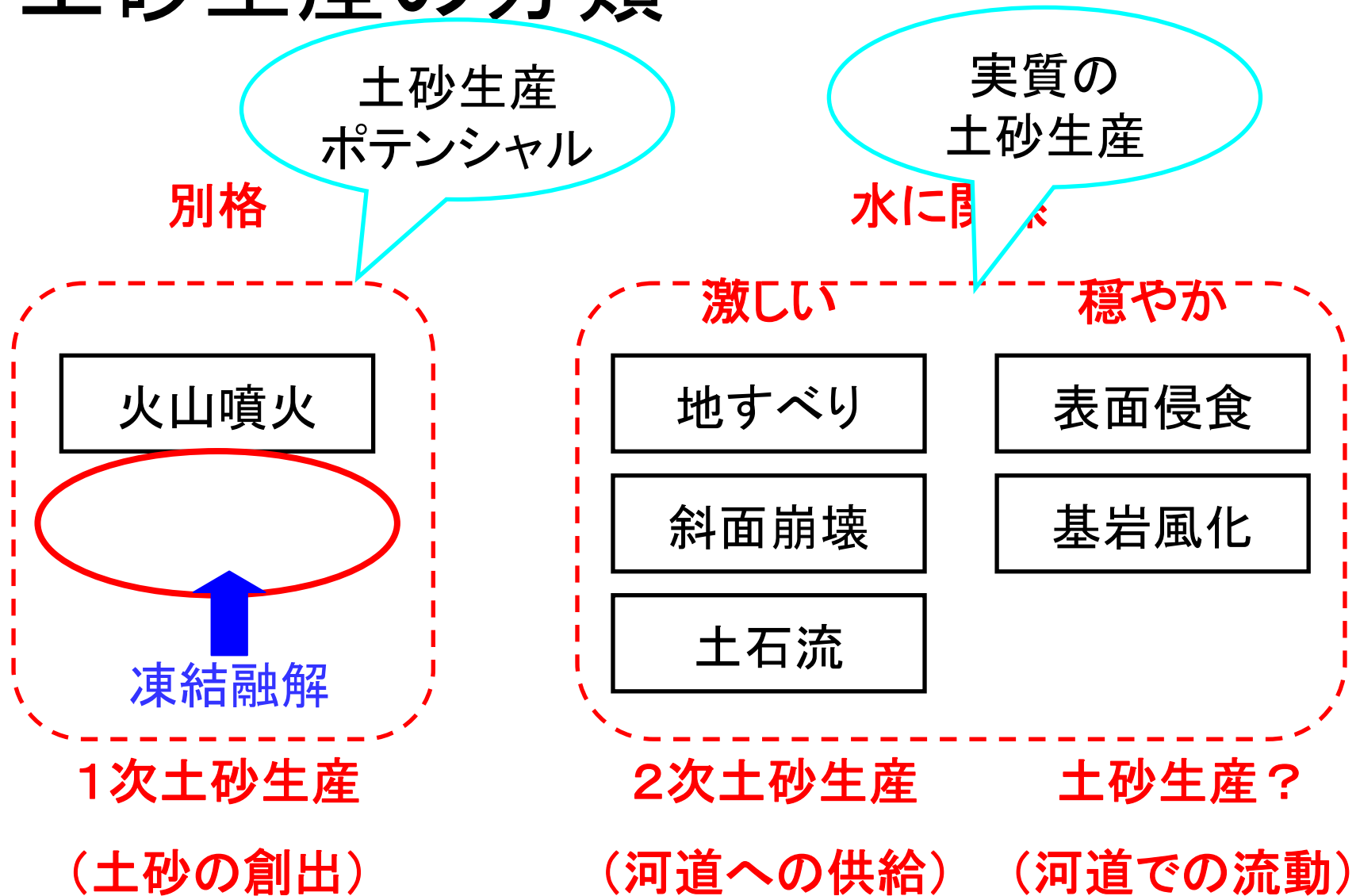
穂高砂防観測所

堤 大三

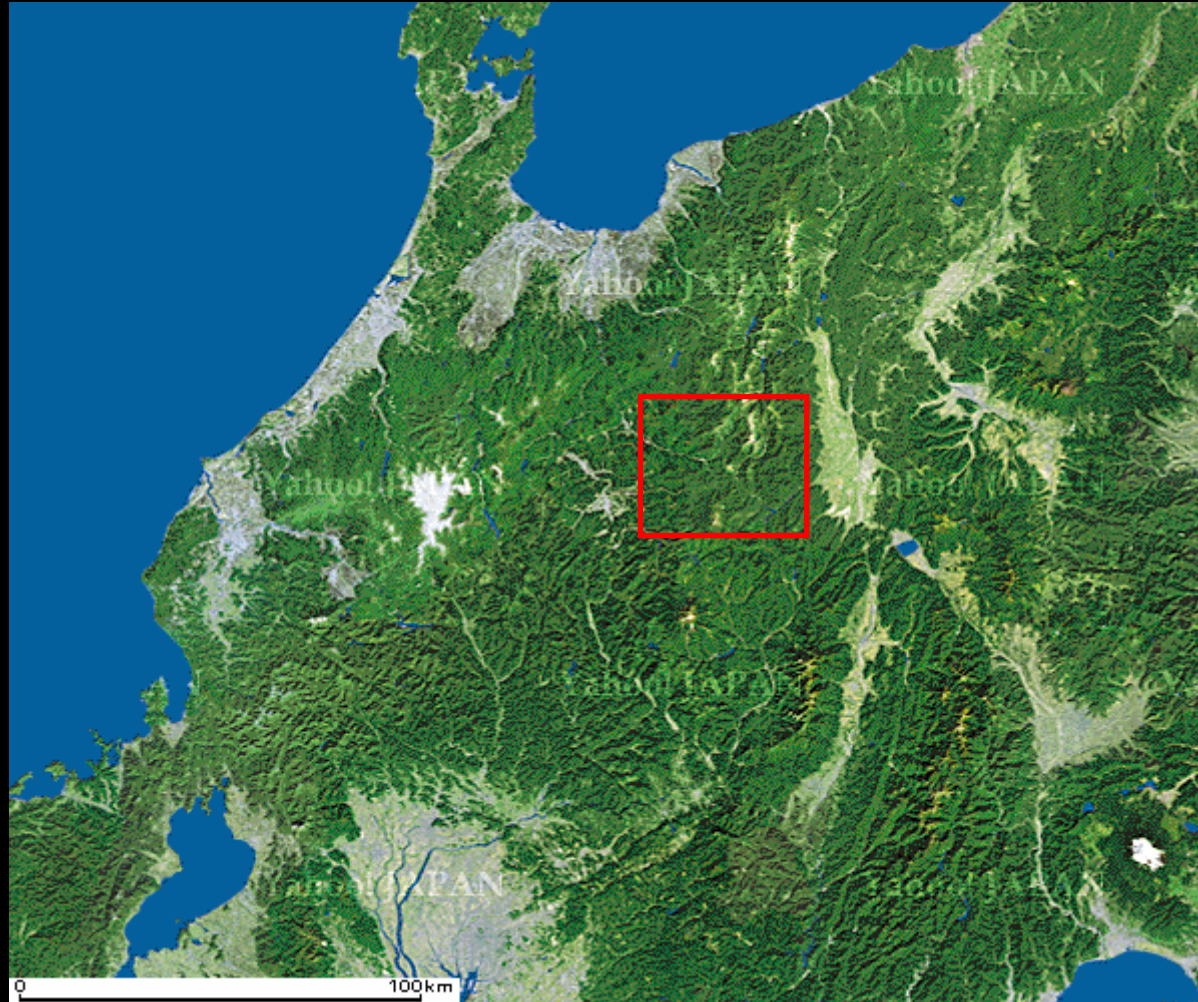
はじめに

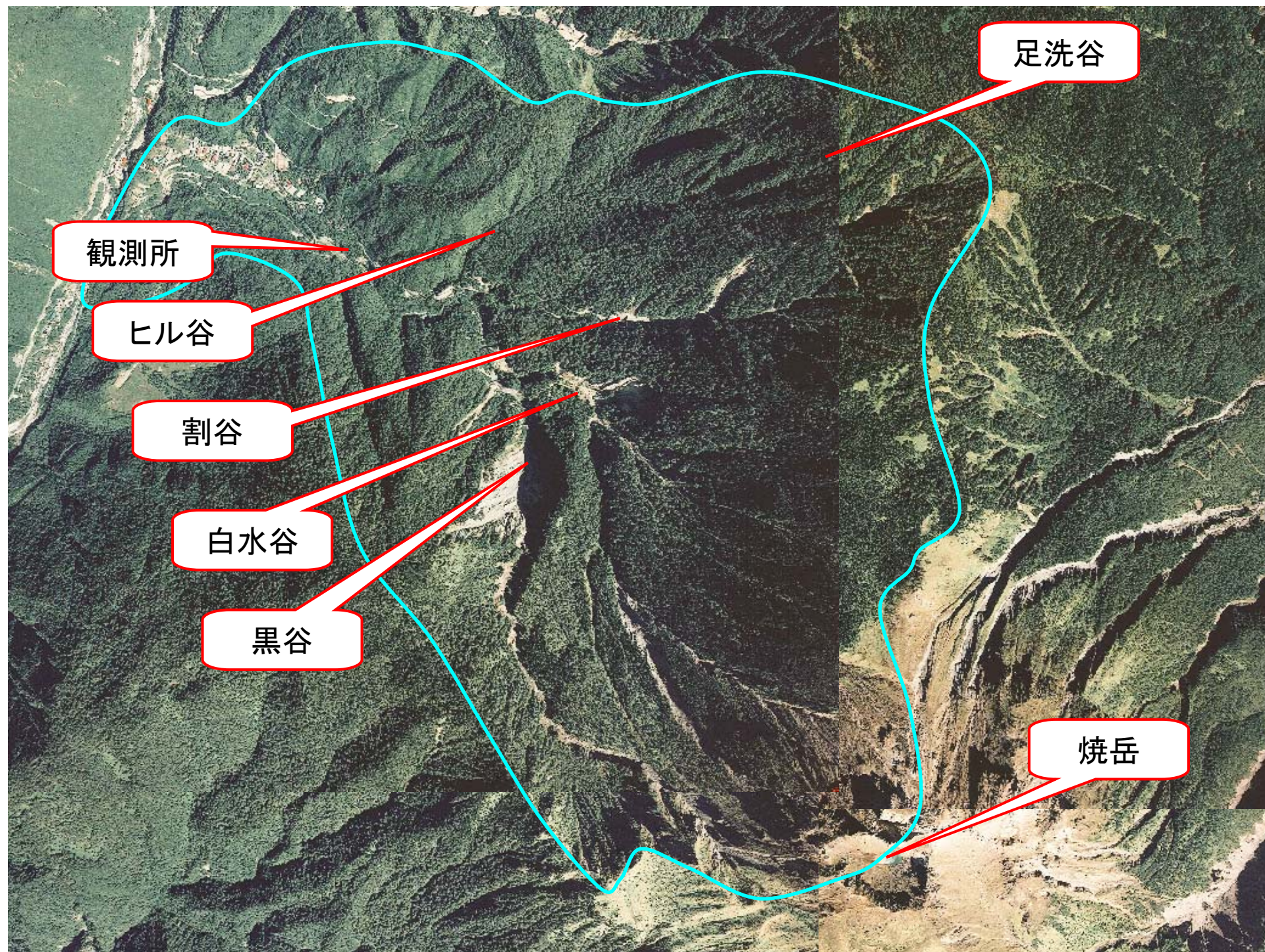


土砂生産の分類



位置





観測所

ヒル谷

割谷

白水谷

黒谷

足洗谷

焼岳

ヒル谷源頭部裸地斜面



ヒル谷堰堤の堆砂状況

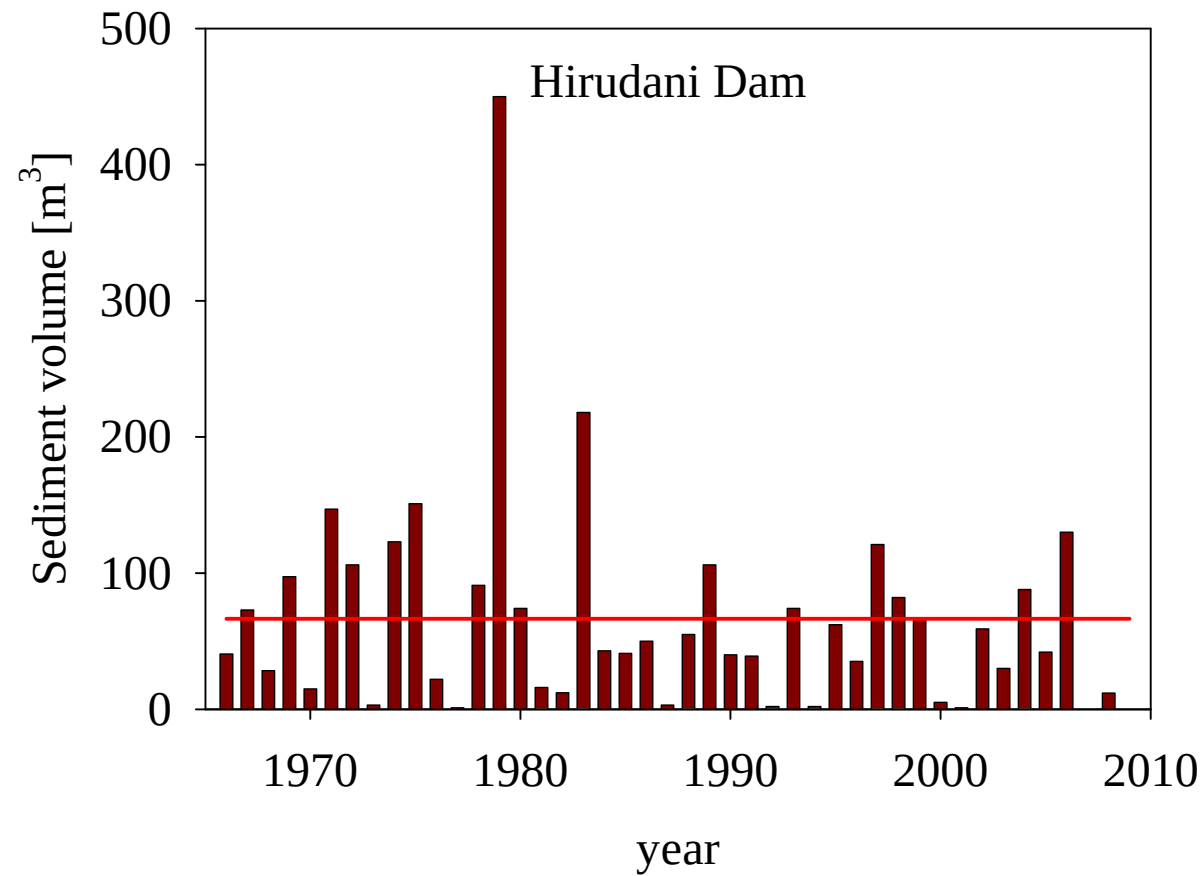


200809

ヒル谷堰堤堆砂状況の変化



ヒル谷堰堤の堆積土砂量





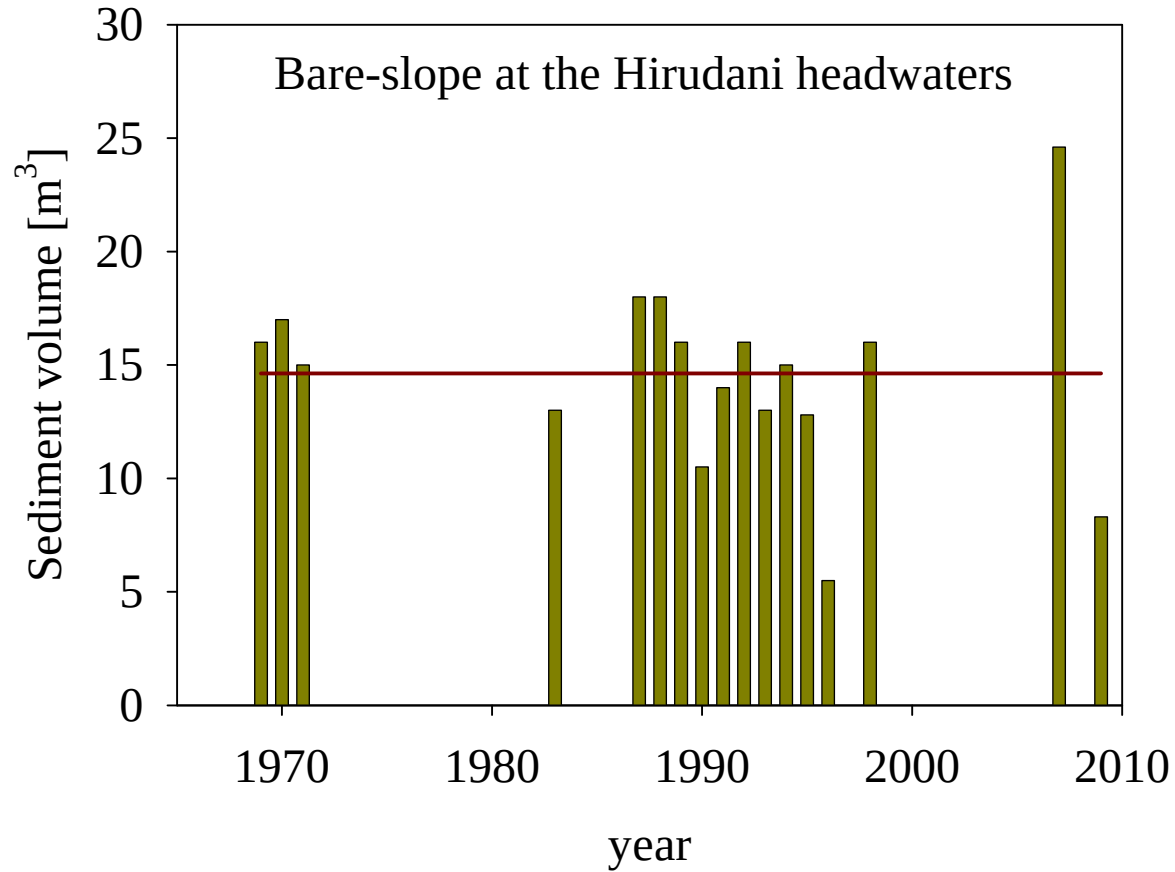
凍結融解により生産された土砂の流動



春先の裸地斜面（穂高砂防観測所、ヒル谷源頭部）

における観測

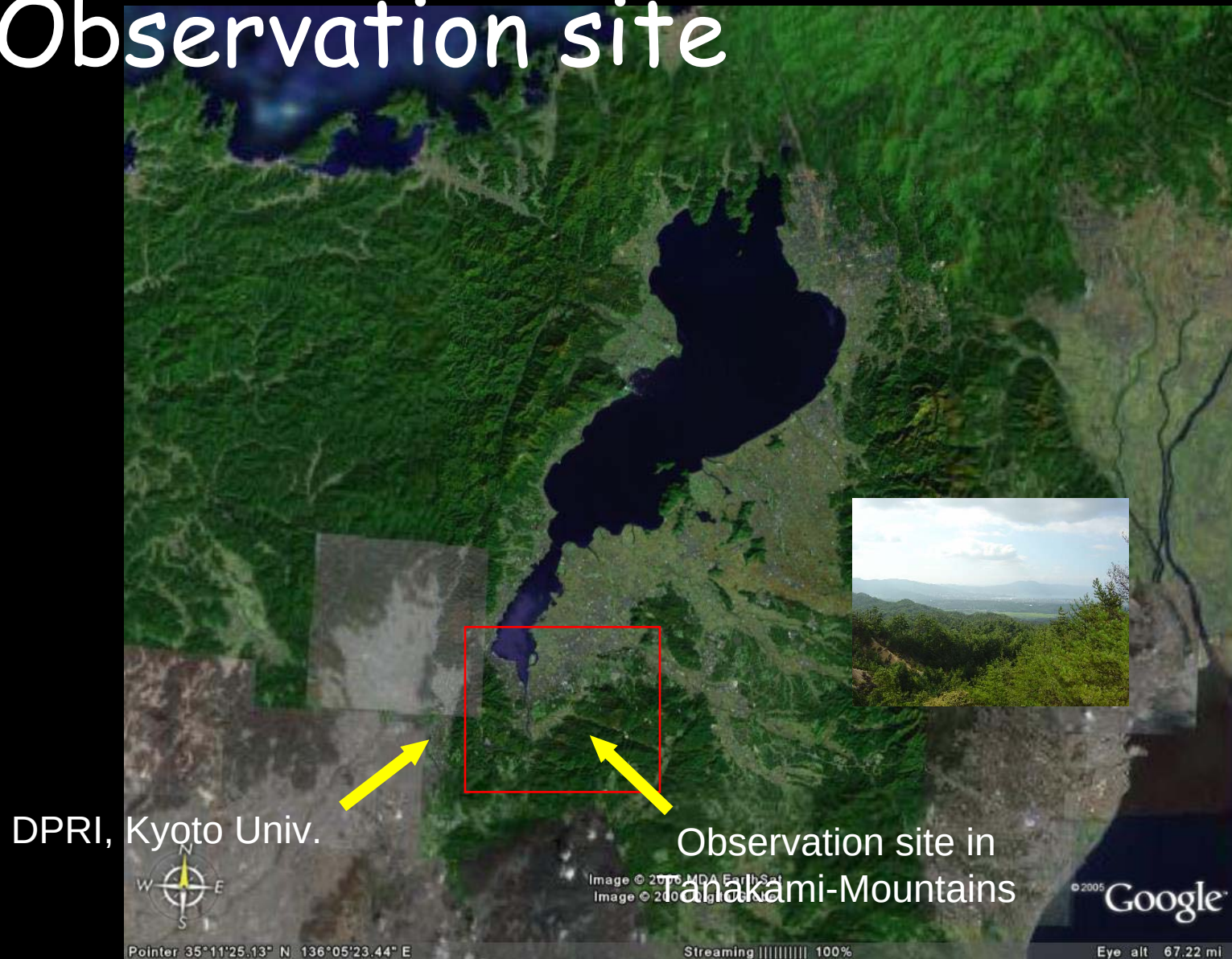
ヒル谷源頭部における土砂生産



凍結融解作用による土砂生産



Observation site



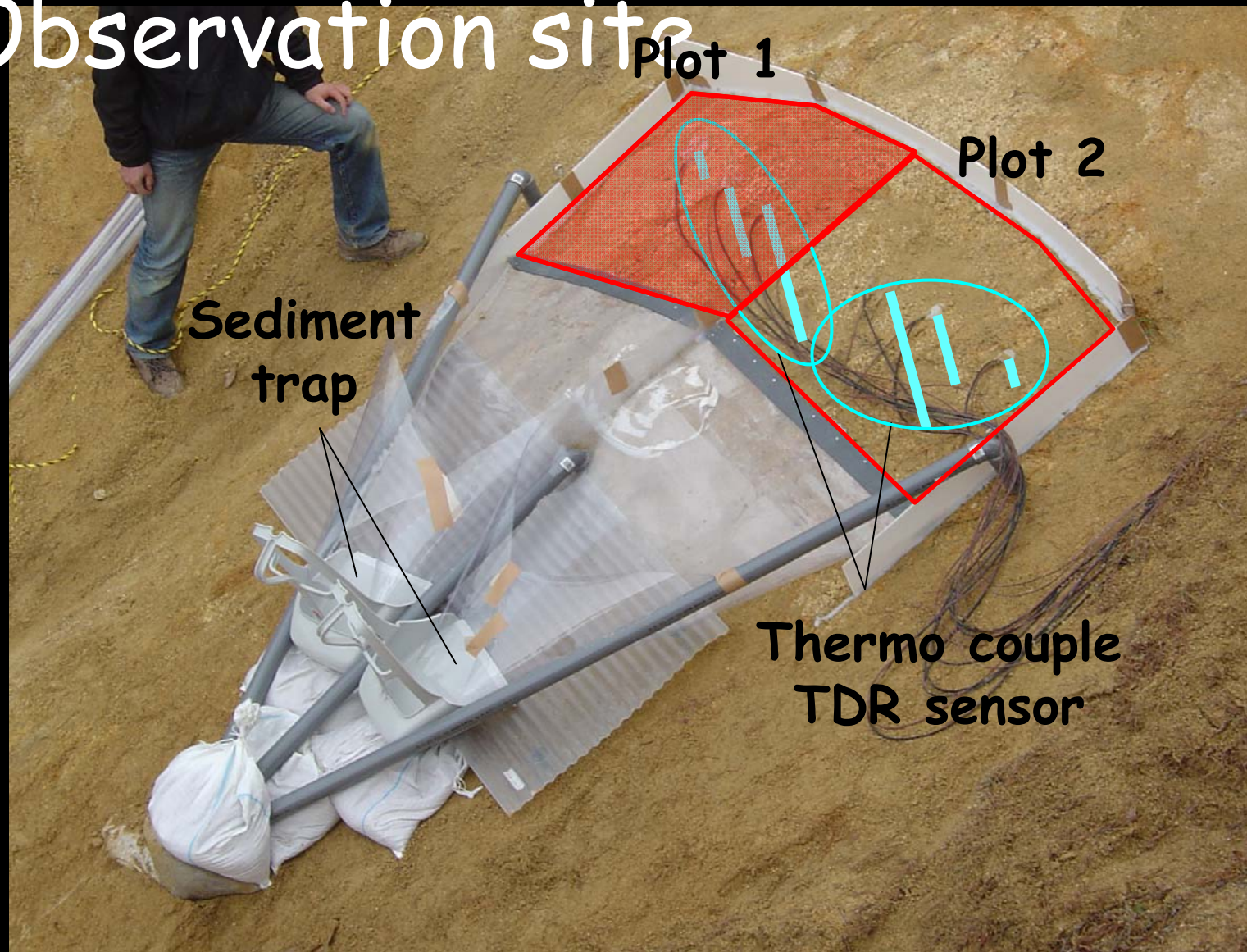
凍結融解による土砂生産



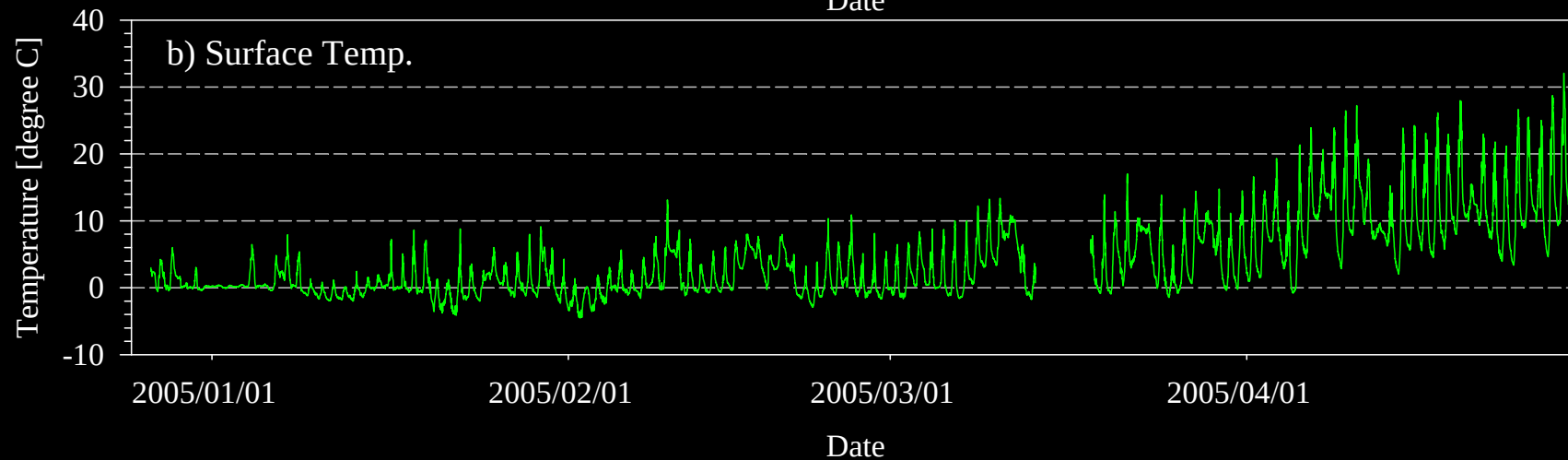
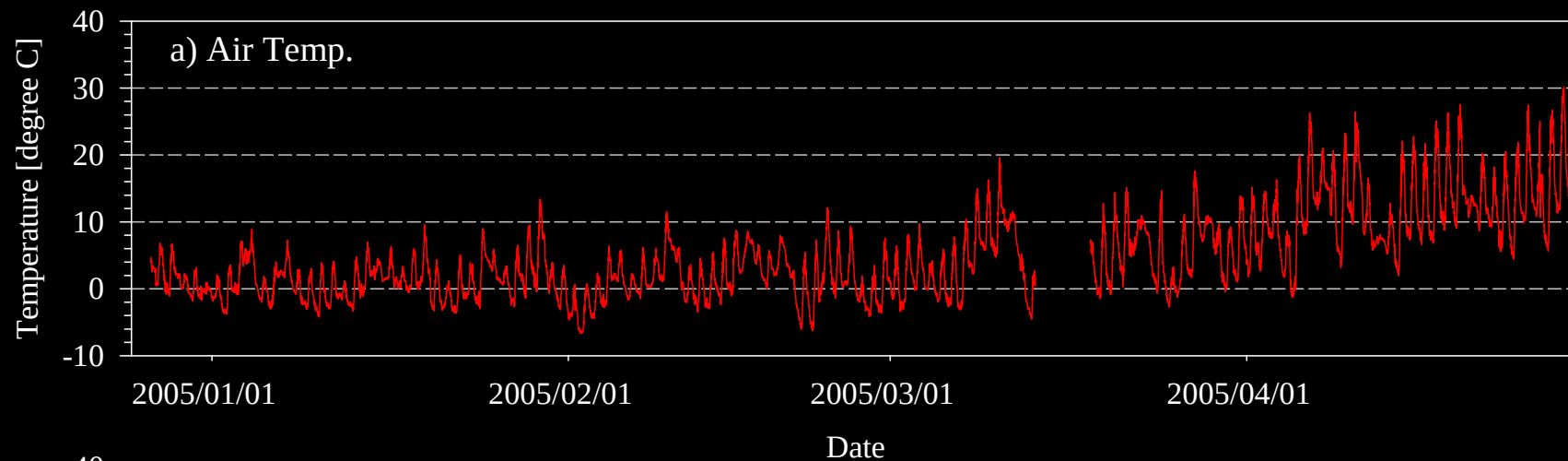
厳冬期の裸地斜面（滋賀県田上山地）

凍結融解作用により風化花崗岩が破壊され土砂になっていく

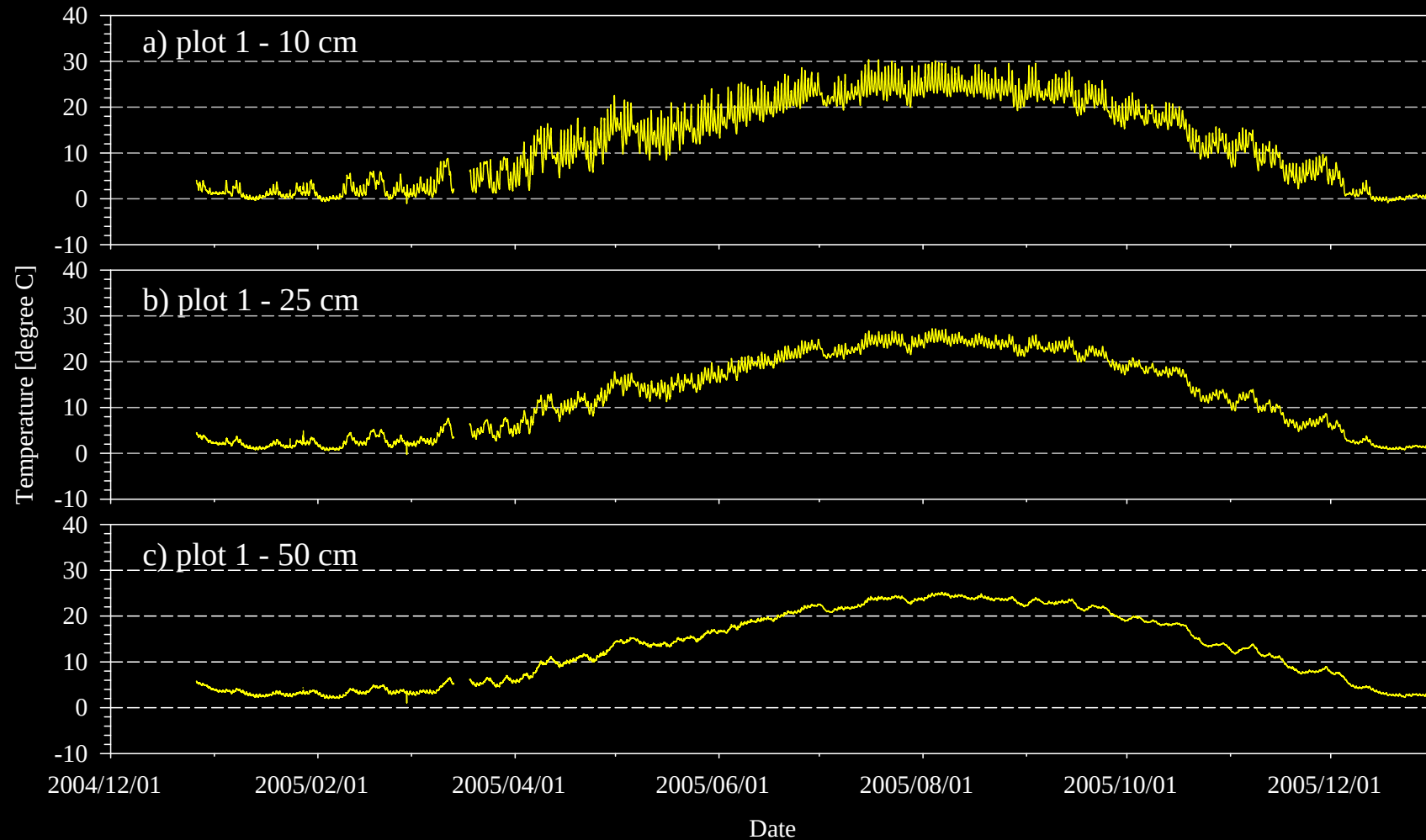
Observation site



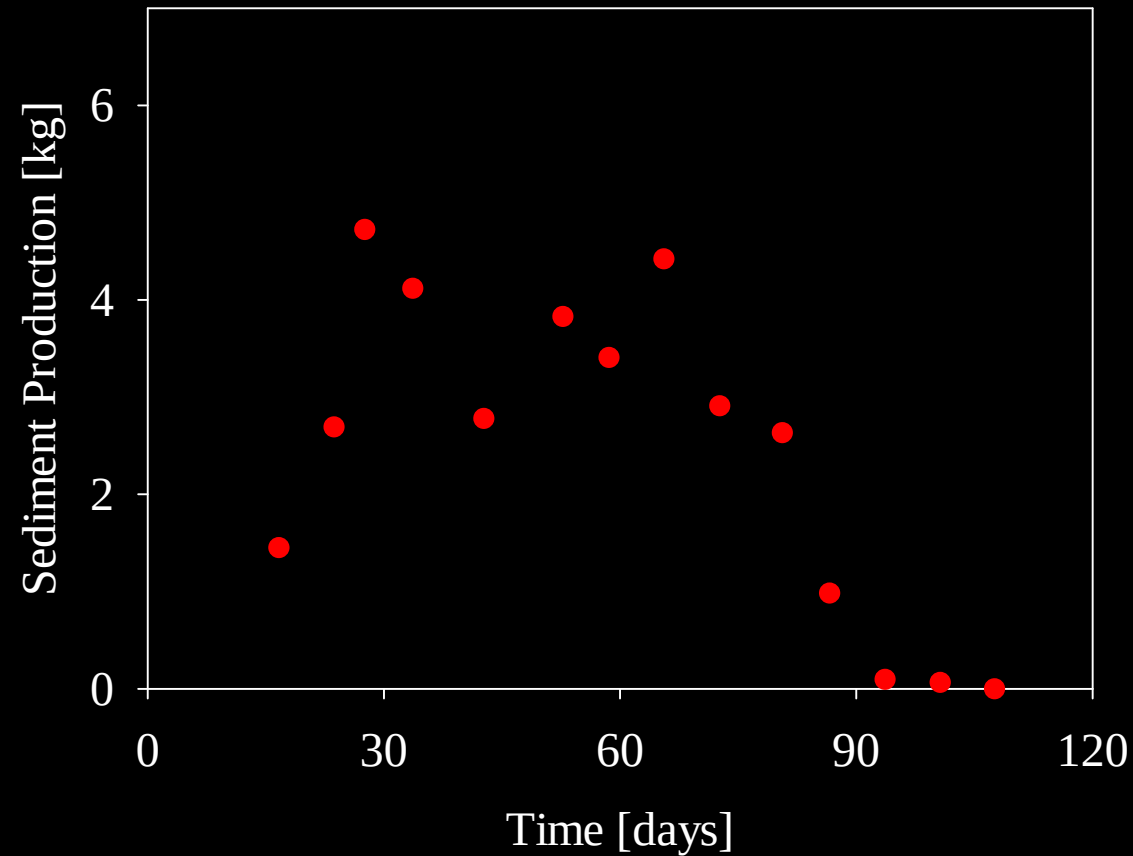
Air and surface temperature



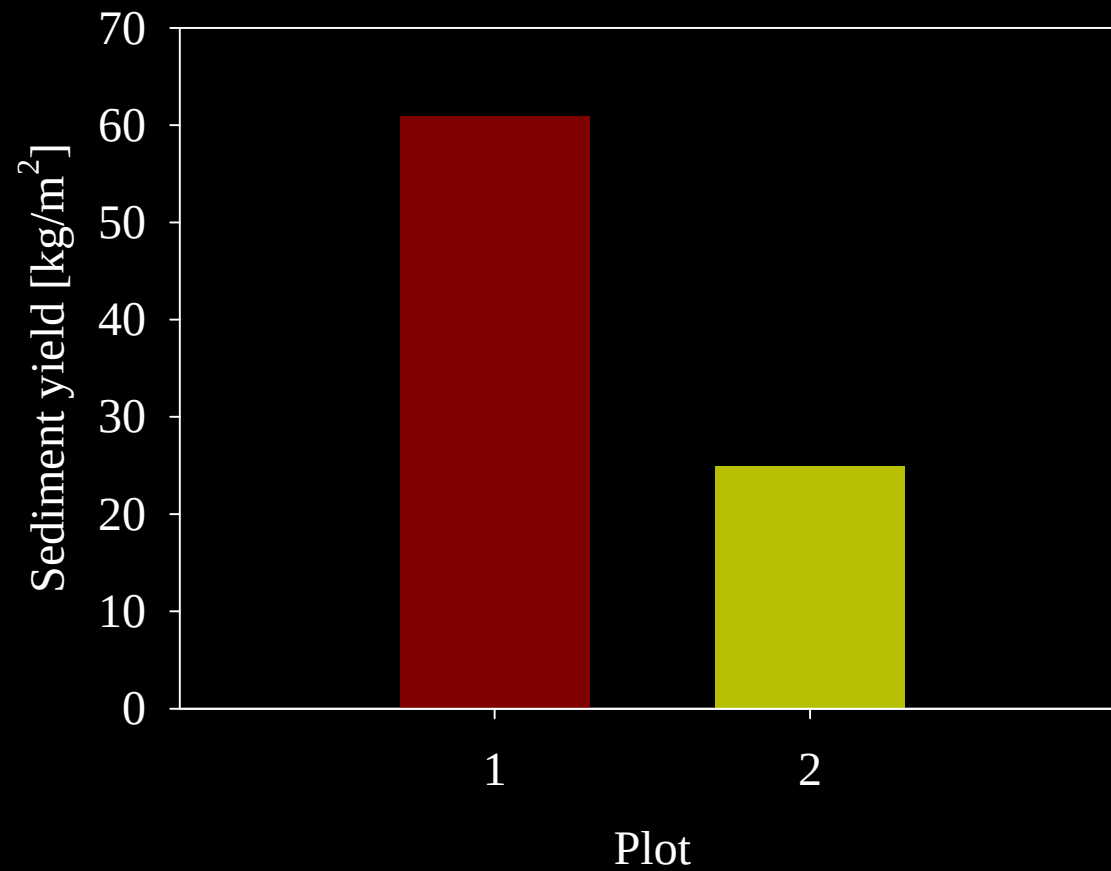
Subsurface temperature (plot 1)



Sediment yield from Plot 1



Total sediment yield





凍結融解作用による土砂生産 モデルシミュレーション I

Thermal conductivity analysis (1-D)

T-C equation

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \rho_i L_w \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

Richards equation

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) - \frac{\rho_i}{\rho_w} \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

$\theta - T$ relationship

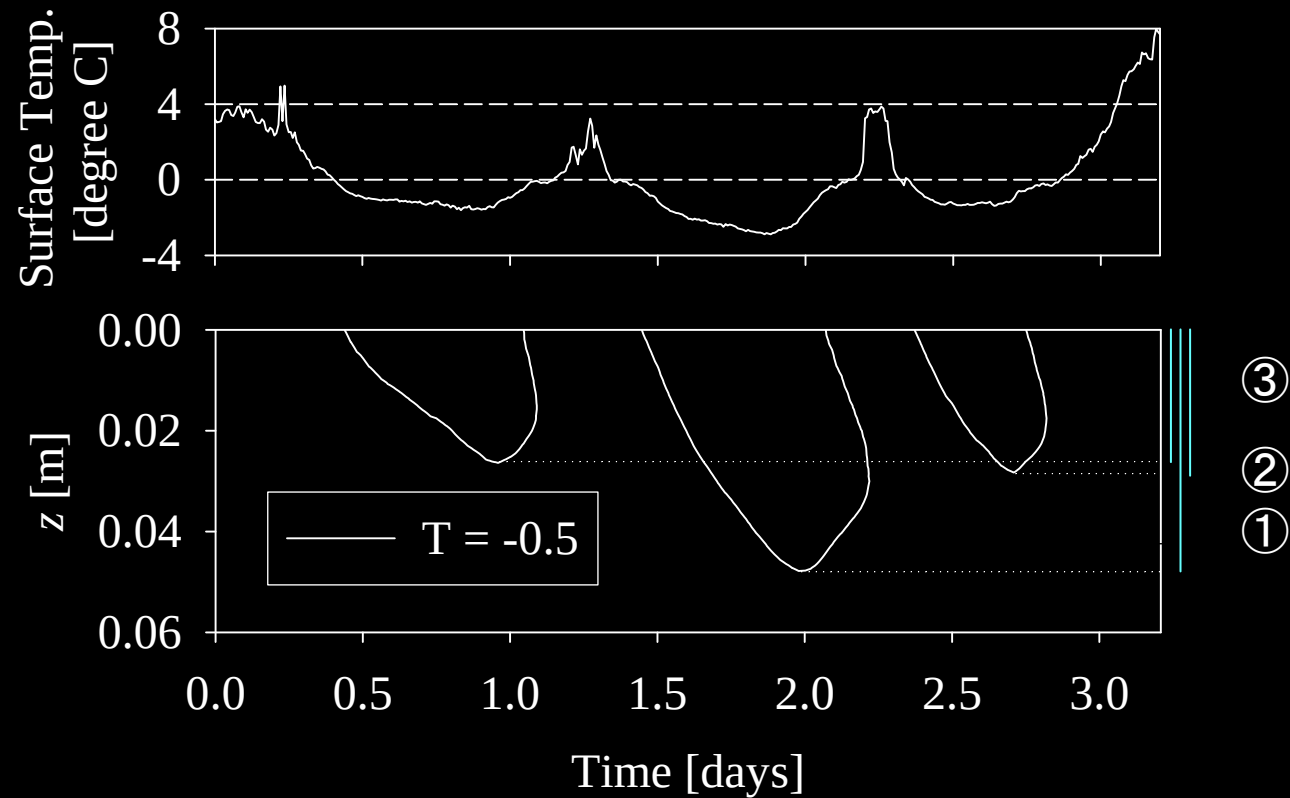
$$\theta = \theta(T)$$

仮定と簡略化

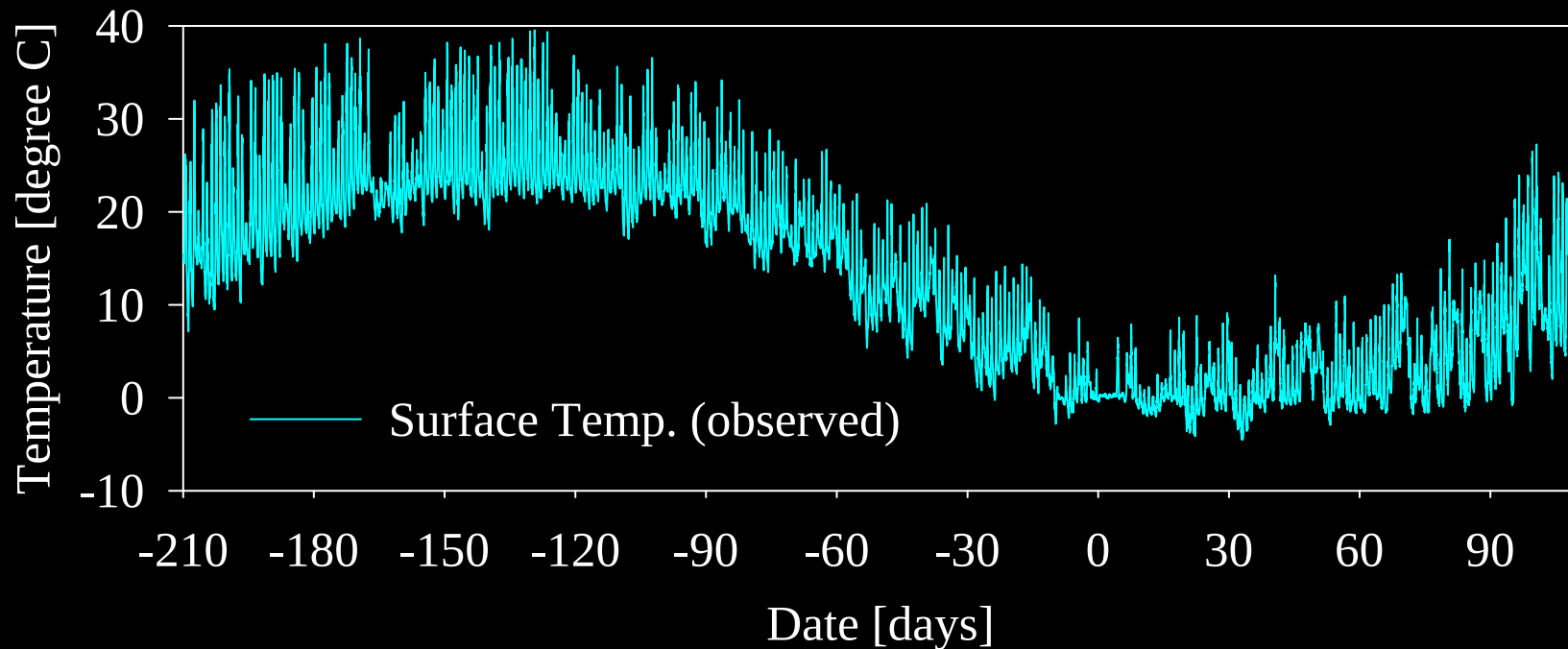
- (1) 基岩内での浸透は無視できる（水分拡散係数 $D = 0$ ）
- (2) 凍結による水の体積変化は無視できる（密度 $\rho_i = \rho_w$ ）
- (3) $\theta - T$ 関係は既往の経験式にて与えられる

基岩の破壊モデル

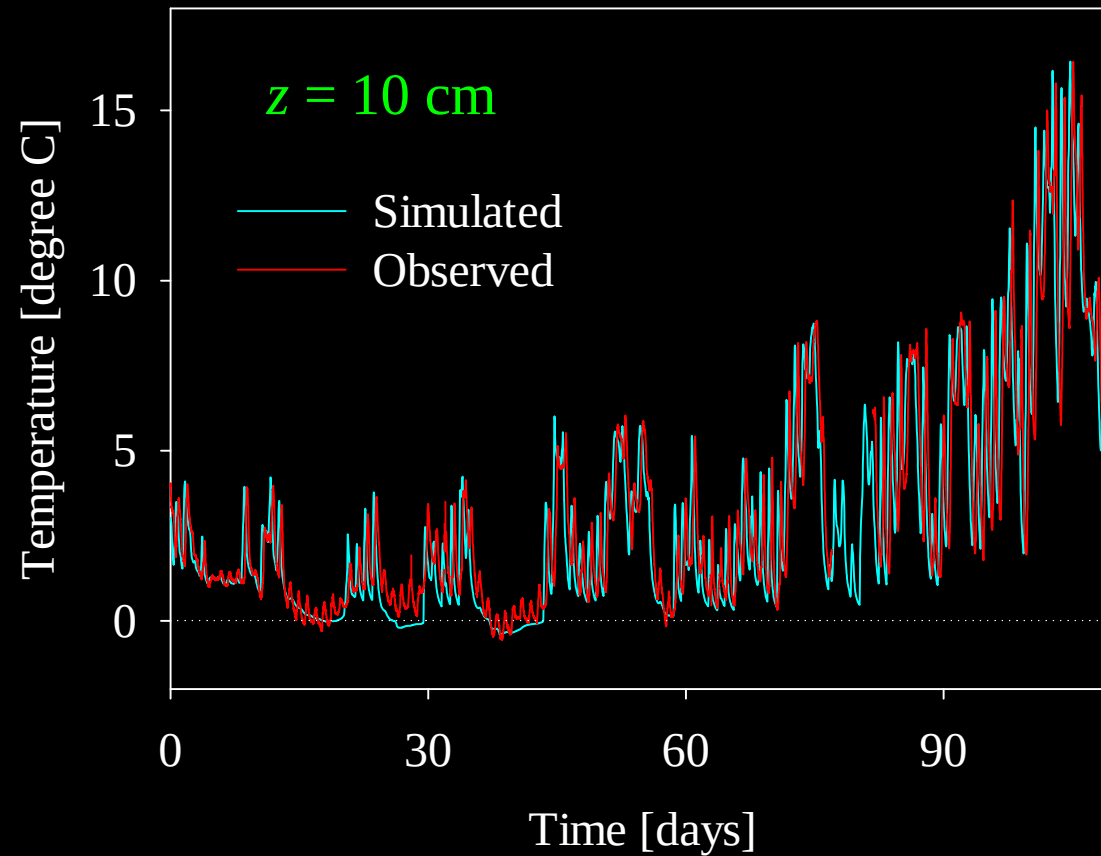
凍結融解サイクルを n 回経験した基岩が土砂へと破壊される



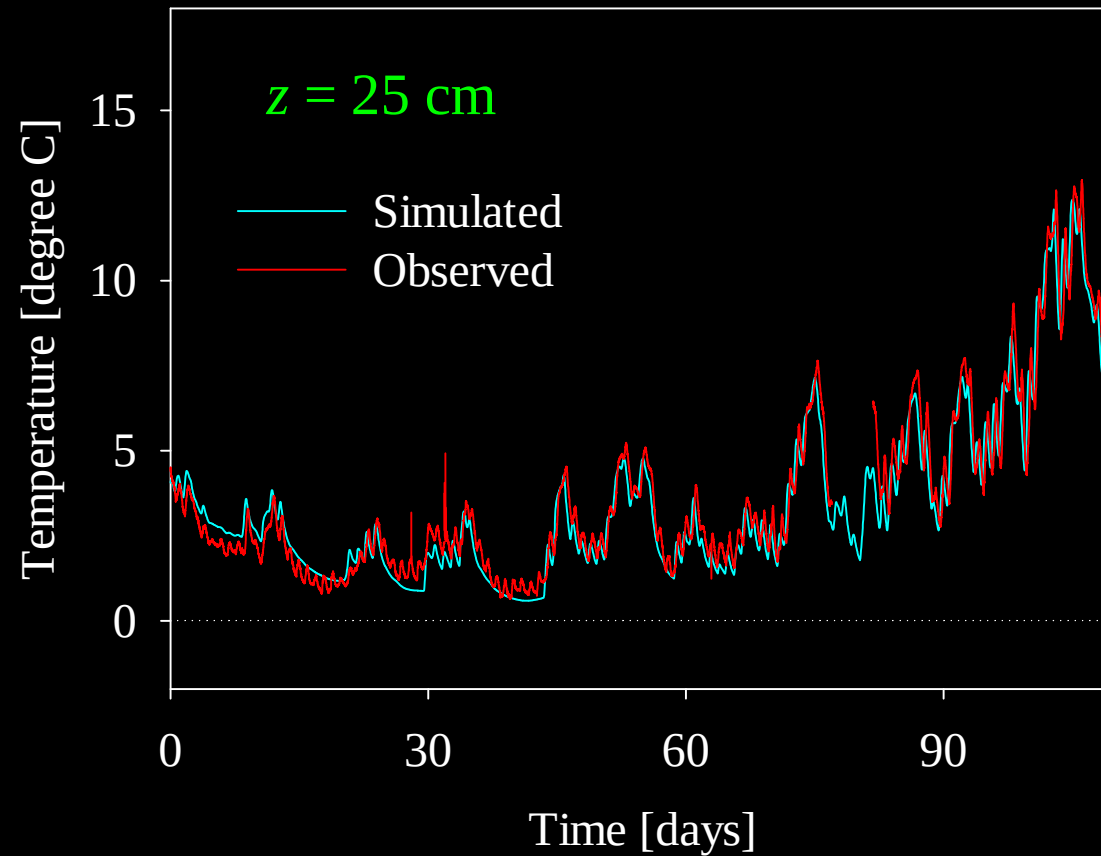
Input data : observed surface temperature



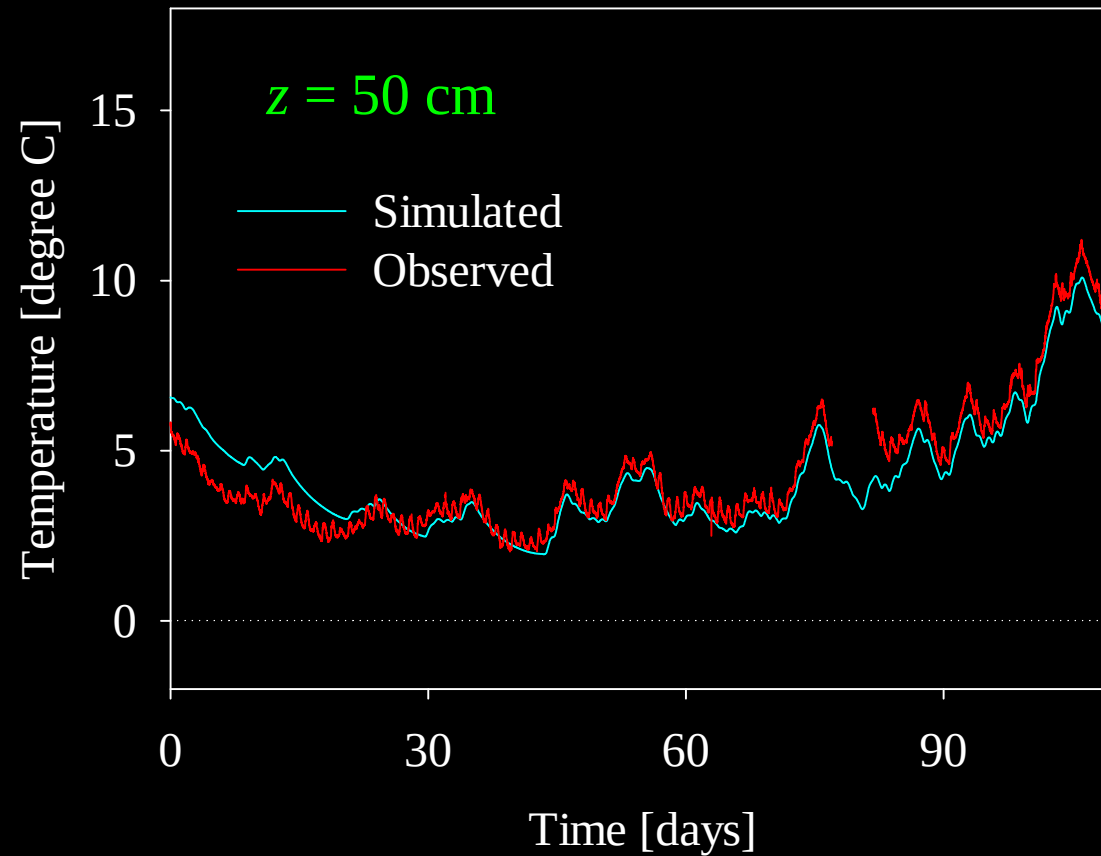
Simulation results bedrock temperature



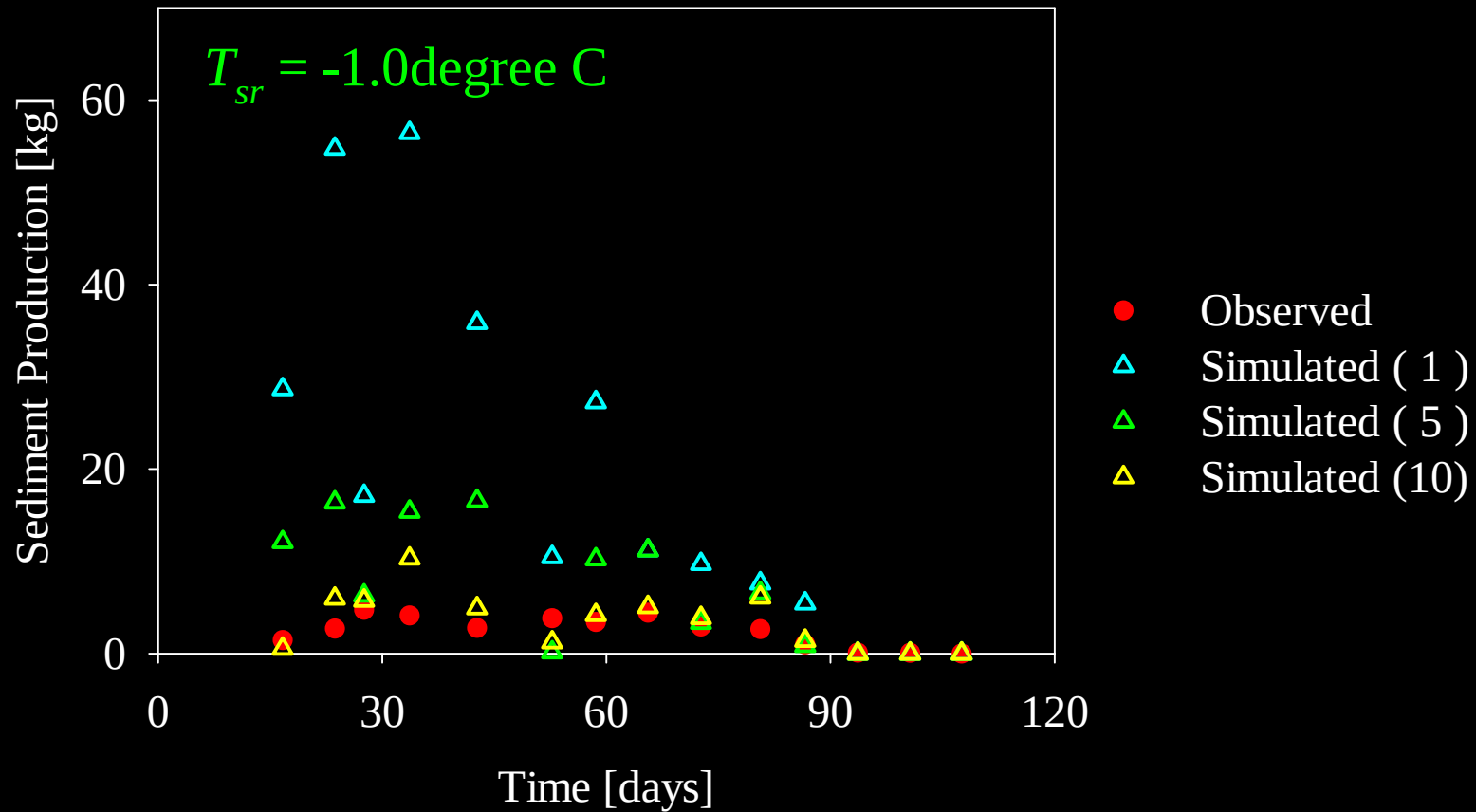
Simulation results bedrock temperature



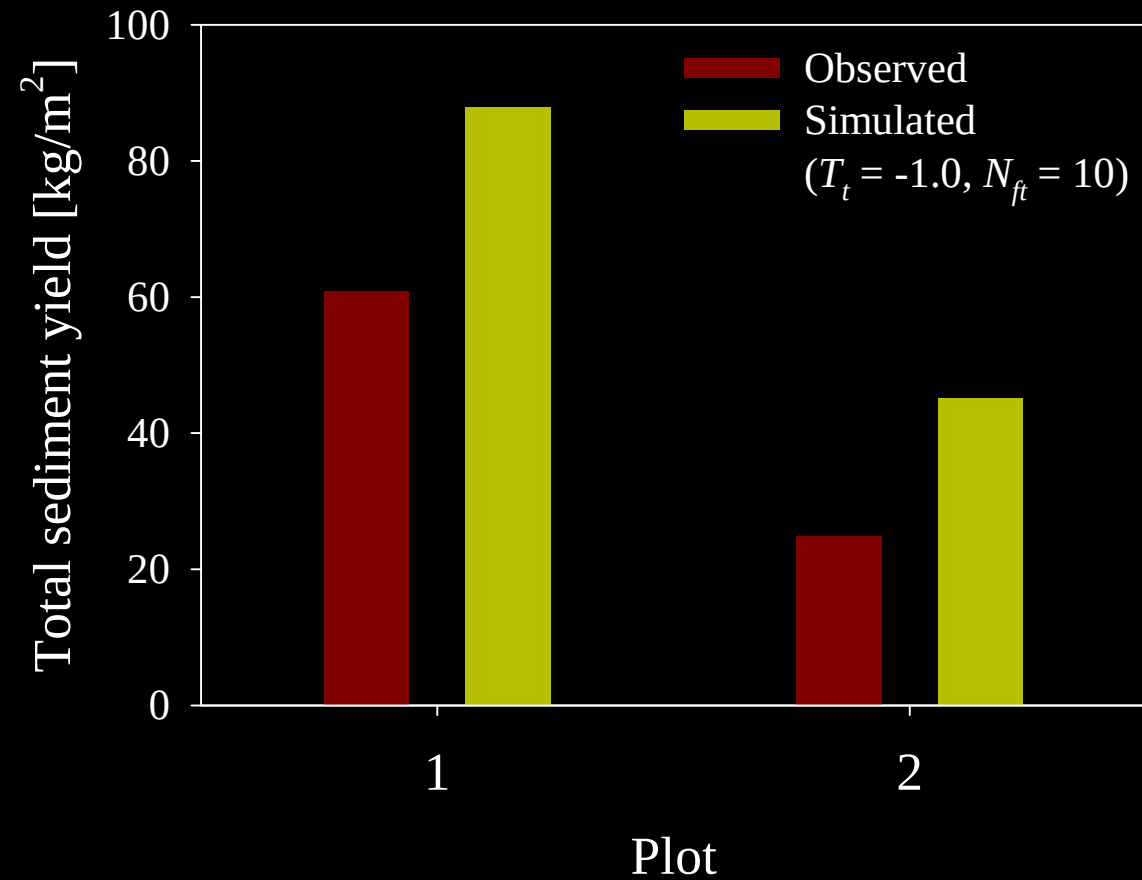
Simulation results bedrock temperature



Simulated result sediment yield



Total sediment yield

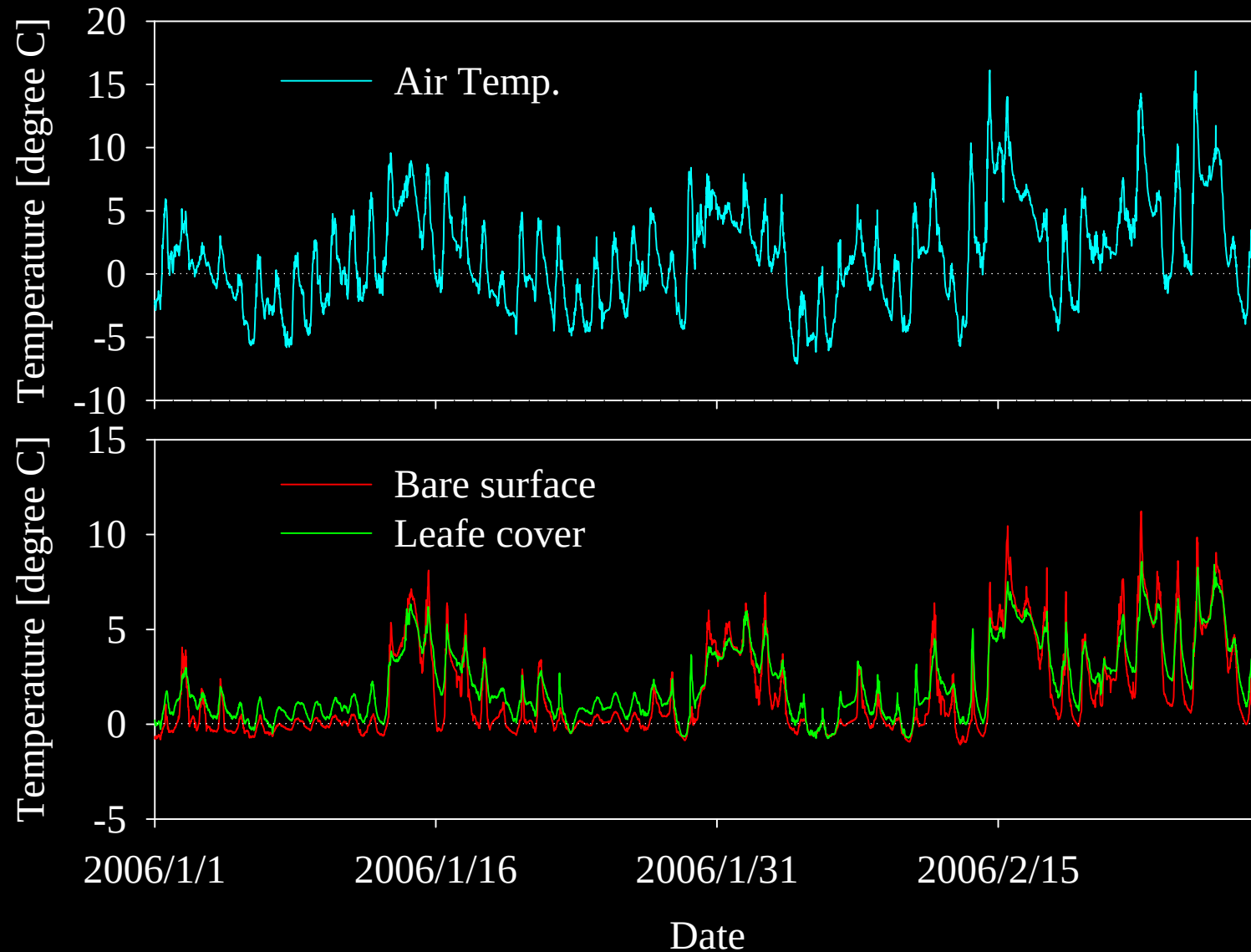


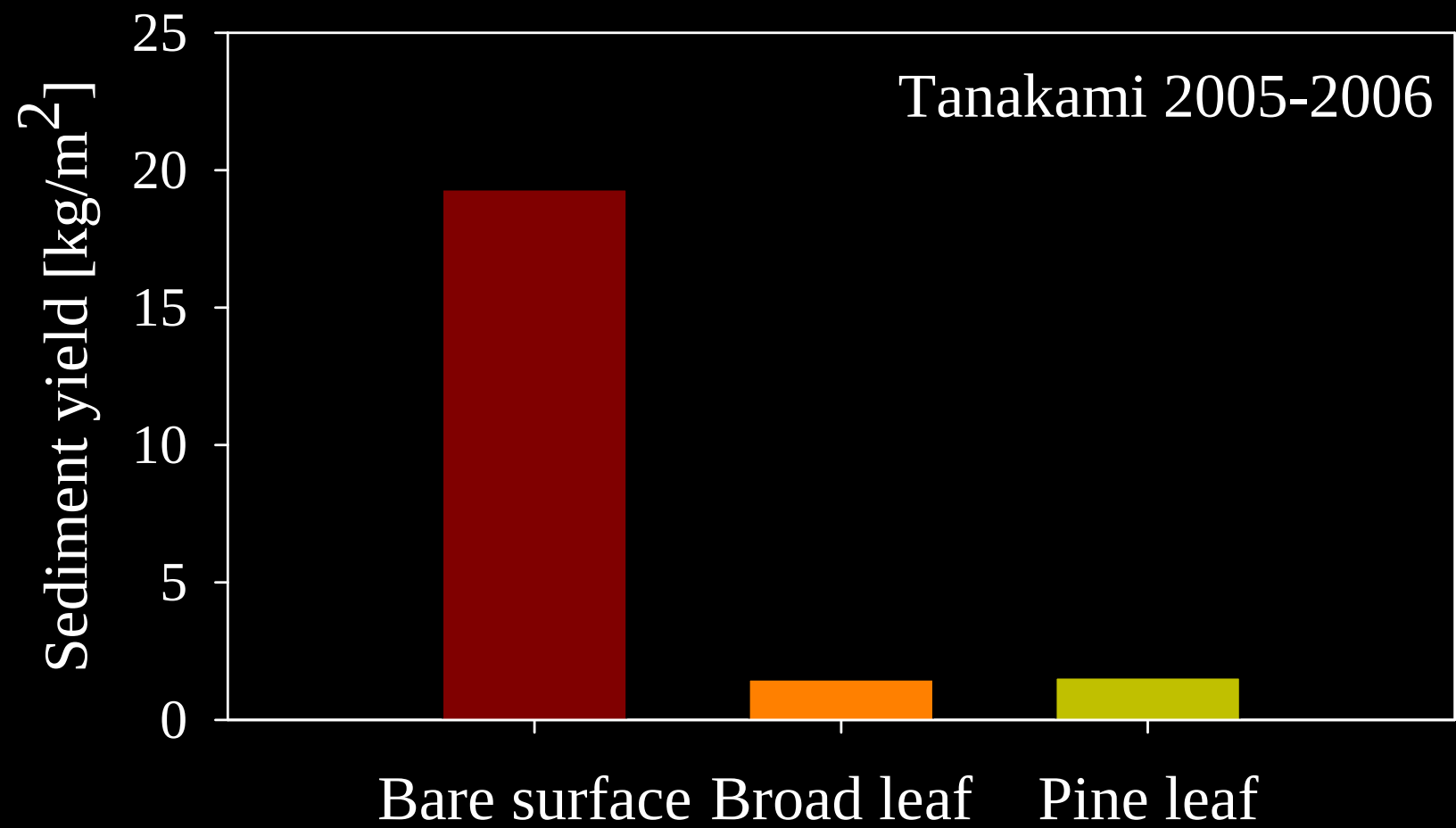


Broad leaves

Pine tree leaves

Effect of surface cover on temperature change

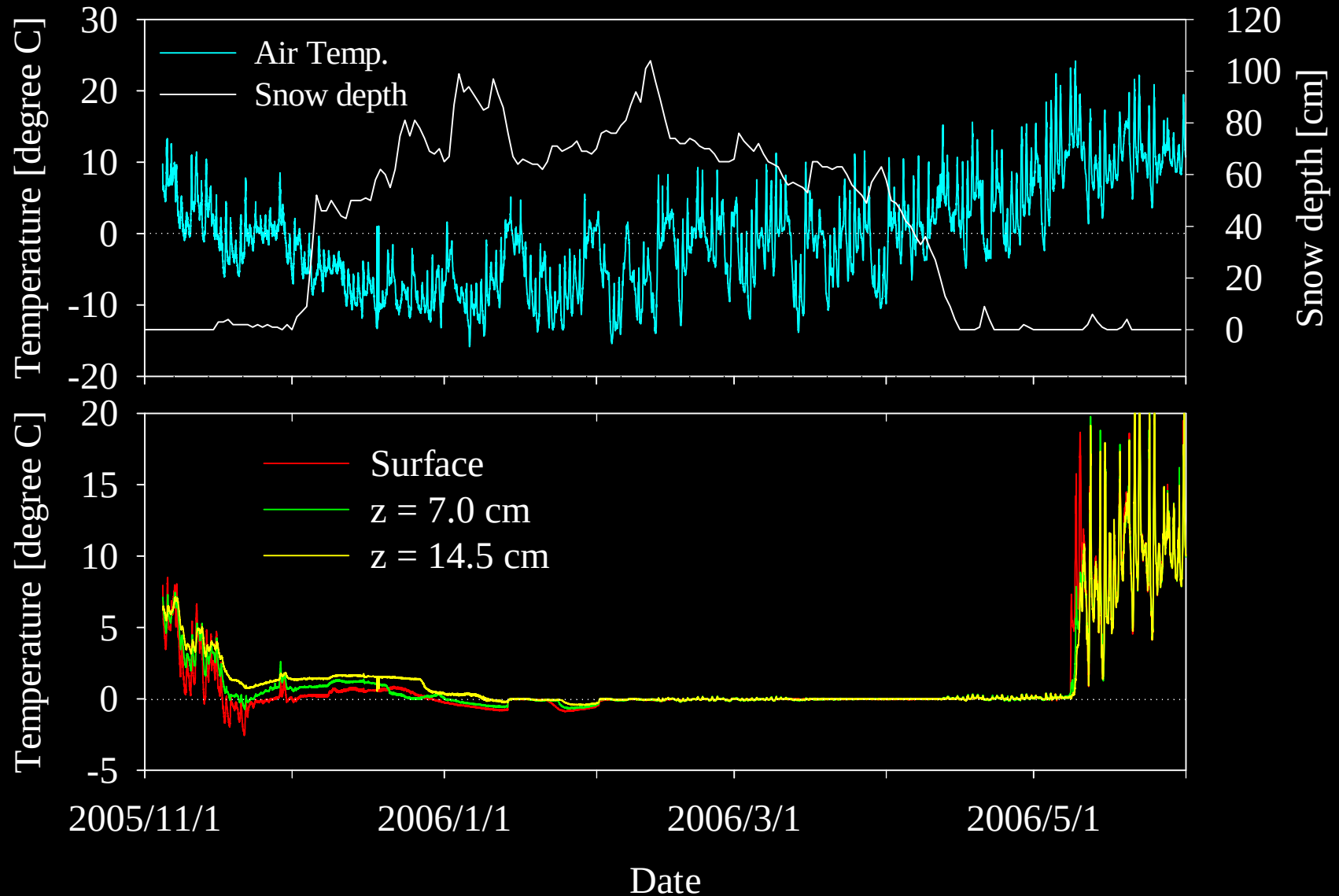




In winter...



Effect of snow cover on temperature change



目的

入力値

一般的な気象観測値

気温
風速
日射量

熱伝導解析

出力値

地中温度分布

入力値

凍結融解履歴モデル

土砂生産量推定

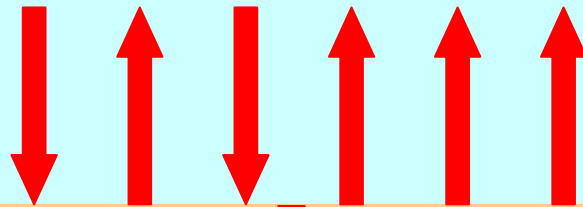
出力値

モデル計算(地表面での熱収支)

地上部での熱収支

地下部での熱収支

$L\downarrow$ $L\uparrow$ $S\downarrow$ $S\uparrow$ H IE

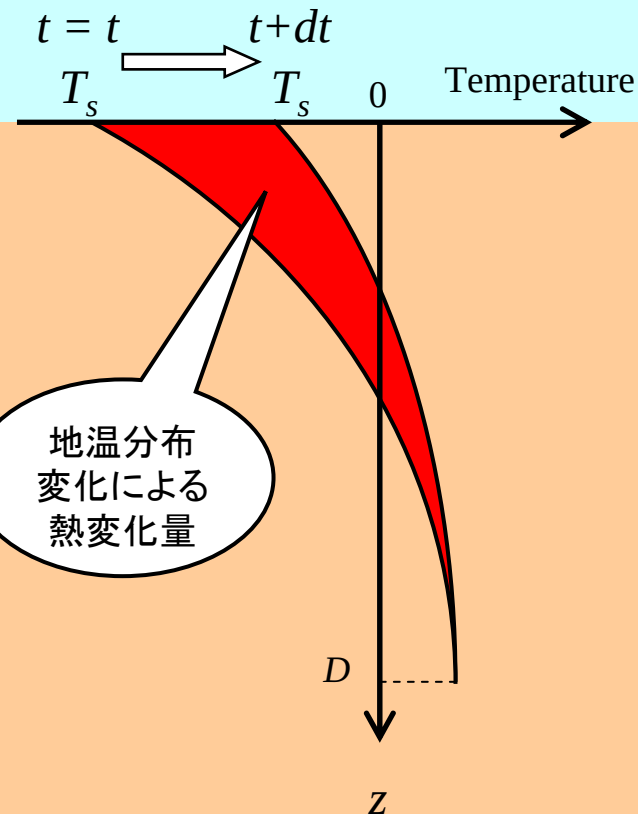


$L\downarrow$: 大気放射量
 $L\uparrow$: 地表面放射量
 $S\downarrow$: 水平面日射量
 $S\uparrow$: 日射の反射
 H : 顕熱
 IE : 潜熱

地中への
熱伝導量

=

地温分布
変化による
熱変化量



モデル計算(地表面での熱収支)

$$G = S \downarrow - S \uparrow + L \downarrow - L \uparrow - H - lE$$

Bulk Equation

$$H = c_p \rho C_H U (T_s - T)$$

$$lE = l \rho \beta C_H (q_s - q)$$

Stefan-Boltzmann law

$$L = \sigma T^4$$

$$\int_0^D \frac{d(c_G \rho_G T_G)}{dt} dz - \int_0^D \frac{d(\rho_i L_w \phi)}{dt} dz$$

$$= S \downarrow - S \uparrow + \sigma T_s^4 - \sigma T^4 - c_p \rho C_H U (T_s - T)$$

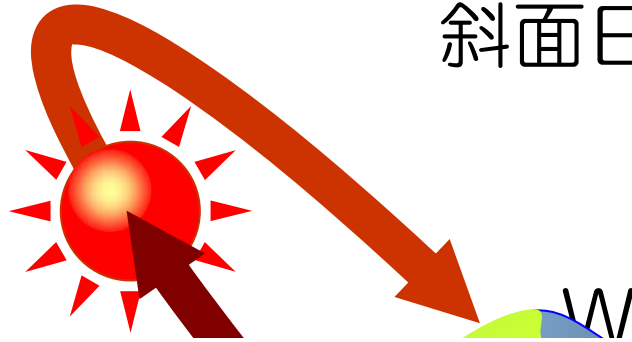
Observed data

Unknown

$$G = \int_0^D \frac{d(c_G \rho_G T)}{dt} dz - \int_0^D \frac{d(\rho_i L_w \phi)}{dt} dz$$

T_s を変数として両辺が等しくなるよう、収束計算を行う

斜面日射量



入力値
斜面座標
斜面方位
斜面傾斜角
日付・時刻

$$J_{\zeta} = J_{d\zeta} + J_{s\zeta} + J_{r\zeta}$$

$$= J_{dn} \cos i + J_{sh} \cos^2 \frac{\zeta}{2} + \frac{1 - \cos \zeta}{2} \text{ref} J_h$$

$$J_{dn} = J_0 P^{\frac{1}{\sinh}}$$

$$J_{sh} = \frac{1}{2} J_0 \sinh \frac{1 - P^{\frac{1}{\sinh}}}{1 - 1.4 \ln P}$$

$$J_h = J_{dn} \sinh + J_{sh}$$

法線面直達日射量 水平面天空日射量 水平面日射量

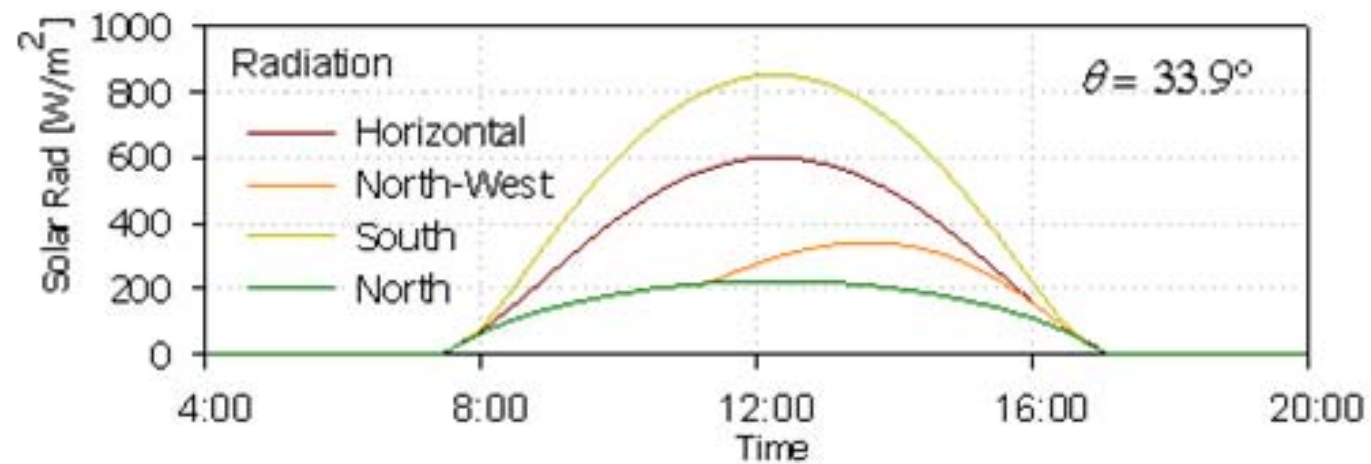
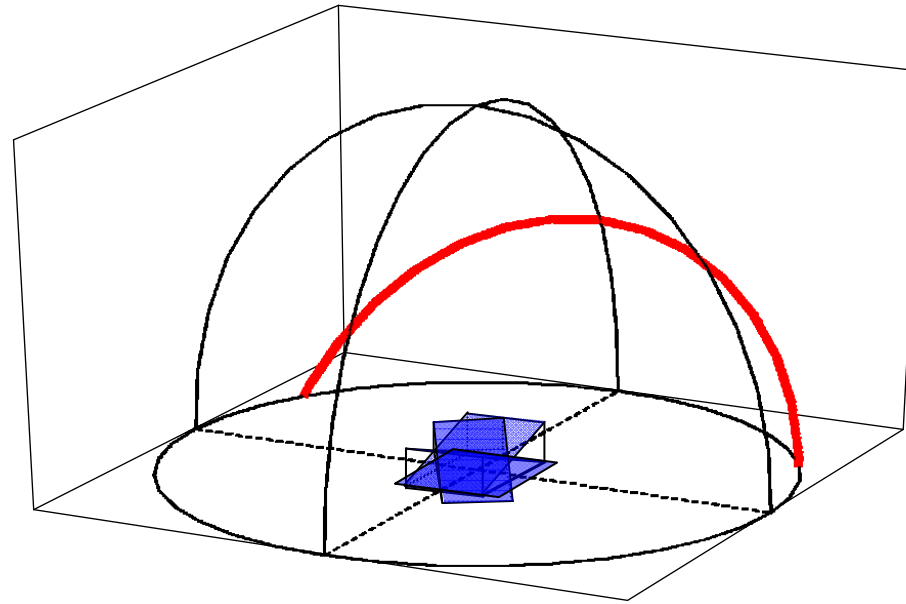
入射角 $\cos i = \cos \zeta \sinh + \sin \zeta \cosh \cos(A_s - A)$

太陽高度 $\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t$

太陽方位 $\sin A_s = \frac{\cos \delta \sin t}{\cos h}$

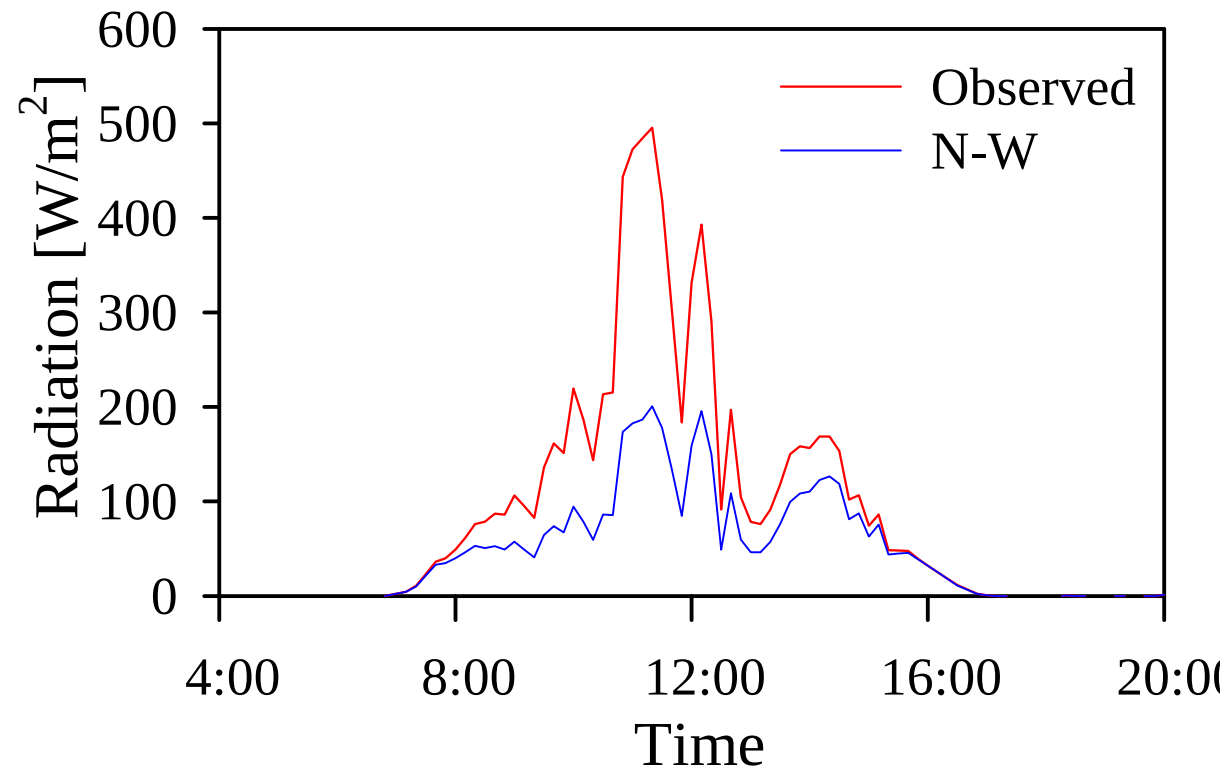
モデル計算(斜面日射量)

Jan. 1st, N35



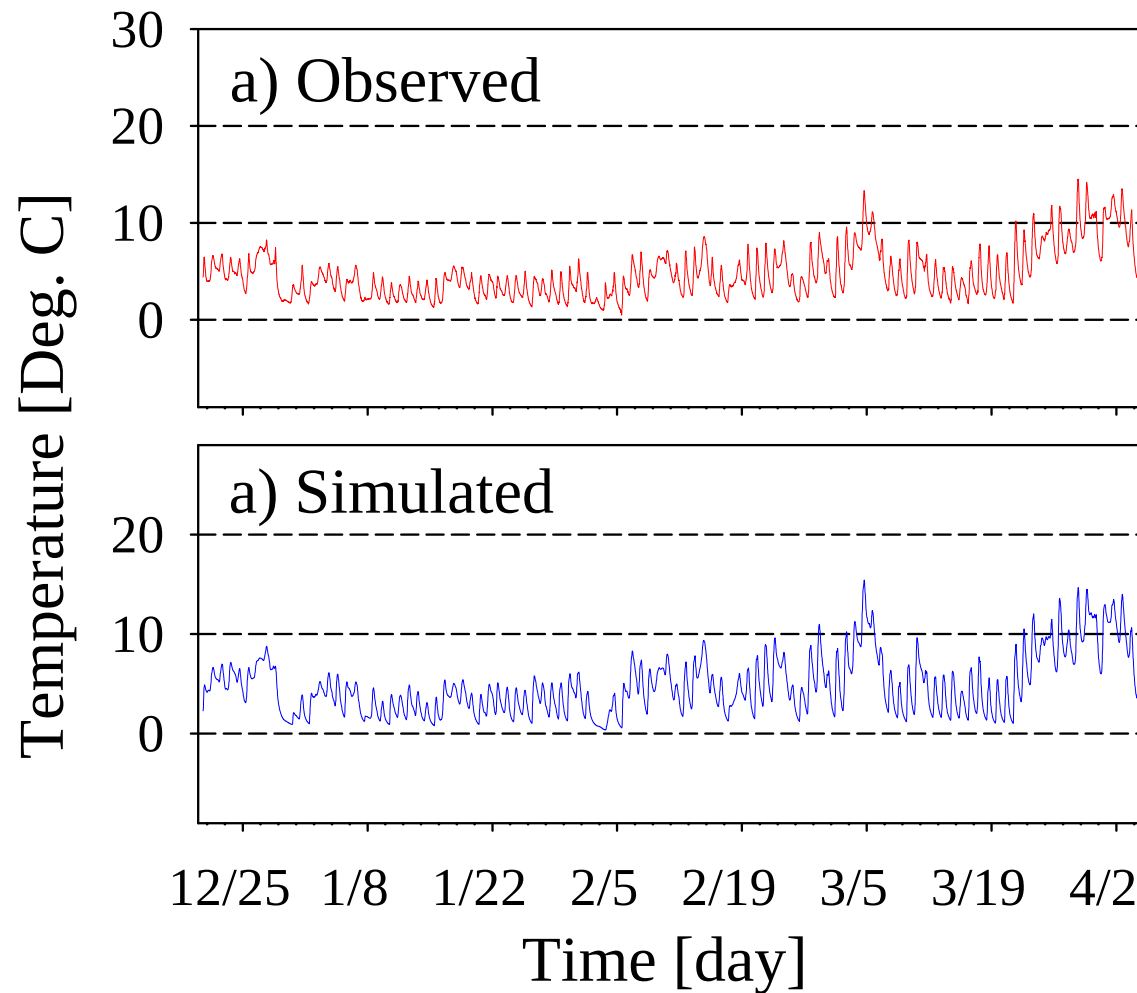
モデル計算(斜面日射量)

水平面日射量(観測値) → 斜面日射量



計算結果(田上-裸地, 2006-2007)

地中温度(10 cm)



流域単位での土砂生産量推定



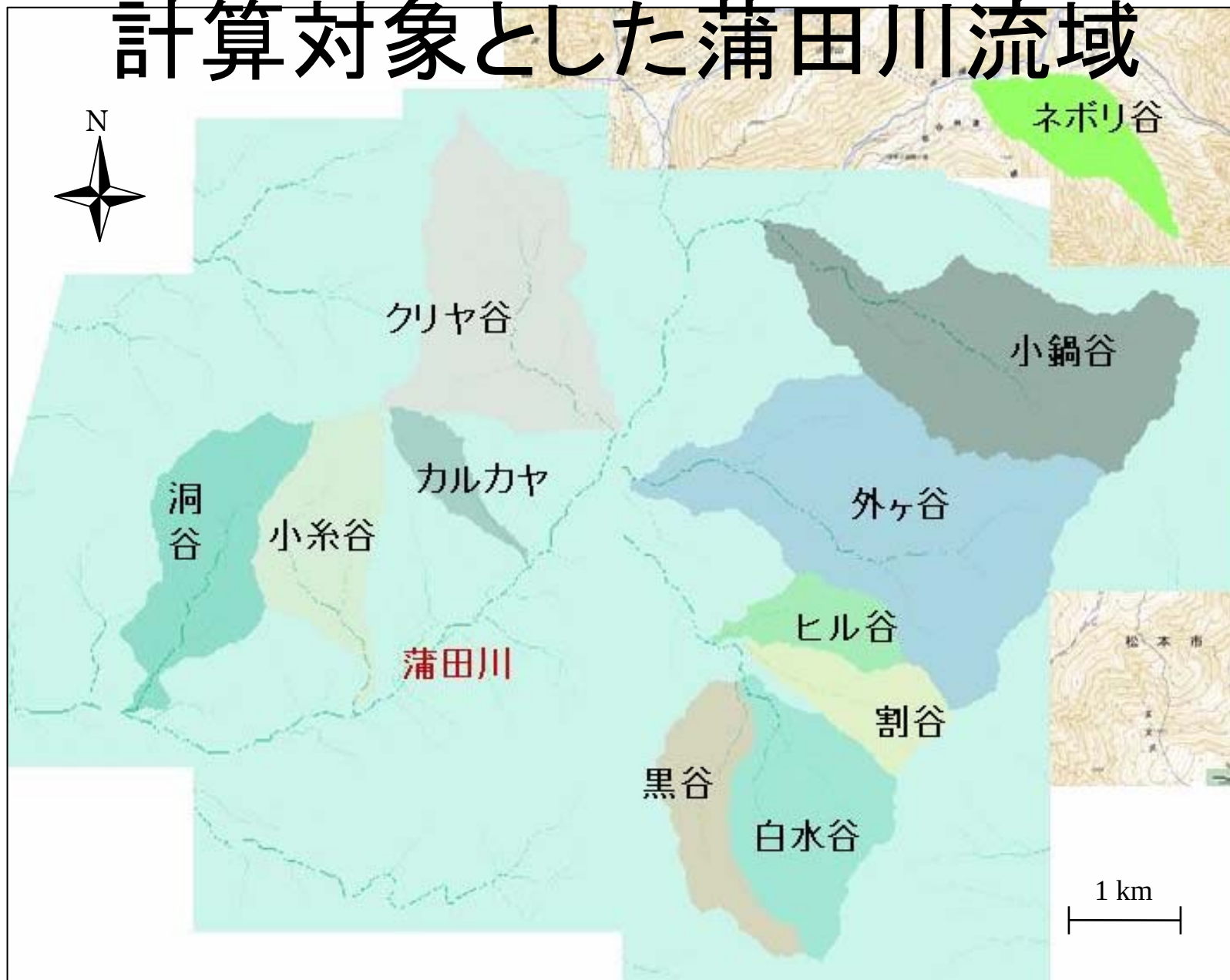
- ・勾配
- ・斜面向き
- ・標高

- ・表面被覆条件

凍結融解強度指数の算出

土砂生産量の推定

計算対象とした蒲田川流域

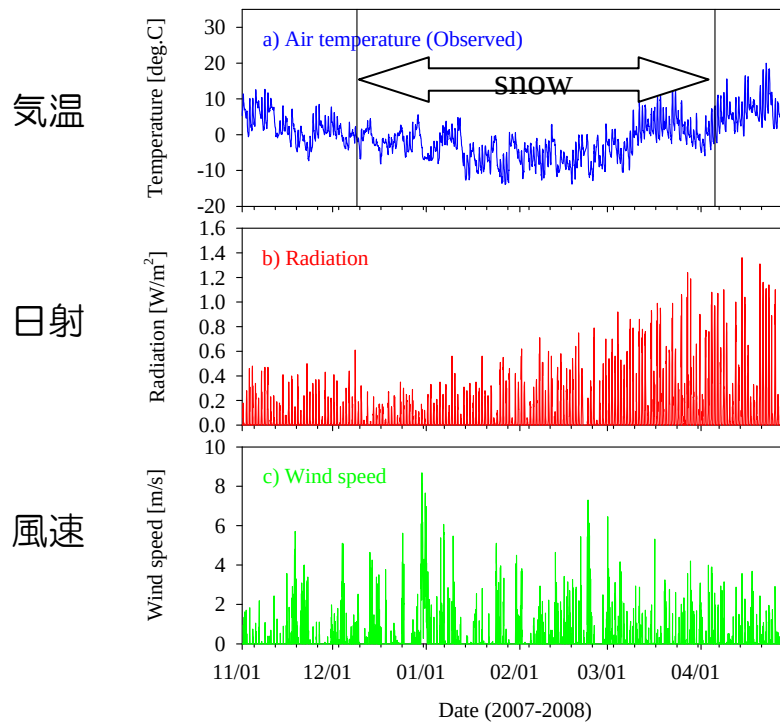


計算条件

- 裸地斜面分布→航空写真
- 地形(勾配、斜面向き)→DEMデータ
- 地質→考慮せず
- 気象データ(気温、日射、風速)
→穂高砂防観測所(1,150m)と2,150mでの
気温を標高補正($0.55^{\circ}\text{C}/100\text{m}$)を用いて計
算し、内挿によりその他の標高の地点を求め
る
- 積雪時は、地表面温度 0°C と仮定

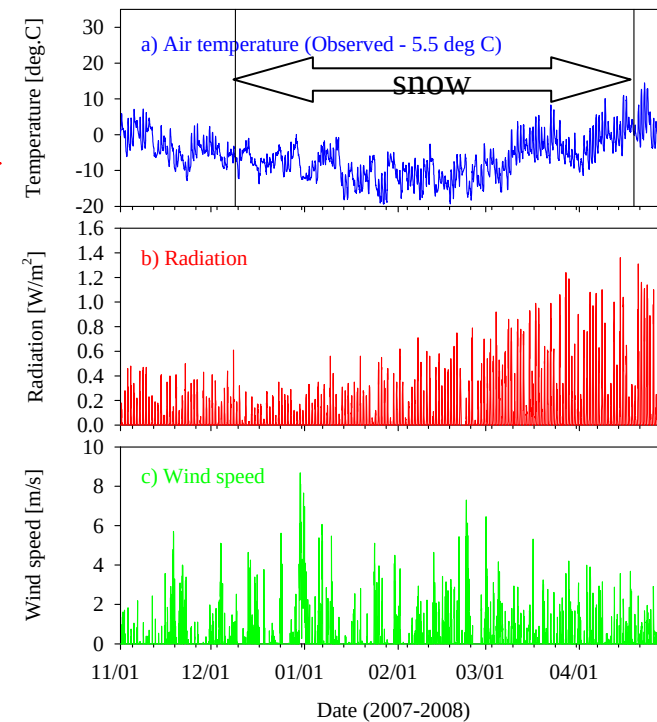
入力値(気温, 日射, 風速)

標高1,150での実測値

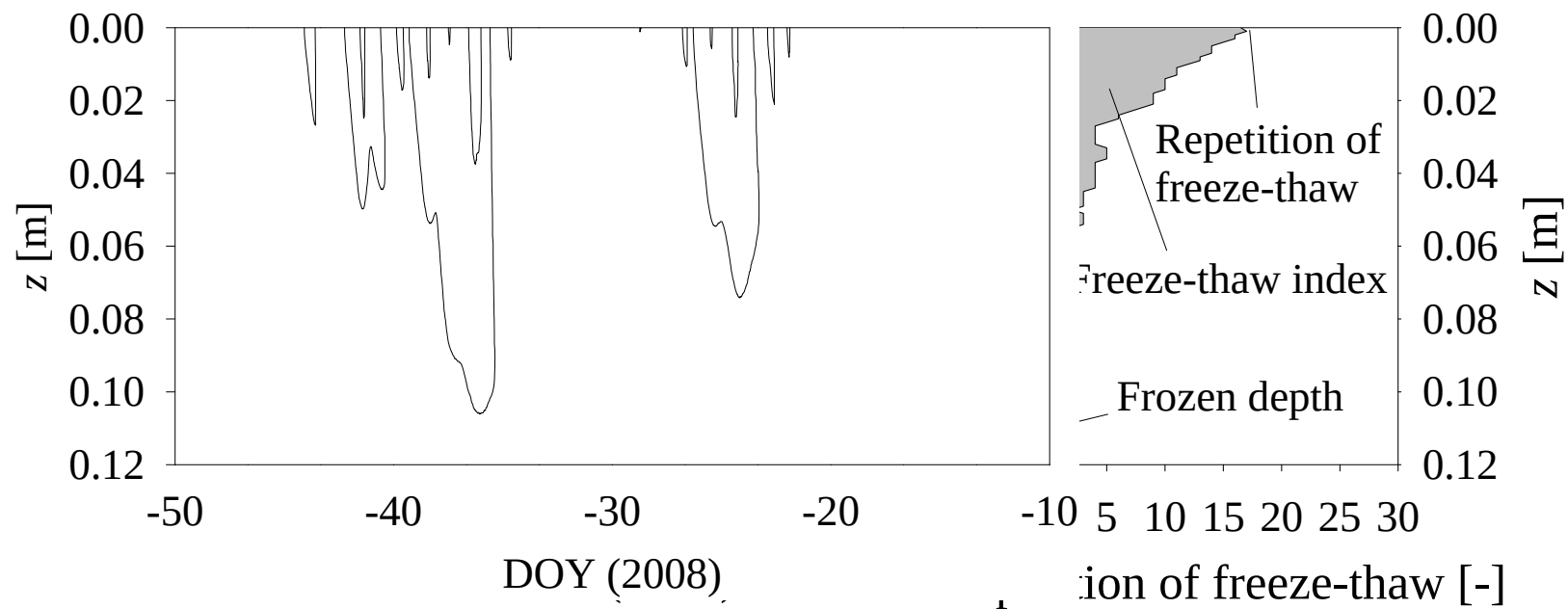


標高補正
-0.55°C/100m

標高2,150での仮定値



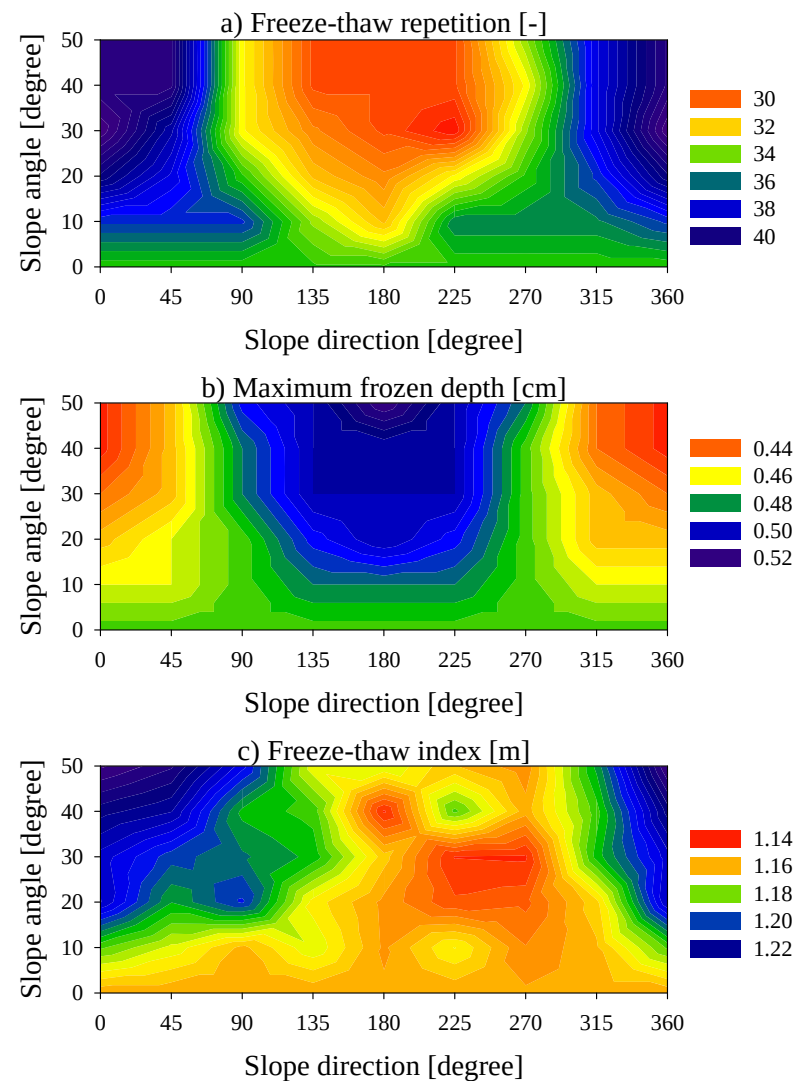
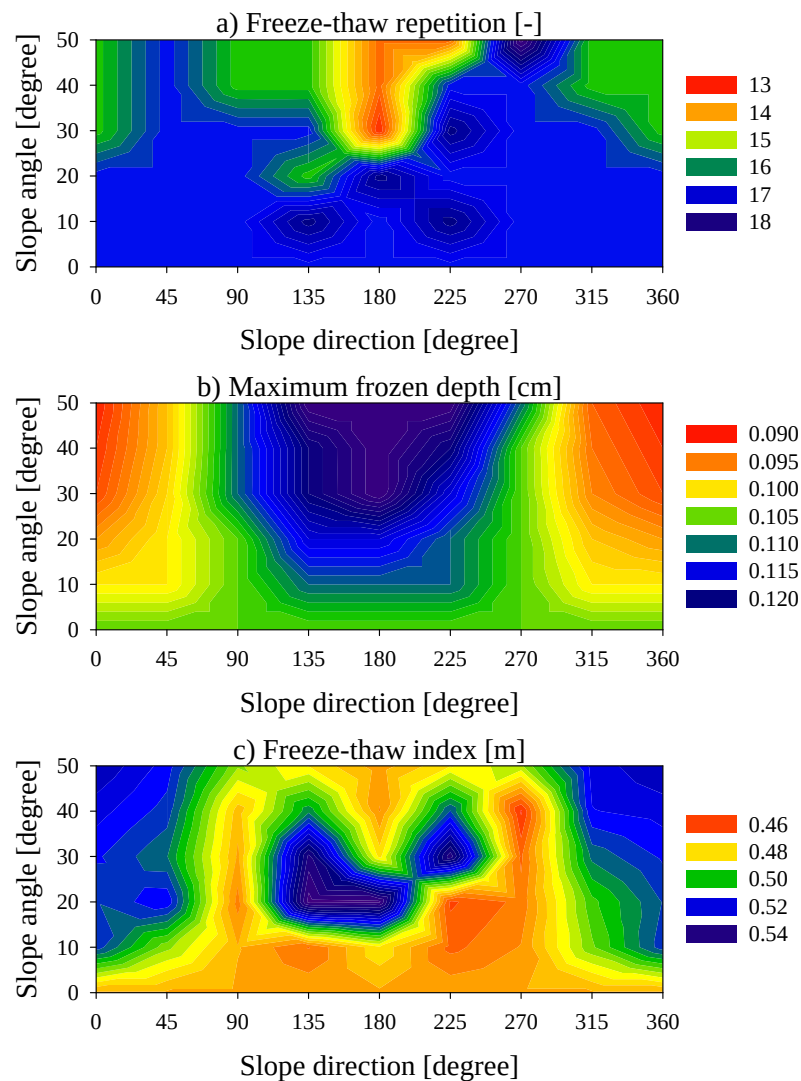
凍結深進行曲線と凍結融解強度指数



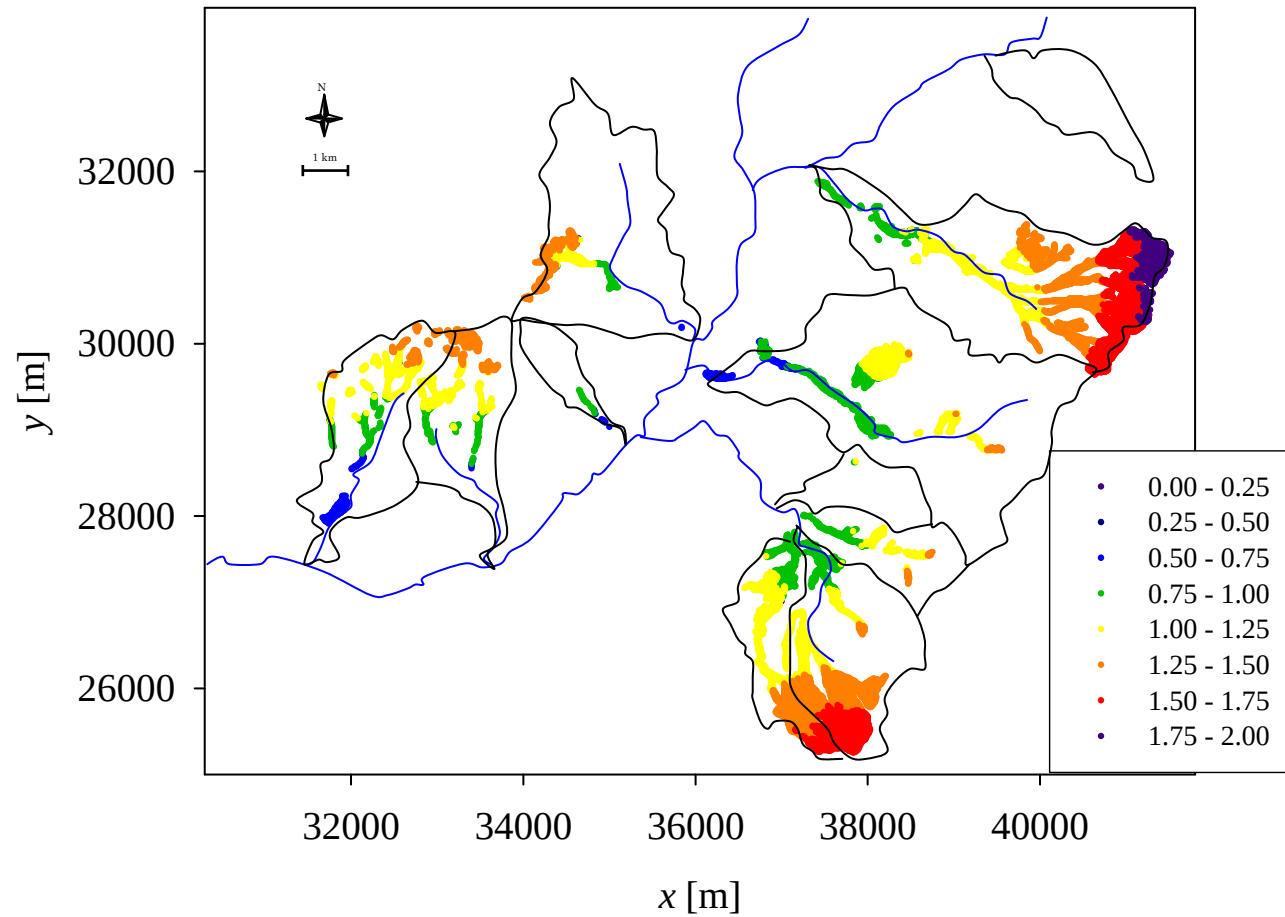
凍結融解に関する指数と斜面・標高との関係

標高1,150m

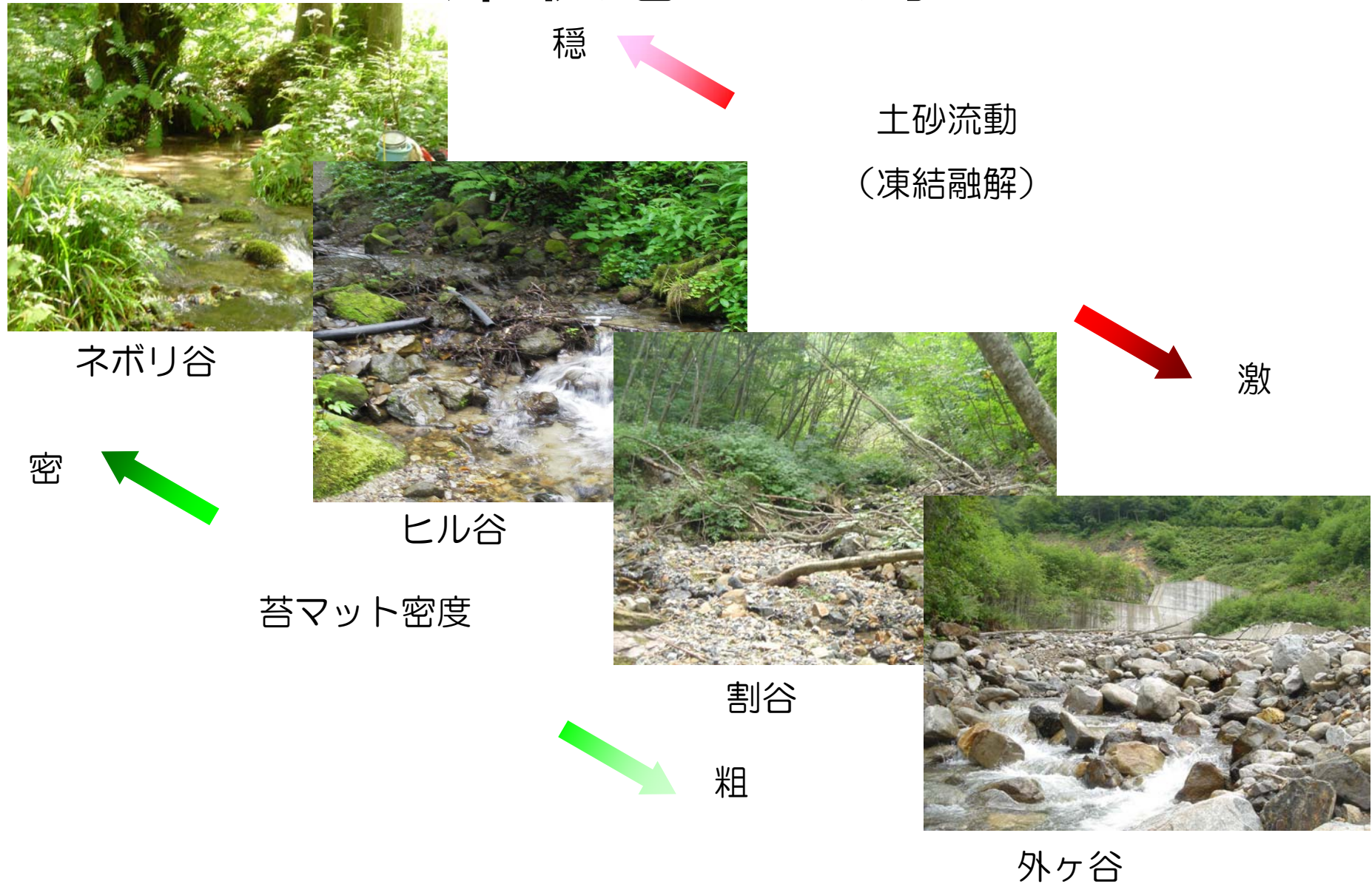
標高2,150m



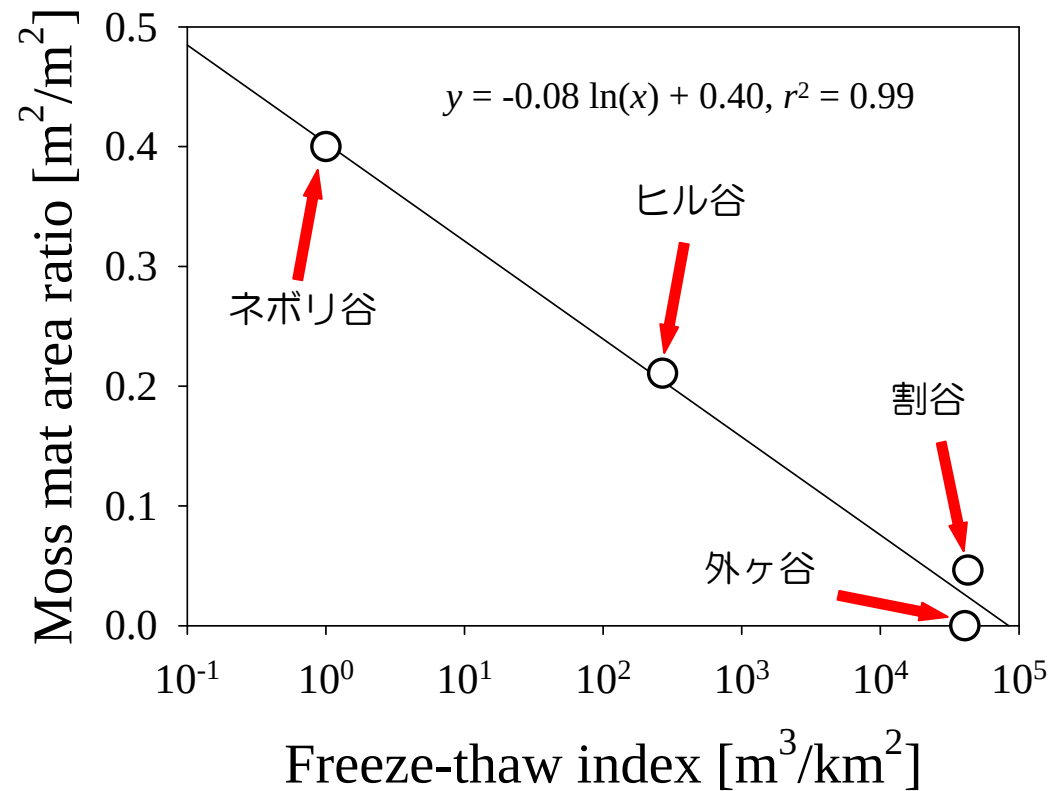
蒲田川流域における凍結融解強度指数 の空間分布(裸地のみを対象)



河床状態との対比

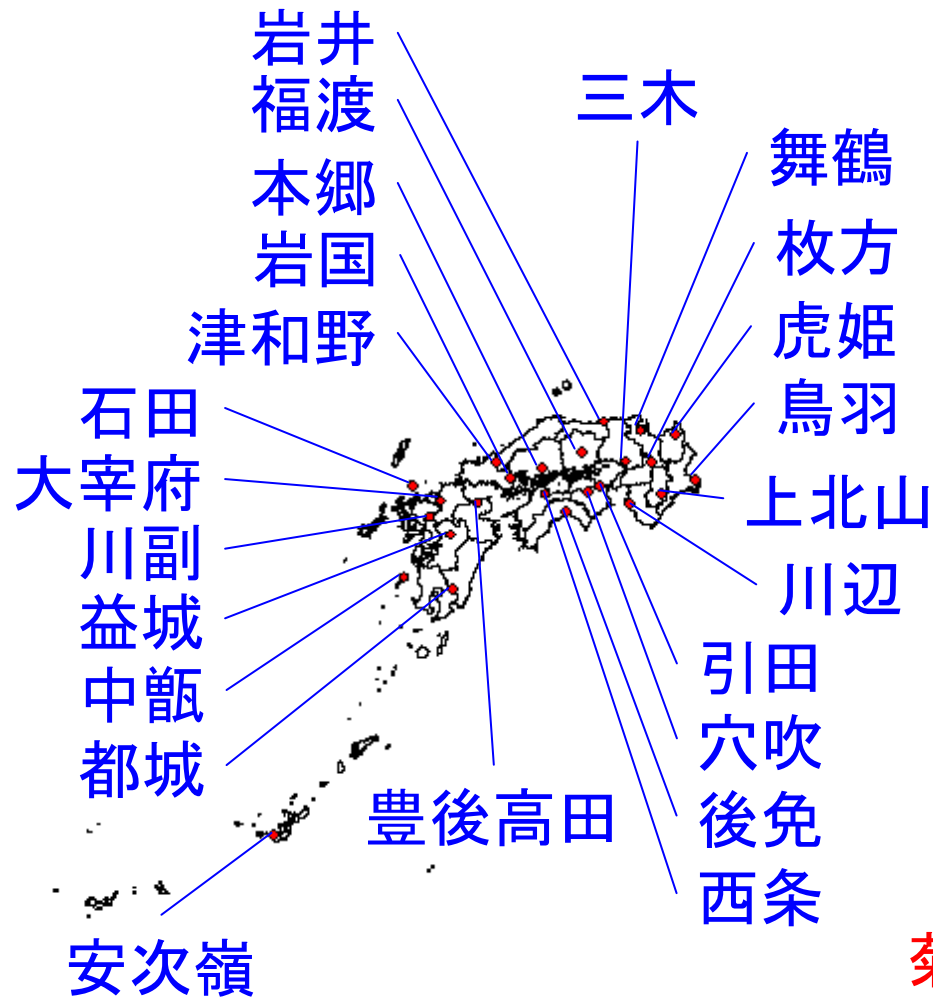


凍結融解強度指数と 苔マット面積密度の相関

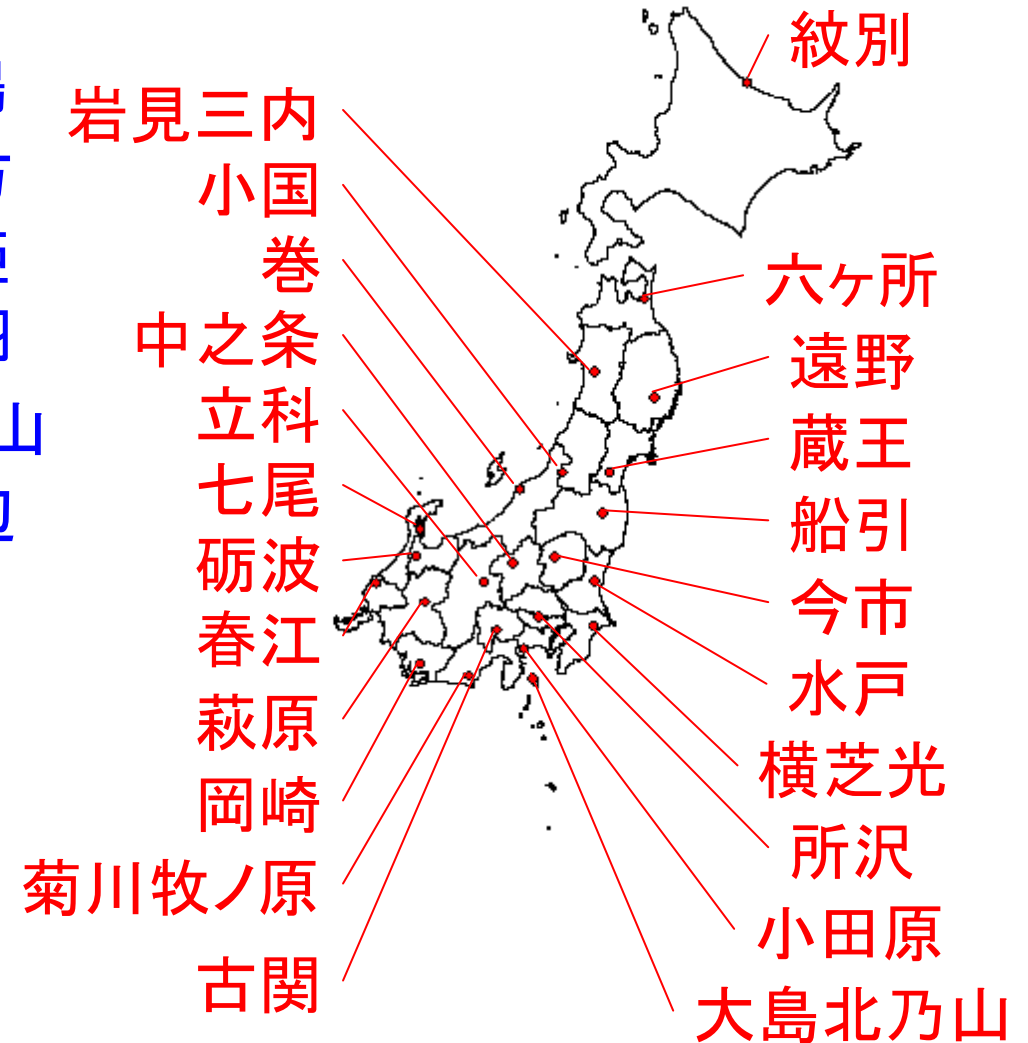


代表地点の位置

西日本



東日本

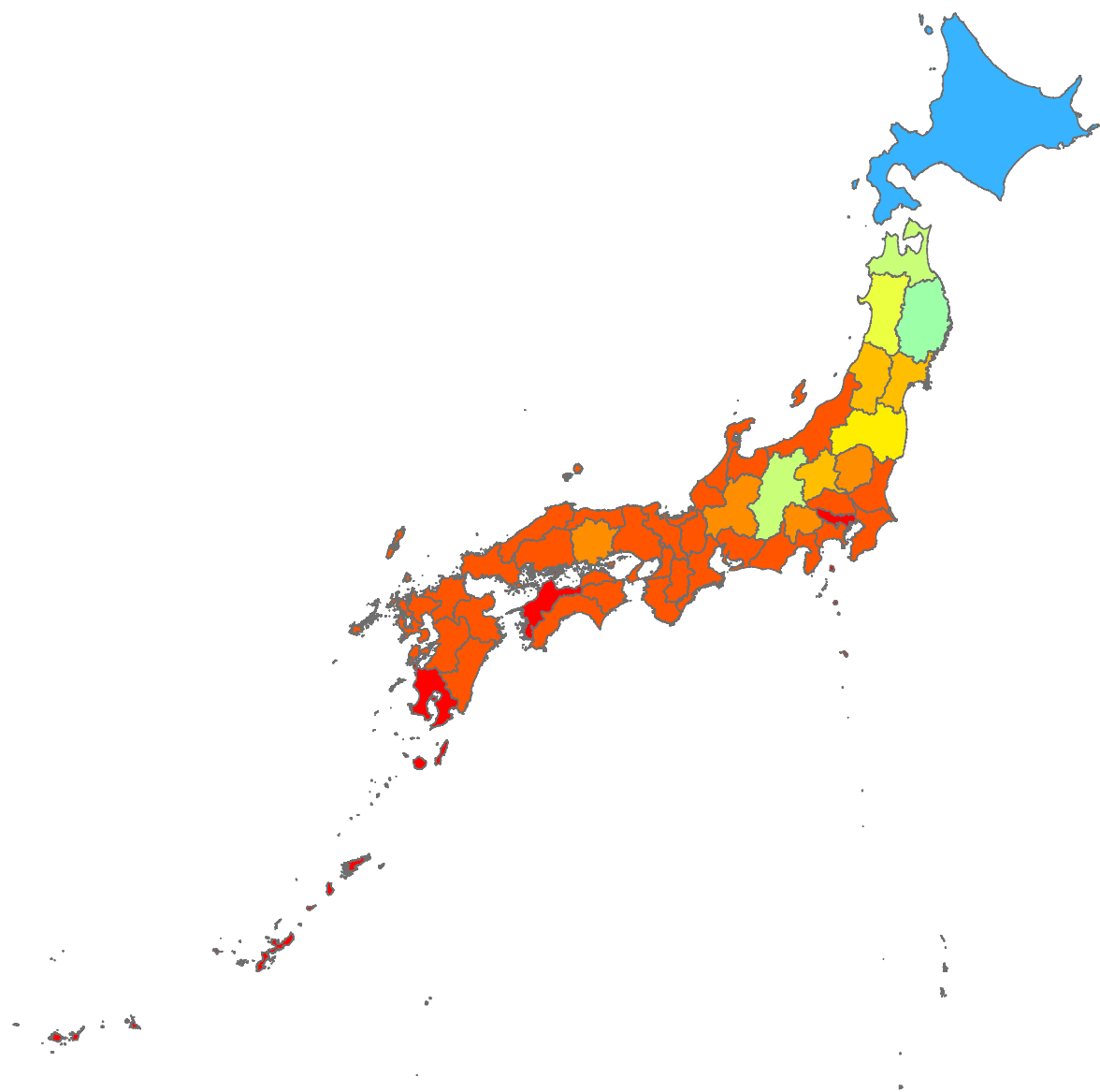


平均気温（'08年11月～'09年5月）と標高

都道府県	代表観測地点	平均気温(℃)	標高(m)
北海道	紋別	1.5	16
青森	六ヶ所	4.3	80
岩手	遠野	4.3	273
秋田	岩見三内	4.8	41
長野	立科	4.9	715
山形	小国	4.9	140
福島	船引	5.5	421
宮城	蔵王	6.2	112
群馬	中之条	6.6	354
栃木	今市	6.7	414
岐阜	萩原	7.2	425
山梨	古関	7.3	552
新潟	巻	7.7	2
石川	七尾	8.0	58
富山	砺波	8.2	69
奈良	上北山	8.2	334
岡山	福渡	8.5	63
鳥取	岩井	8.8	19
滋賀	虎姫	8.8	90
島根	津和野	8.9	165
福井	春江	9.0	5
広島	本郷	9.1	331
京都	舞鶴	9.3	2
茨城	水戸	9.3	29

都道府県	代表観測地点	平均気温(℃)	標高(m)
兵庫	三木	9.7	145
埼玉	所沢	9.7	119
徳島	穴吹	9.9	160
山口	岩国	10.0	70
愛知	岡崎	10.3	47
静岡	菊川牧ノ原	10.5	191
三重	鳥羽	10.6	2
熊本	益城	10.6	193
大分	豊後高田	10.6	5
千葉	横芝光	10.7	6
香川	引田	10.7	12
大阪	枚方	10.8	26
佐賀	川副	10.8	2
愛媛	西条	11.0	4
和歌山	川辺	11.1	84
神奈川	小田原	11.3	28
福岡	大宰府	11.4	27
高知	後免	11.6	12
長崎	石田	11.8	12
宮崎	都城	11.8	154
東京	大島北乃山	12.6	38
鹿児島	中甕	13.9	10
沖縄	安次嶺	20.6	3

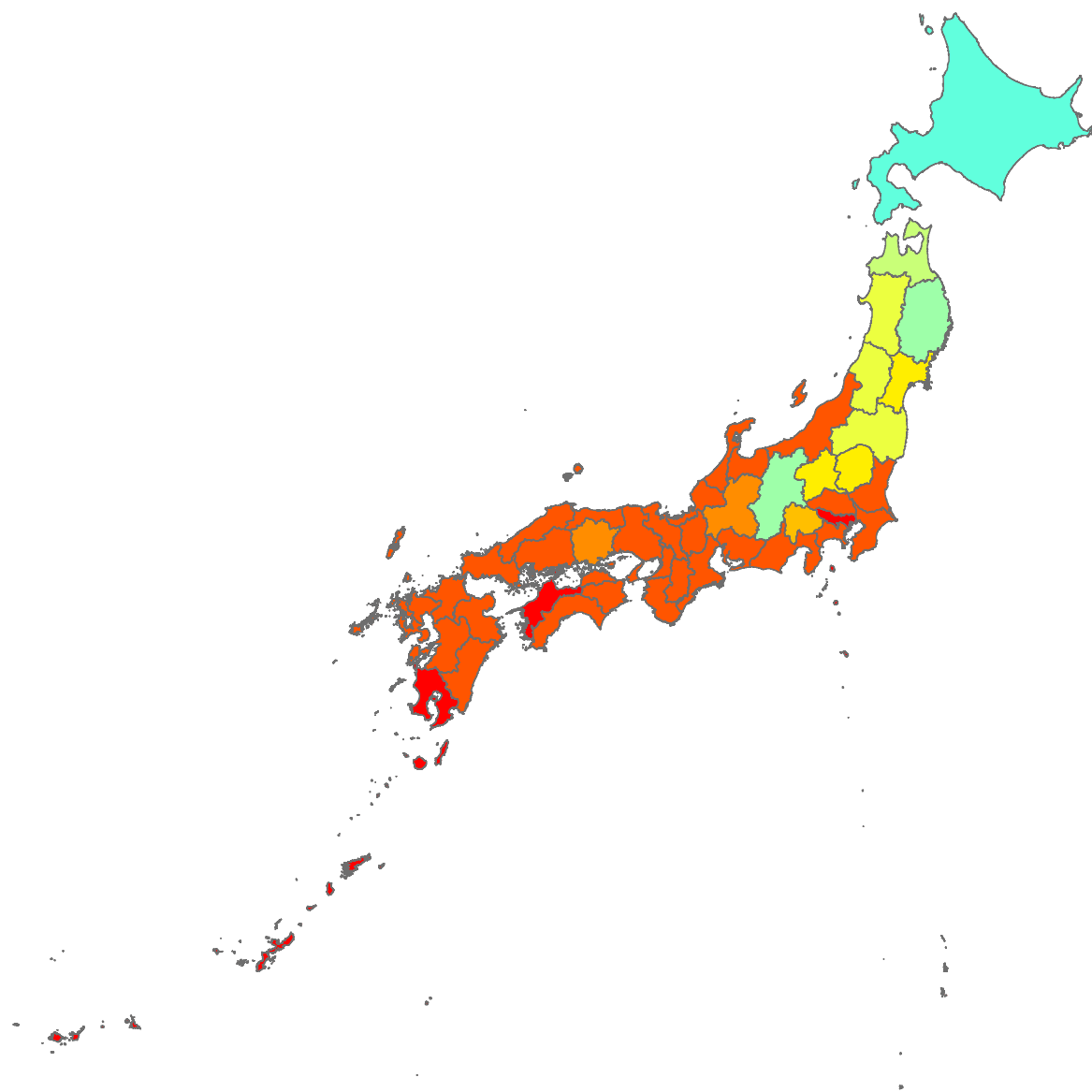
凍結融解強度指数 (勾配45°、南向き)



Freeze & thaw index [m]



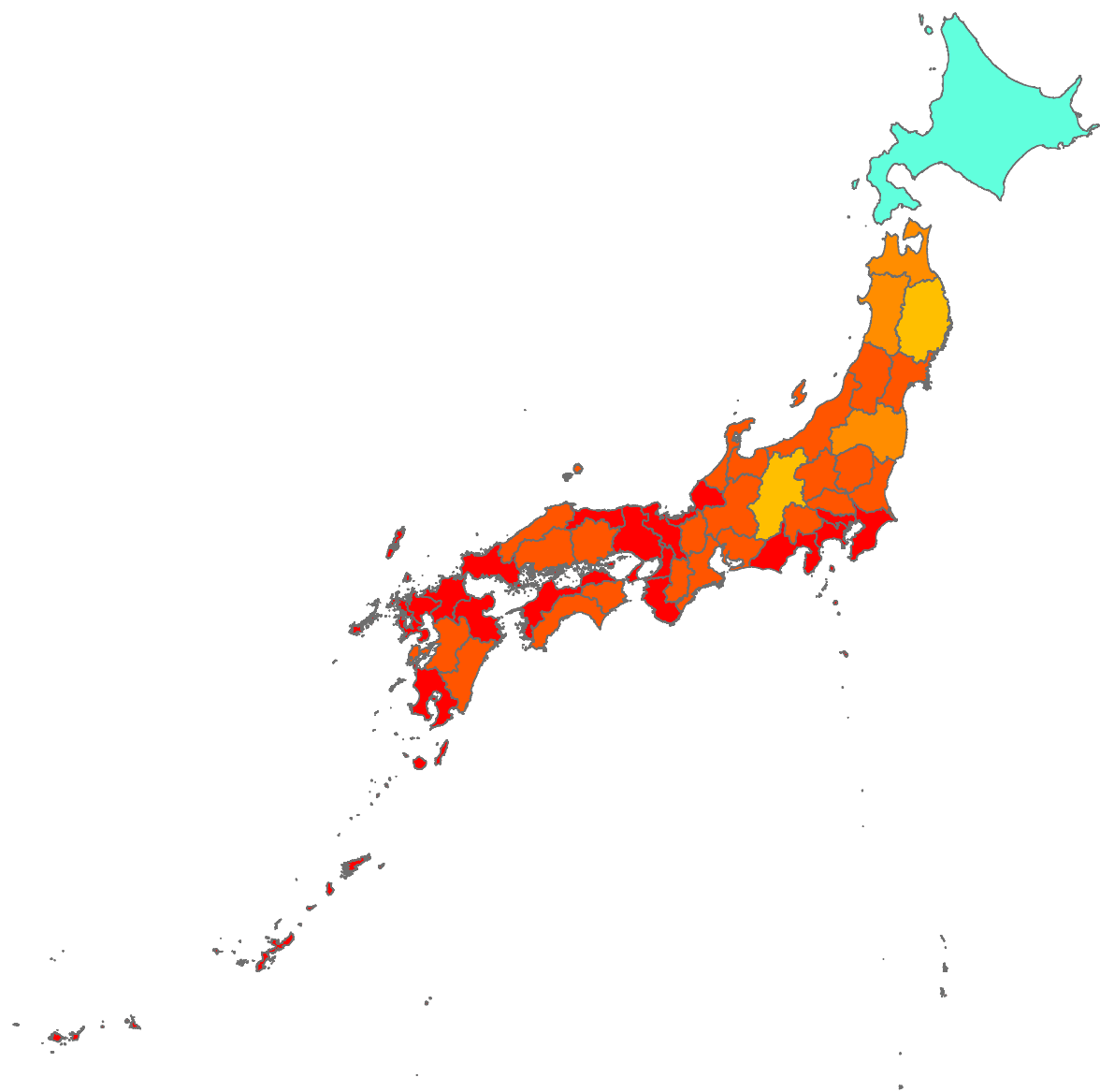
凍結融解強度指数 (勾配45°、北向き)



Freeze & thaw index [m]



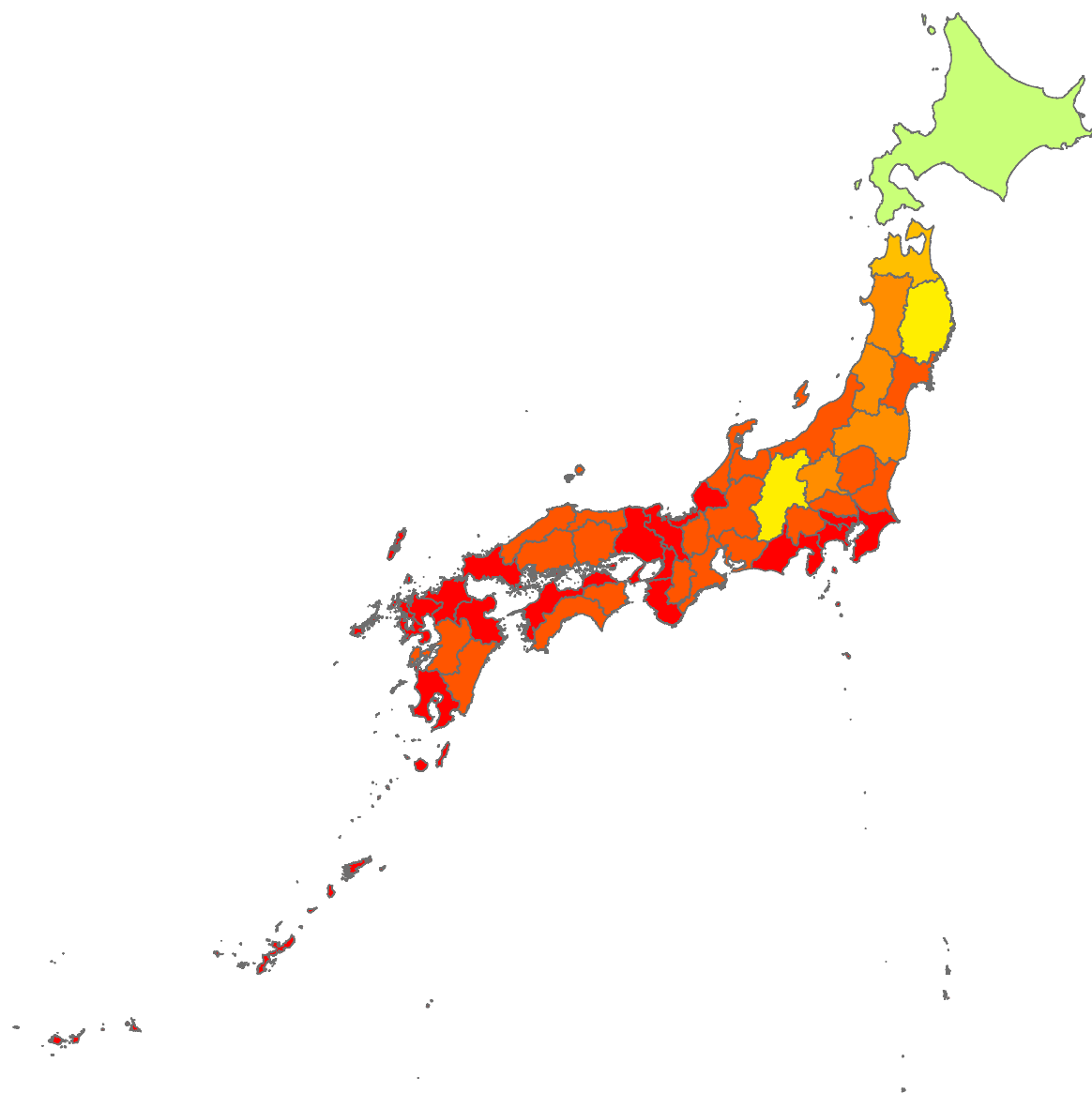
凍結融解強度指数 (気温2°C上昇、勾配45°、南向き)



Freeze & thaw index [m]



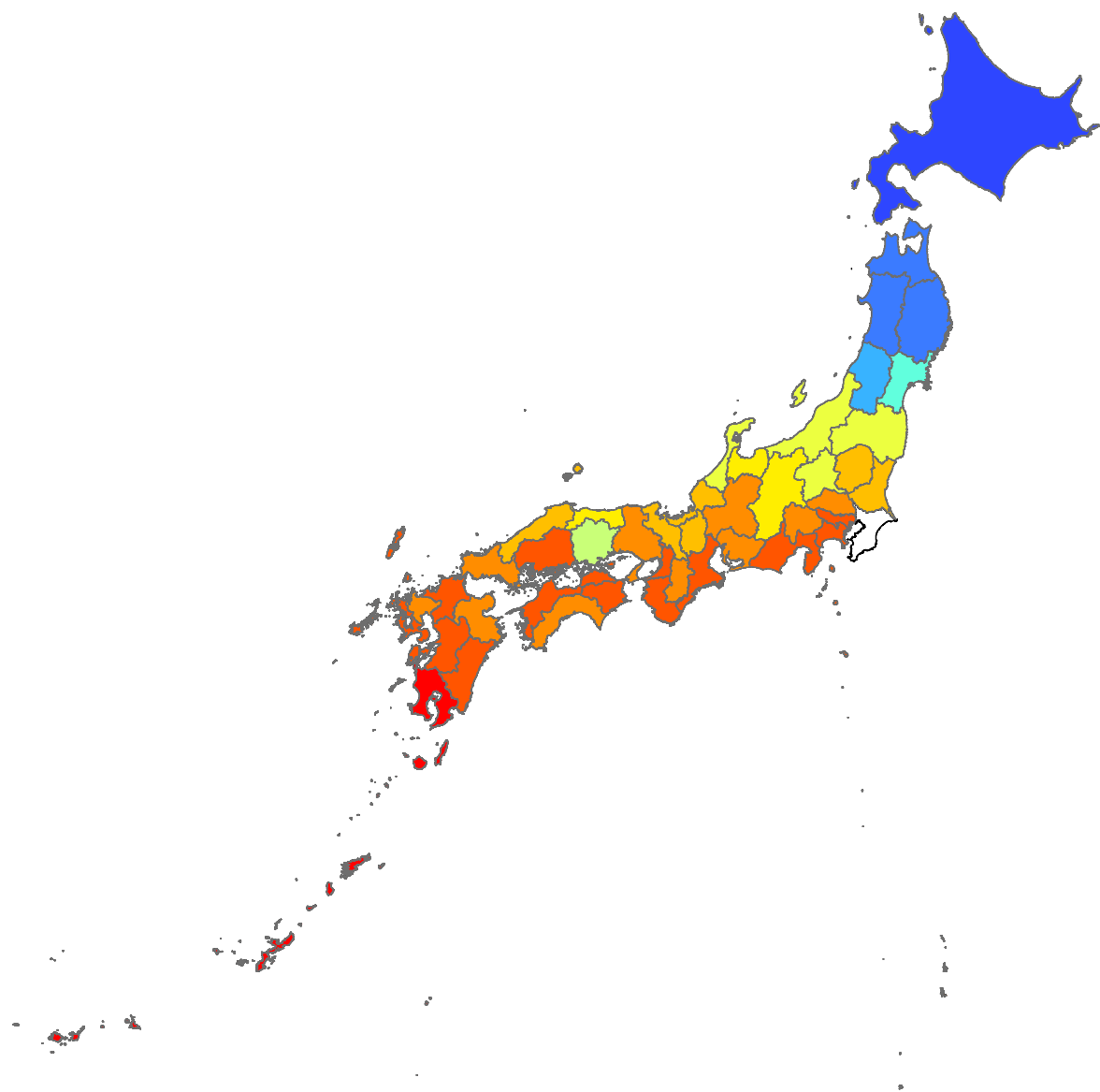
凍結融解強度指数 (気温2°C上昇、勾配45°、北向き)



Freeze & thaw index [m]



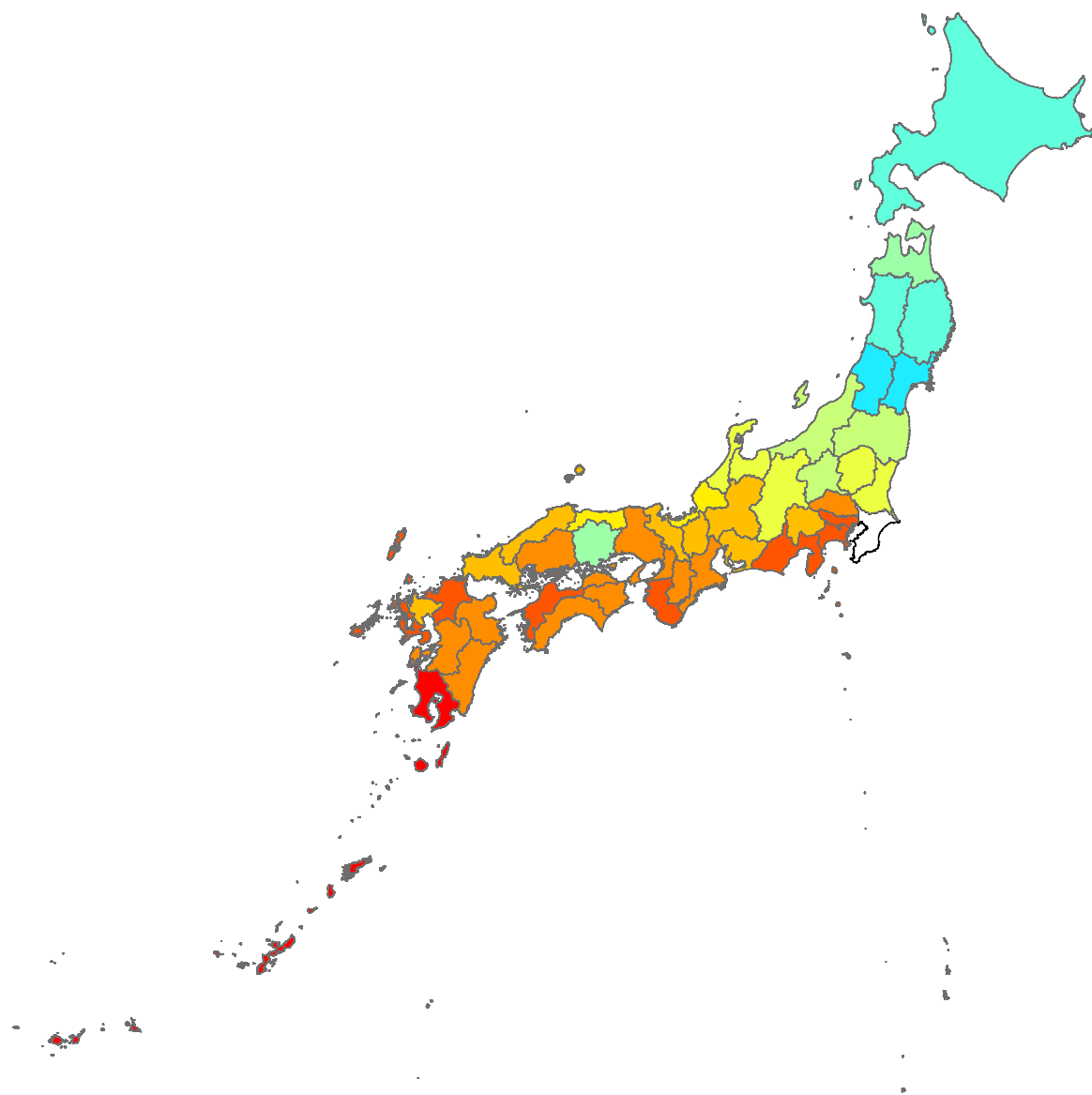
凍結融解強度指数 (500m地点、勾配45°、南向き)



Freeze & thaw index [m]



凍結融解強度指数 (500m地点、勾配45°、北向き)

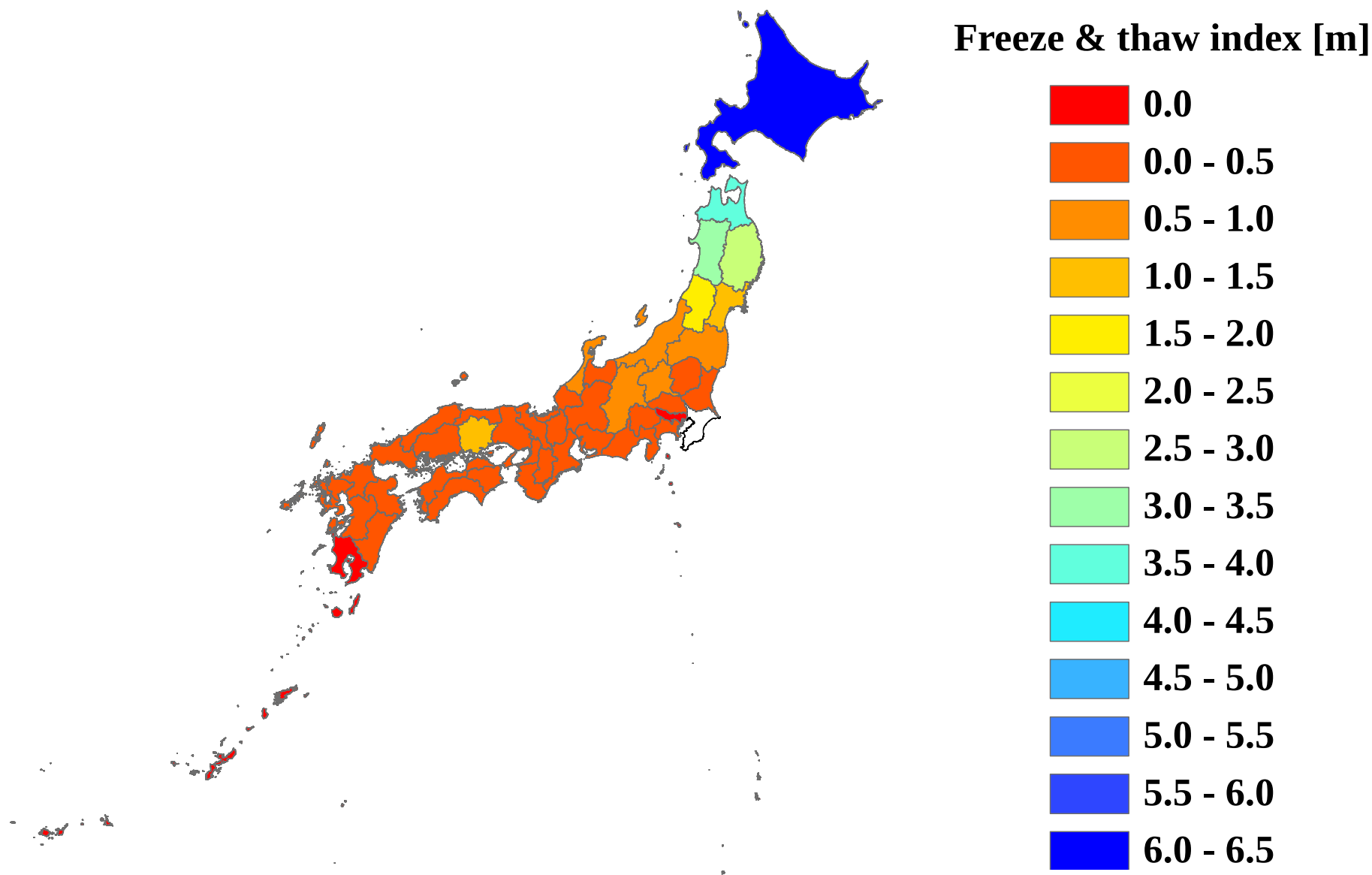


Freeze & thaw index [m]



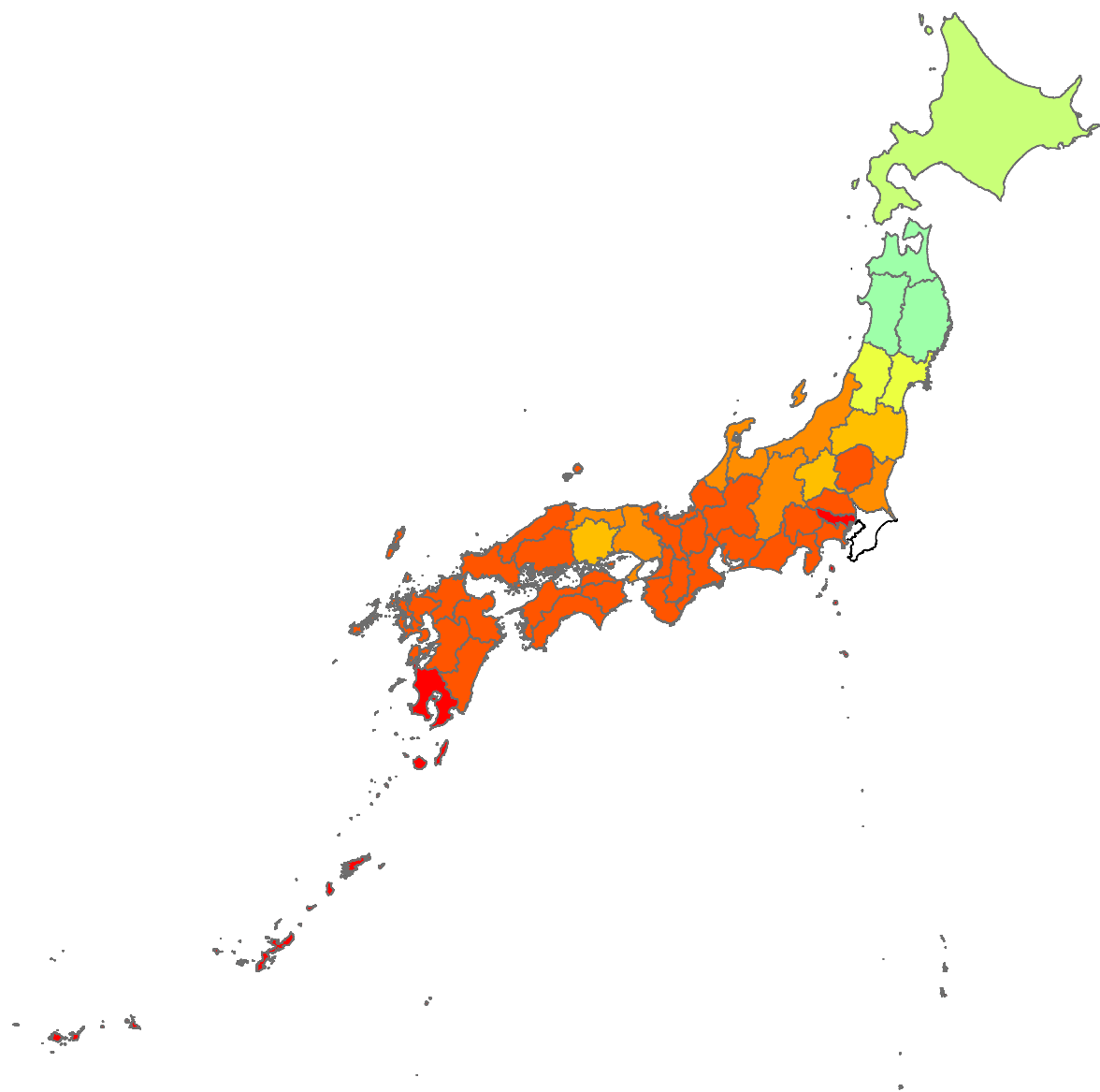
凍結融解強度指数

(気温2°C上昇、500m地点、勾配45°、南向き)



凍結融解強度指数

(気温2°C上昇、500m地点、勾配45°、北向き)



Freeze & thaw index [m]



研究メンバー

藤田正治(京都大学 防災研究所)

伊藤元洋(元京都大学大学院生, 現日本工営)

手島宏之(元京都大学大学院生, 現IHI)

泉山寛明(京都大学大学院工学研究科D1)

竹門康弘(京都大学 防災研究所)

野村理絵(元京都大学大学院生, 現日本工営)