

不飽和土構造物の安全性評価のための 浸透特性値の測定方法とモニタリング方法の開発

岡山大学大学院環境生命科学研究科

竹下祐二

土構造物の浸透に対する安全性評価

➡ 土中水分動態の計測 & 浸透特性値の推定

① 【Field scale】 地表設置型地中レーダ探査

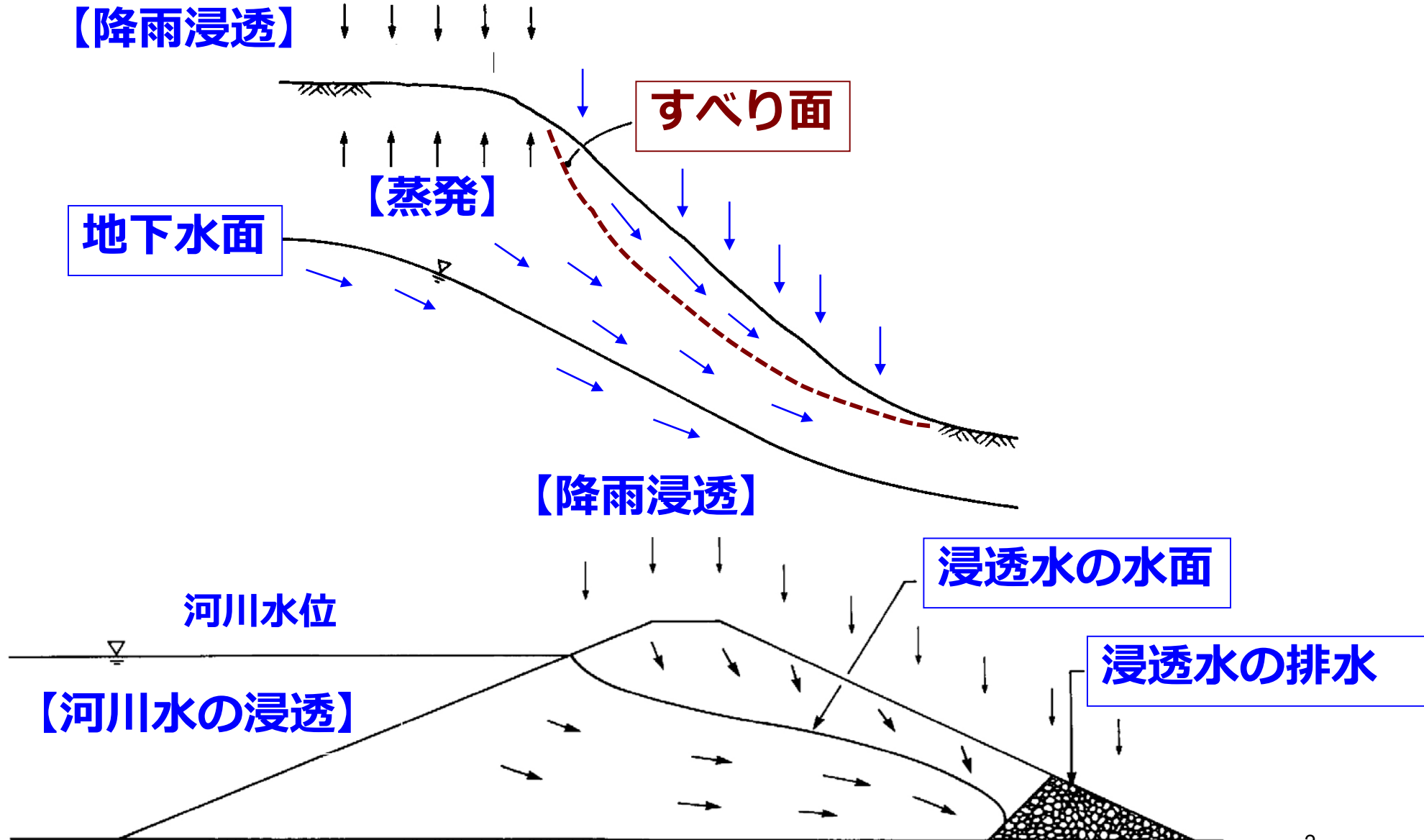
➡ 土の誘電率分布を繰り返し非破壊で測定

② 【Local scale】 複数本の挿入型土中水分計

➡ 土中水分量分布の変動を長期間連続計測

防災上重要な土構造物 → 浸透に対する安全性評価

Fredlund & Rahardjo : Soil mechanics for unsaturated soil (1993)に加筆

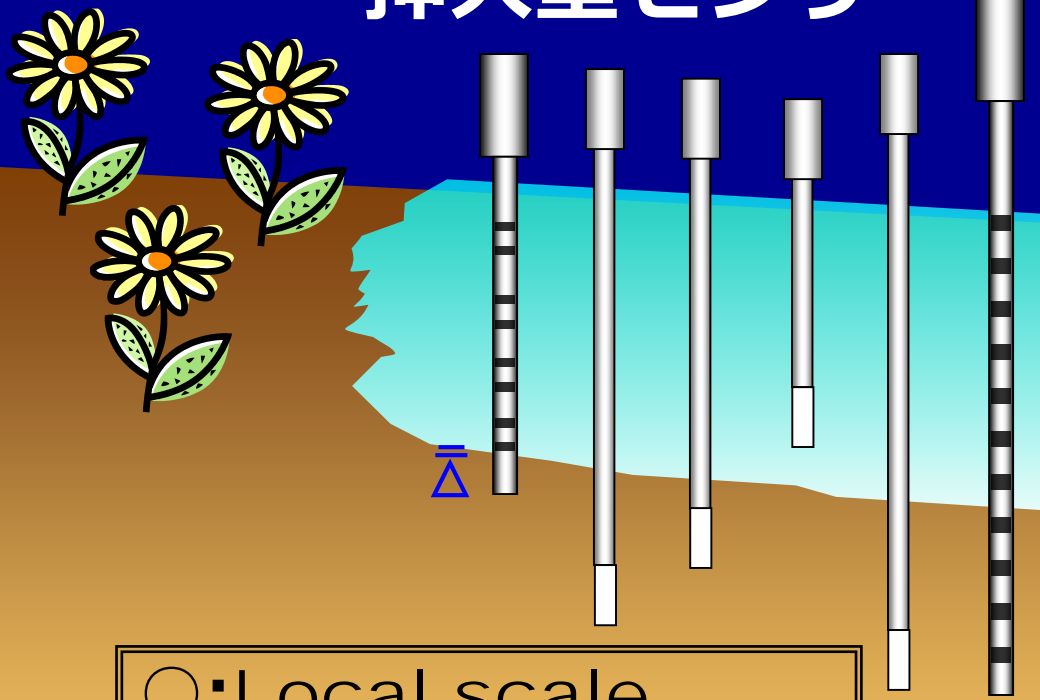


Motivation

不飽和浸透挙動の計測



挿入型センサー



地表設置型 地中レーダ

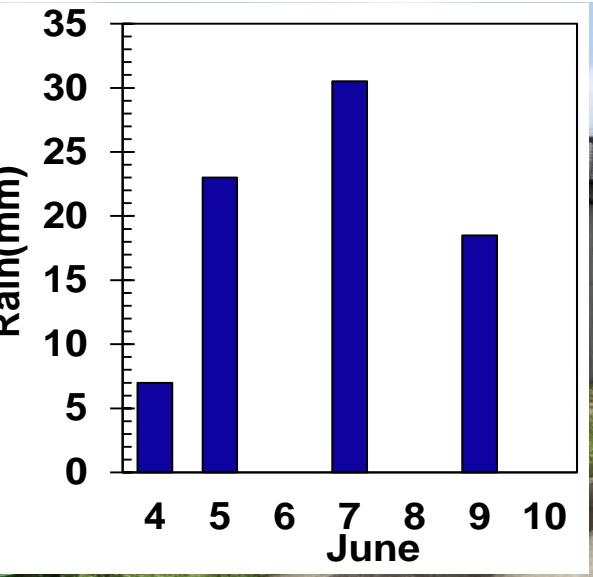


- : Local scale
- : 連続計測 (長期間)
- △: 地盤内に挿入設置
- △: 大量データの処理

- : Field scale
- : 単一計測 (迅速)
- : 地表面から非破壊計測
- △: 画像データの解釈

河川堤防の安全性照査：浸透現象

高梁川4 k 900 右岸堤防 【2016.6.10撮影】



堤防表層における浸透挙動（特性値）の評価

A. 外力の前後での*Snapshot*【Field scale】

地中レーダ探査：地表面から非破壊測定

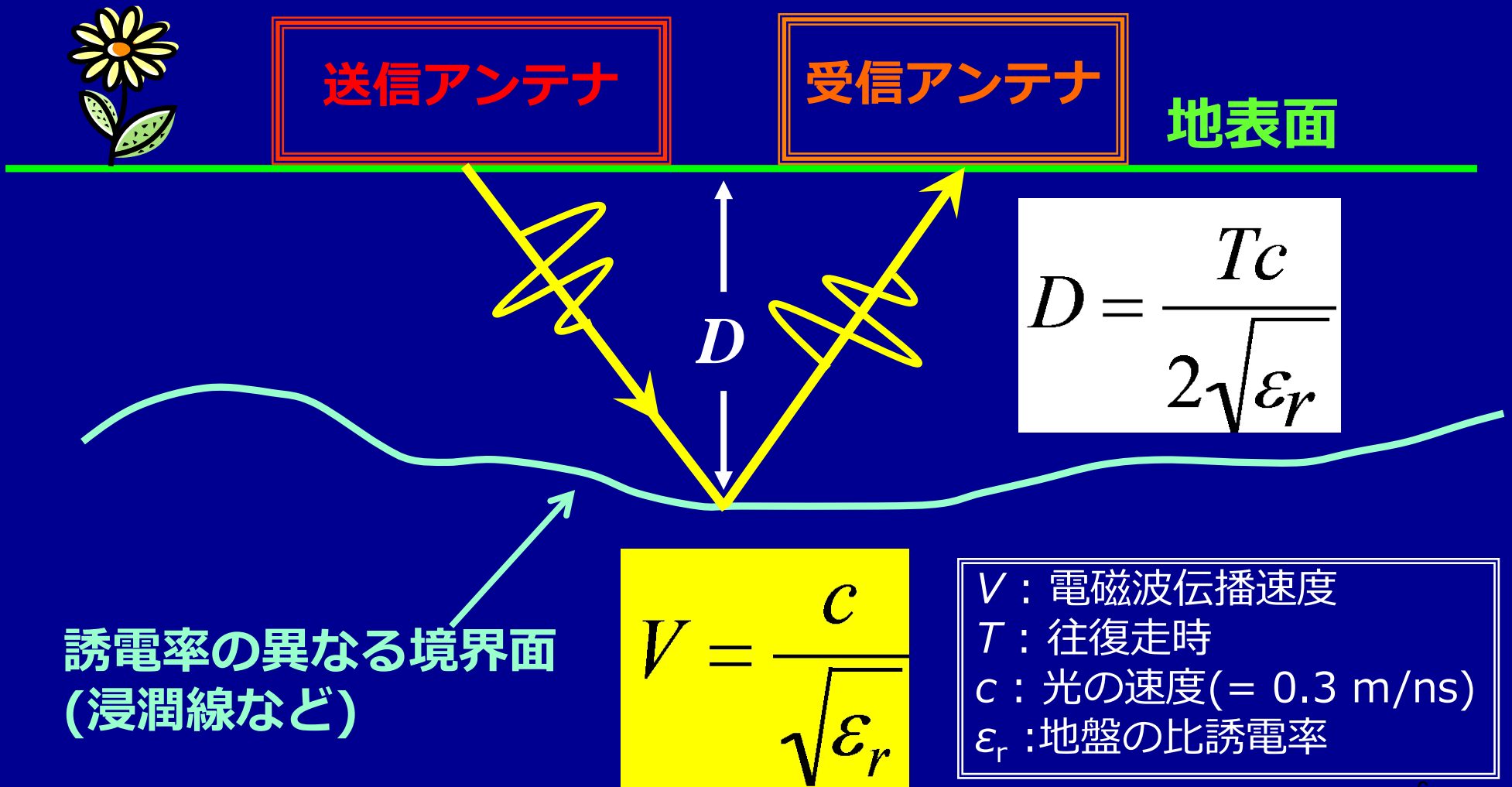
同じ測線上で繰り返し計測 → 変動状態を評価

B. 長期間の連続計測【Local scale】

挿入型センサー：多地点（深度）で測定

Profile & Transient → 長期間の土中水分動態
関数モデルの推定

地中レーダによるプロファイル測定

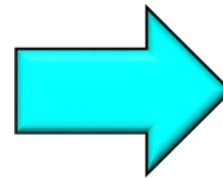
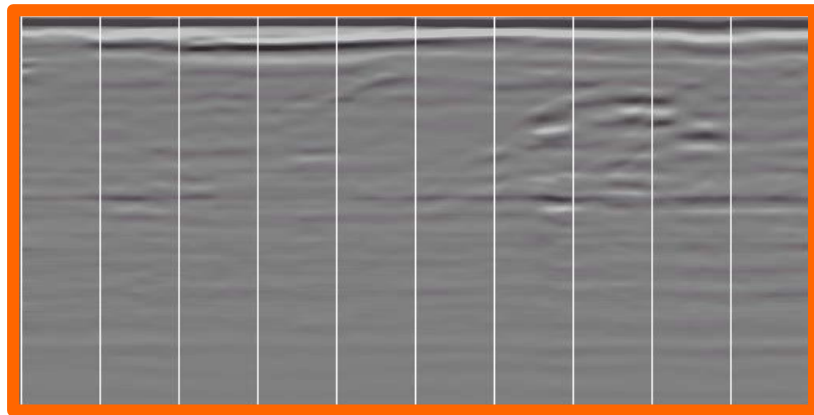


A. 地中レーダ探査を同一測線上で繰り返し実施する

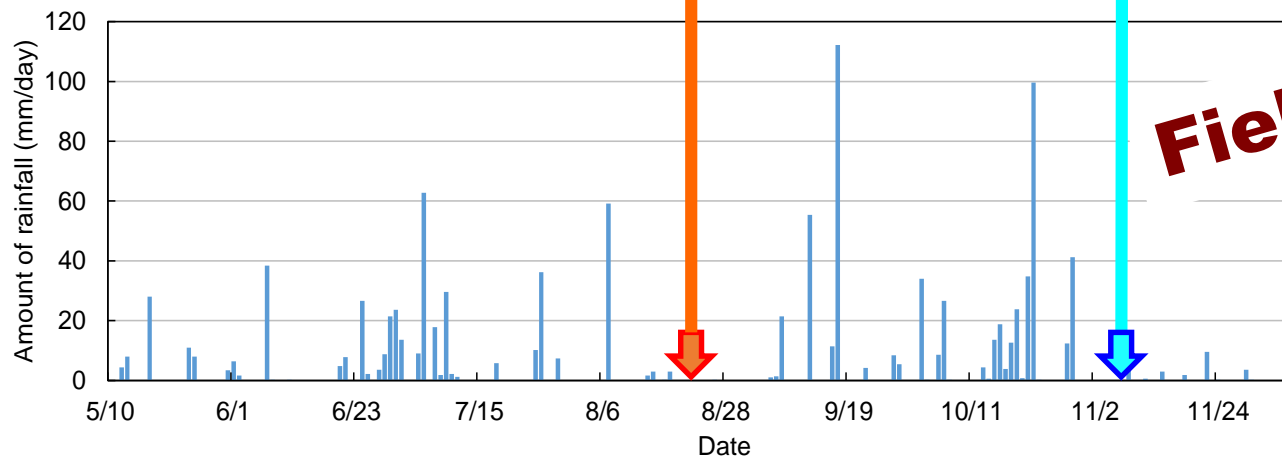
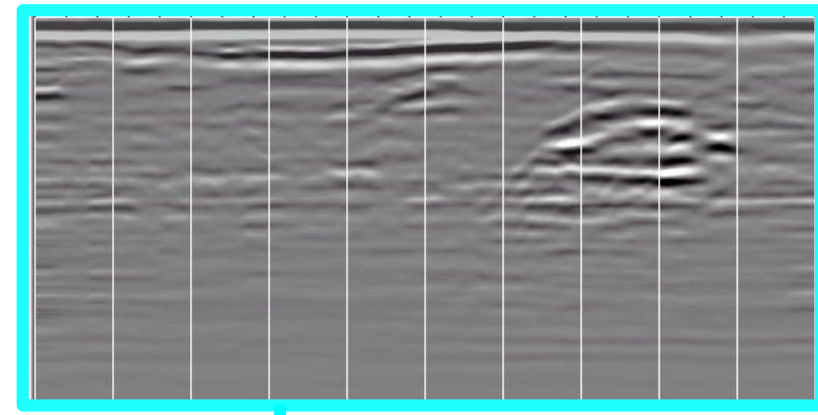
降雨や出水の前後で堤防内の*Snapshot*を非破壊測定

浸透に対する変化（特徴）を抽出する

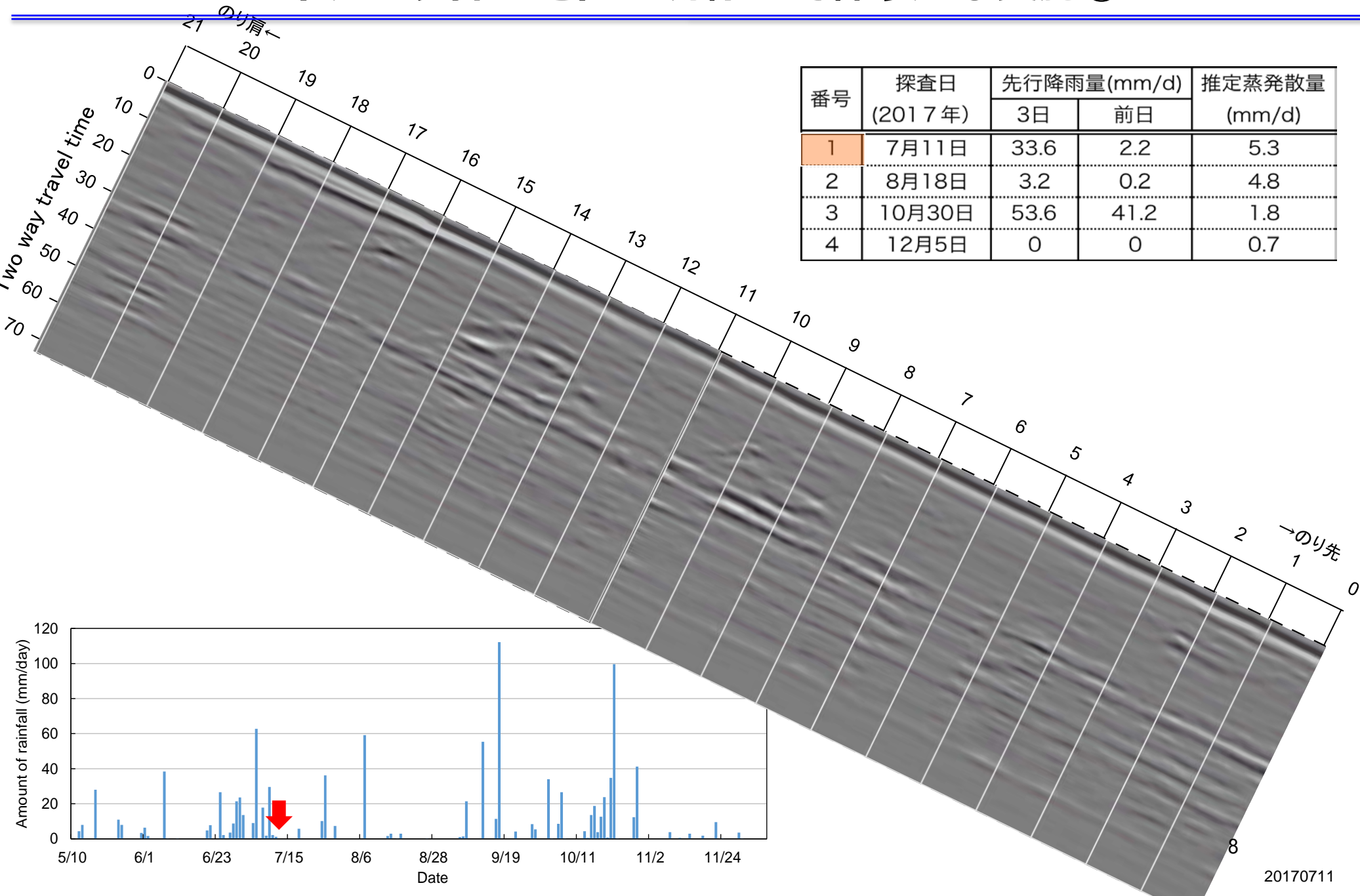
Before



After

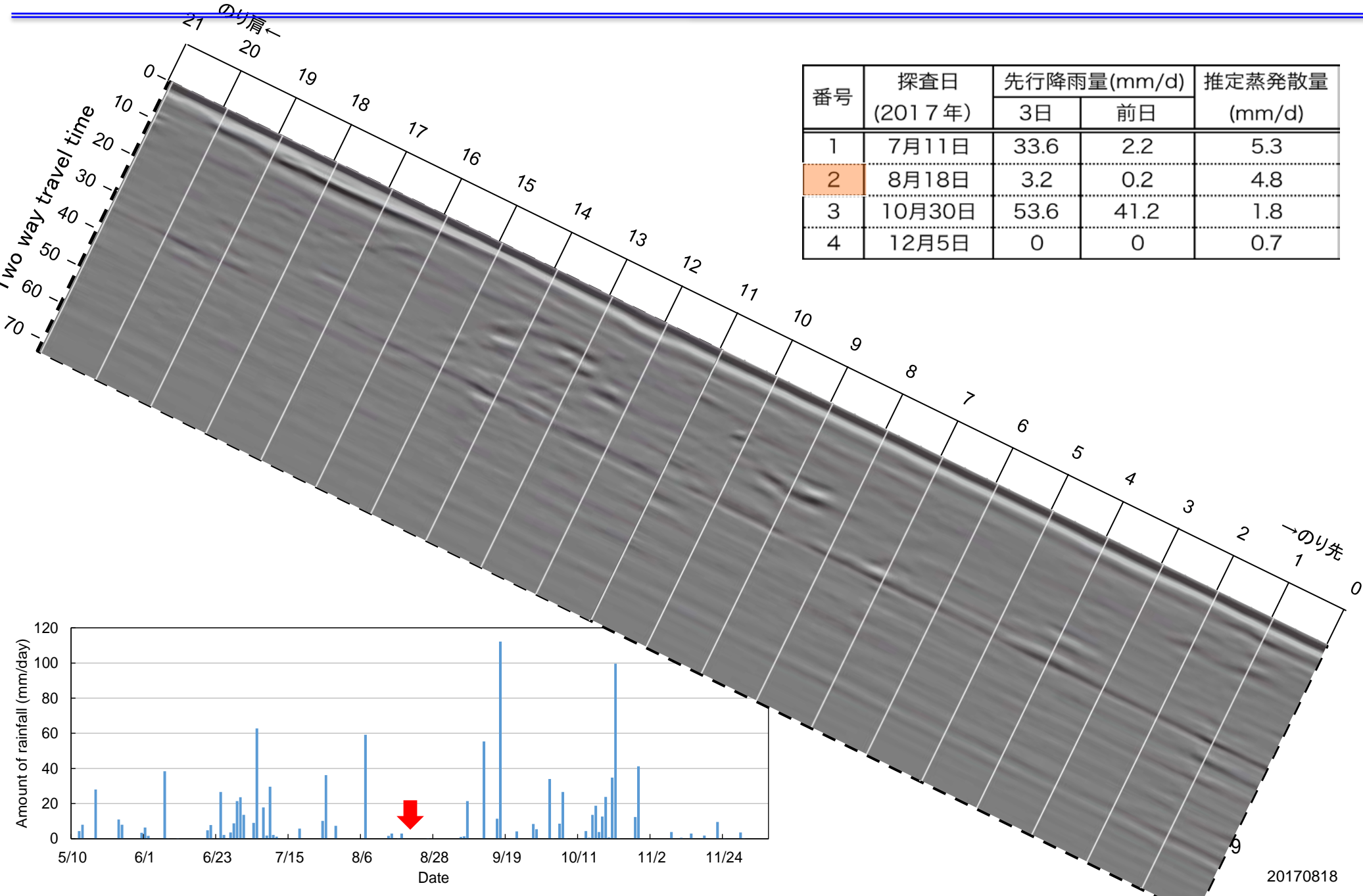


地中レーダ探査を同一測線上で繰り返し実施①

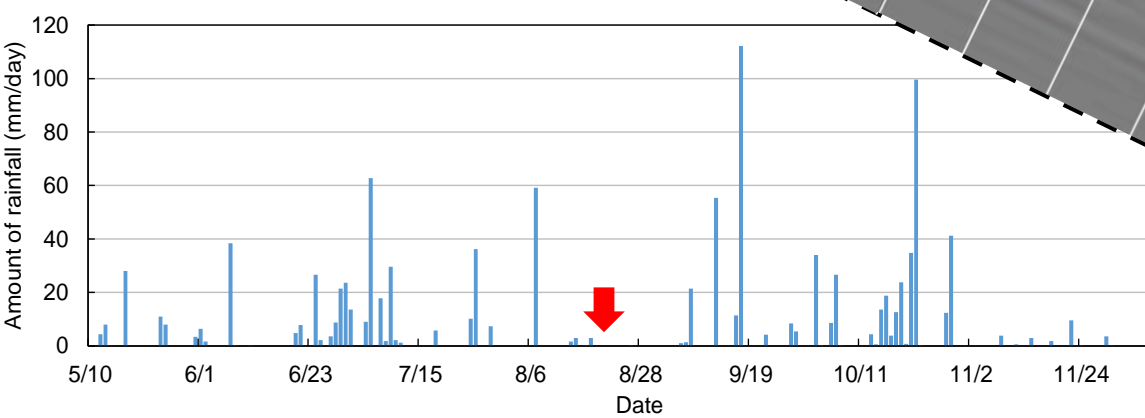


番号	探査日 (2017年)	先行降雨量(mm/d)		推定蒸発散量 (mm/d)
		3日	前日	
1	7月11日	33.6	2.2	5.3
2	8月18日	3.2	0.2	4.8
3	10月30日	53.6	41.2	1.8
4	12月5日	0	0	0.7

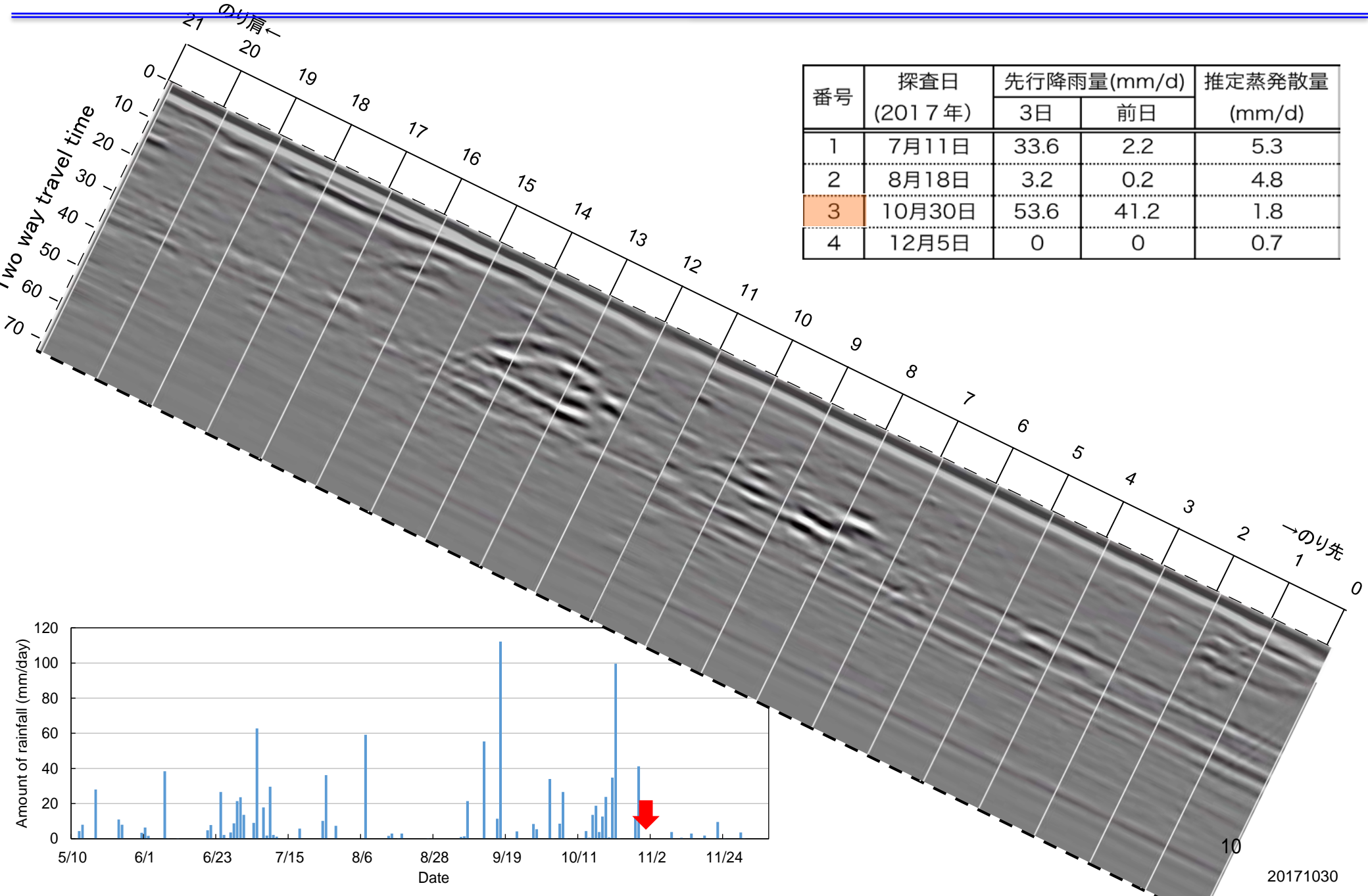
地中レーダ探査を同一測線上で繰り返し実施②



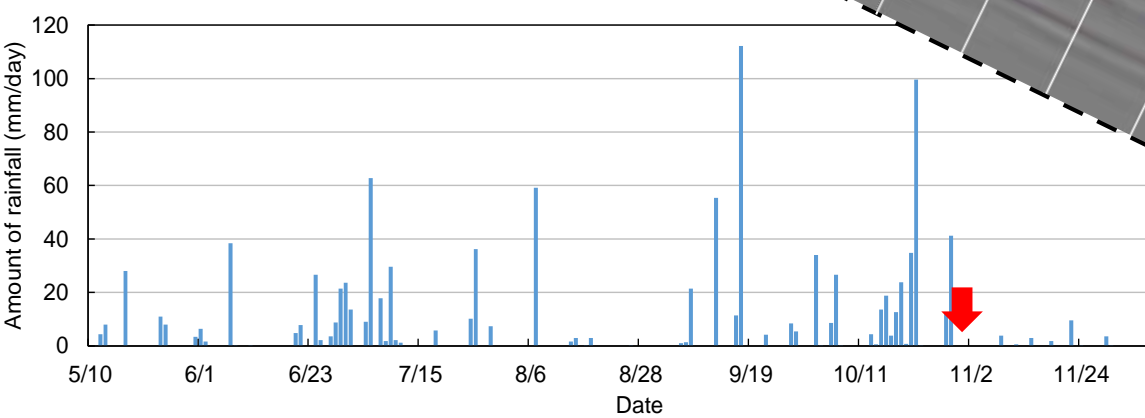
番号	探査日 (2017年)	先行降雨量(mm/d)		推定蒸発散量 (mm/d)
		3日	前日	
1	7月11日	33.6	2.2	5.3
2	8月18日	3.2	0.2	4.8
3	10月30日	53.6	41.2	1.8
4	12月5日	0	0	0.7



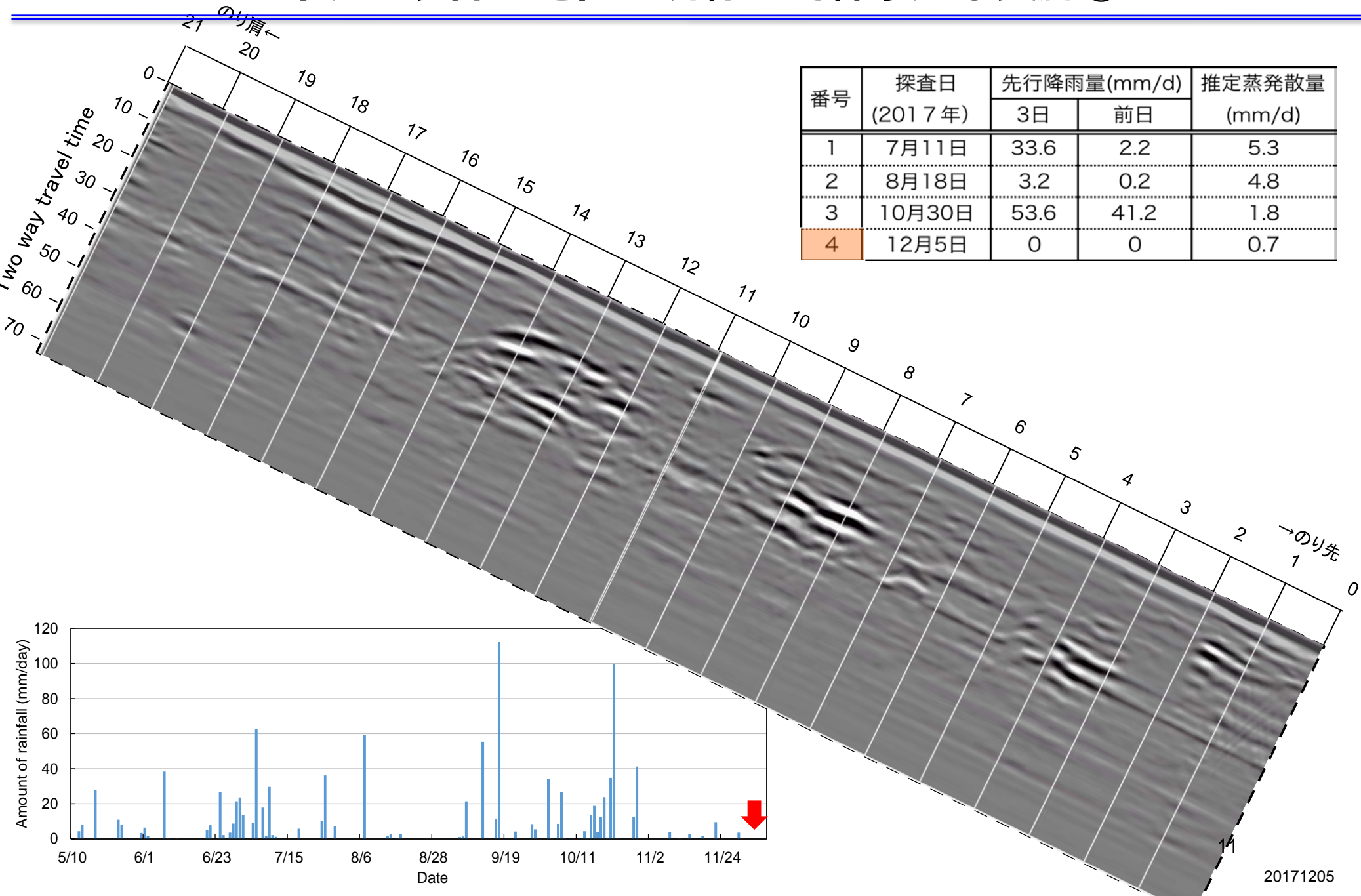
地中レーダ探査を同一測線上で繰り返し実施③



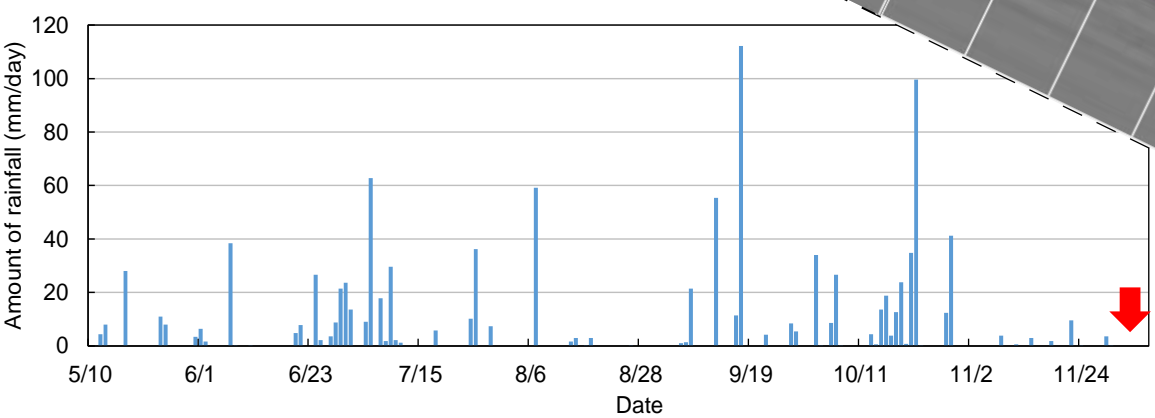
番号	探査日 (2017年)	先行降雨量(mm/d)		推定蒸発散量 (mm/d)
		3日	前日	
1	7月11日	33.6	2.2	5.3
2	8月18日	3.2	0.2	4.8
3	10月30日	53.6	41.2	1.8
4	12月5日	0	0	0.7



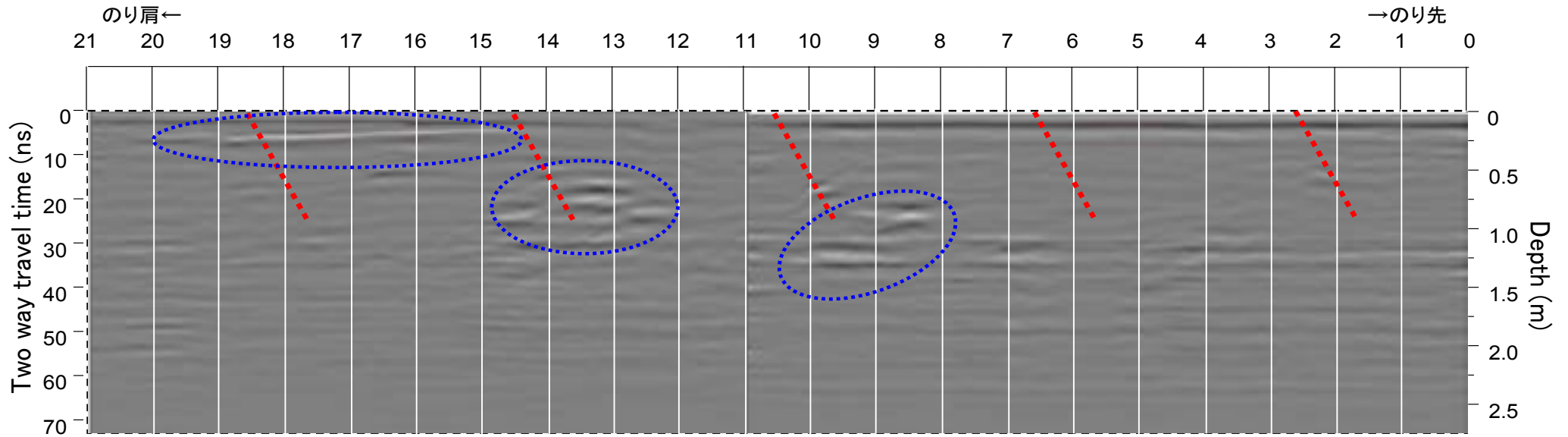
地中レーダ探査を同一測線上で繰り返し実施④



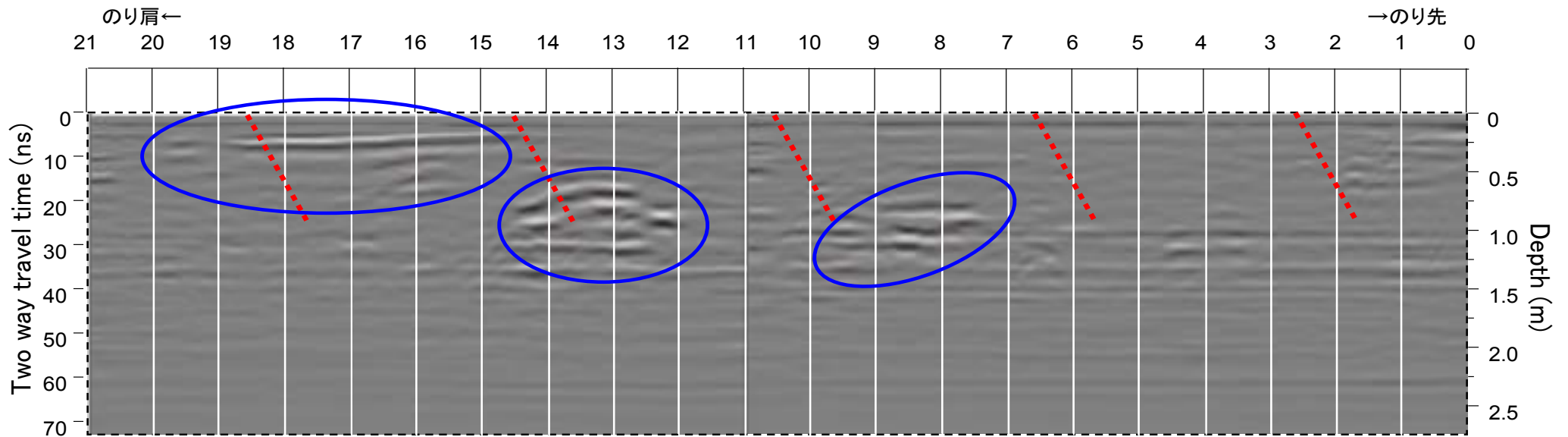
番号	探査日 (2017年)	先行降雨量(mm/d)		推定蒸発散量 (mm/d)
		3日	前日	
1	7月11日	33.6	2.2	5.3
2	8月18日	3.2	0.2	4.8
3	10月30日	53.6	41.2	1.8
4	12月5日	0	0	0.7



反射電磁波の差分断面図



a) 探査①—探査②



b) 探査③—探査②

堤防表層における浸透挙動（特性値）の評価

A. 外力の前後での*Snapshot*【Field scale】

物理探査：非破壊測定

同一測線上で繰り返し計測 ➡ 変動量の評価

B. 長期間の連続計測【Local scale】

挿入型センサー：多地点（深度）で測定

Profile & Transient ➡ 長期間の土中水分動態
関数モデルの推定

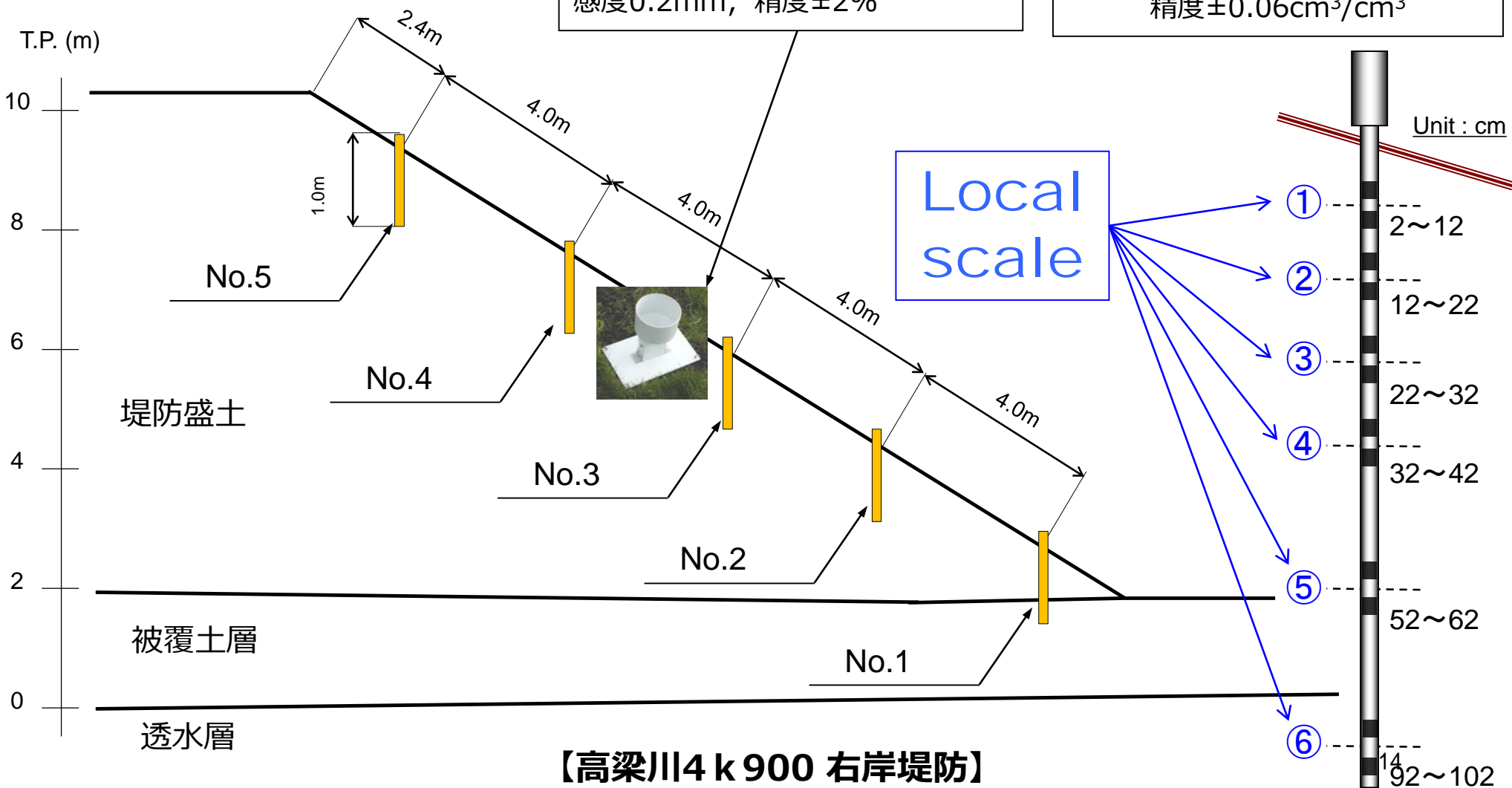
B. 堤防のり面の土中水分量を多地点（深度）で計測する

簡易型転倒降雨量計

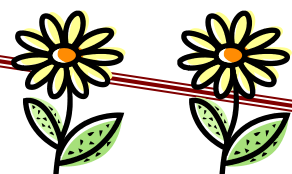
最大計測雨量2.4mm/分,
感度0.2mm, 精度±2%

挿入型土中水分計

Profile Probe PR2/6
精度±0.06cm³/cm³



浸透特性値の原位置測定



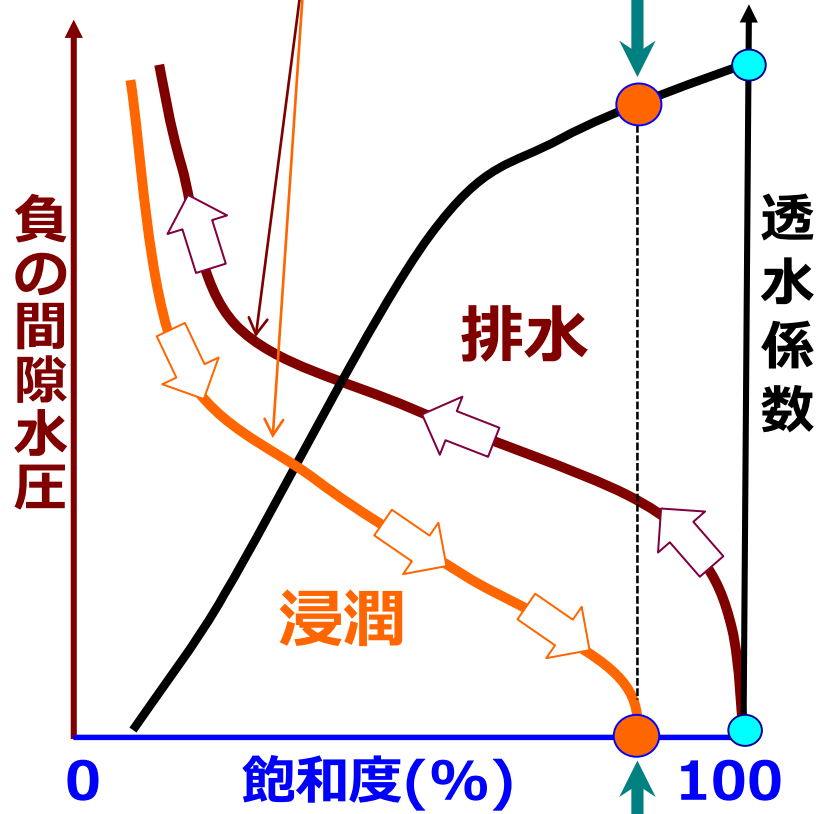
非線形性が極めて強く

直接的な計測は容易でない

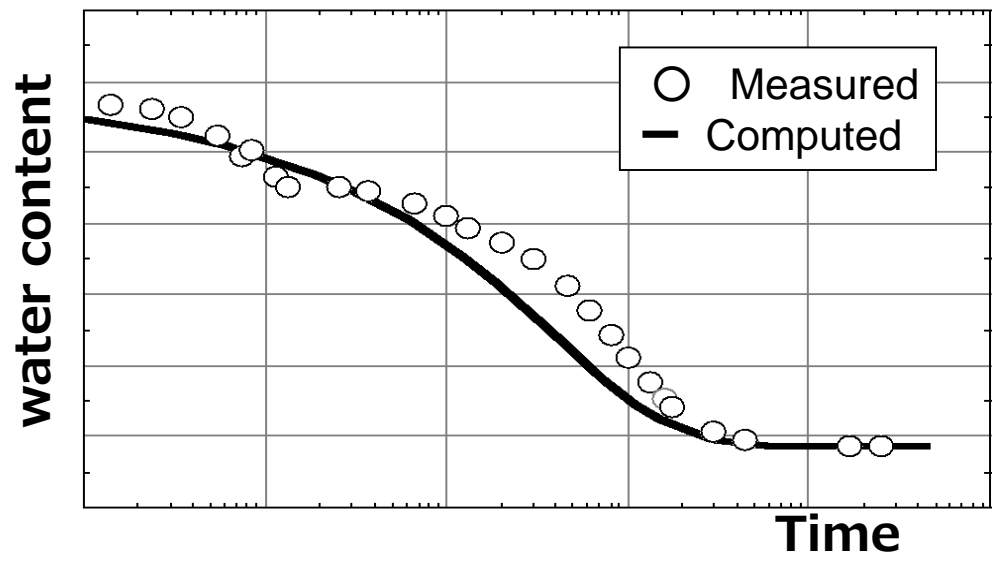


水分特性曲線

現場飽和透水係数



現場飽和状態



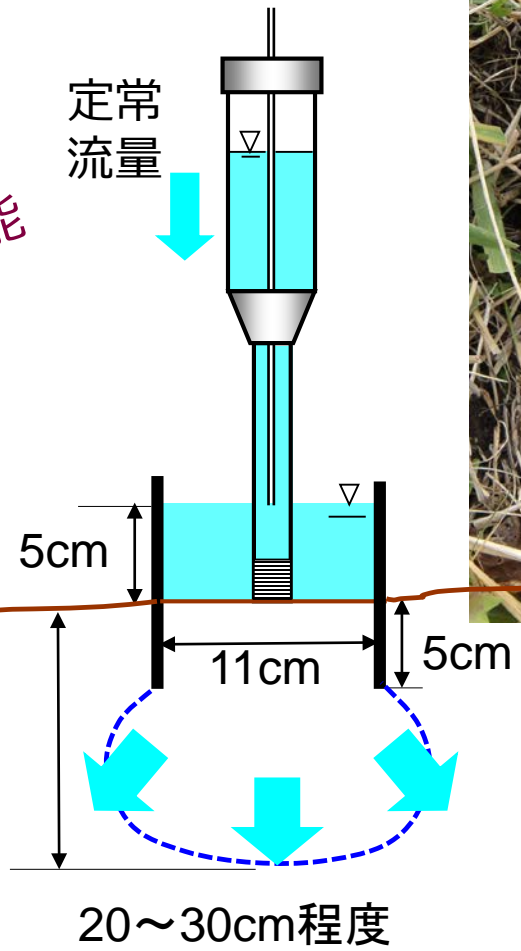
数値解析で計測データを再現できる
浸透特性値のモデルを同定する



傾斜地でも可能



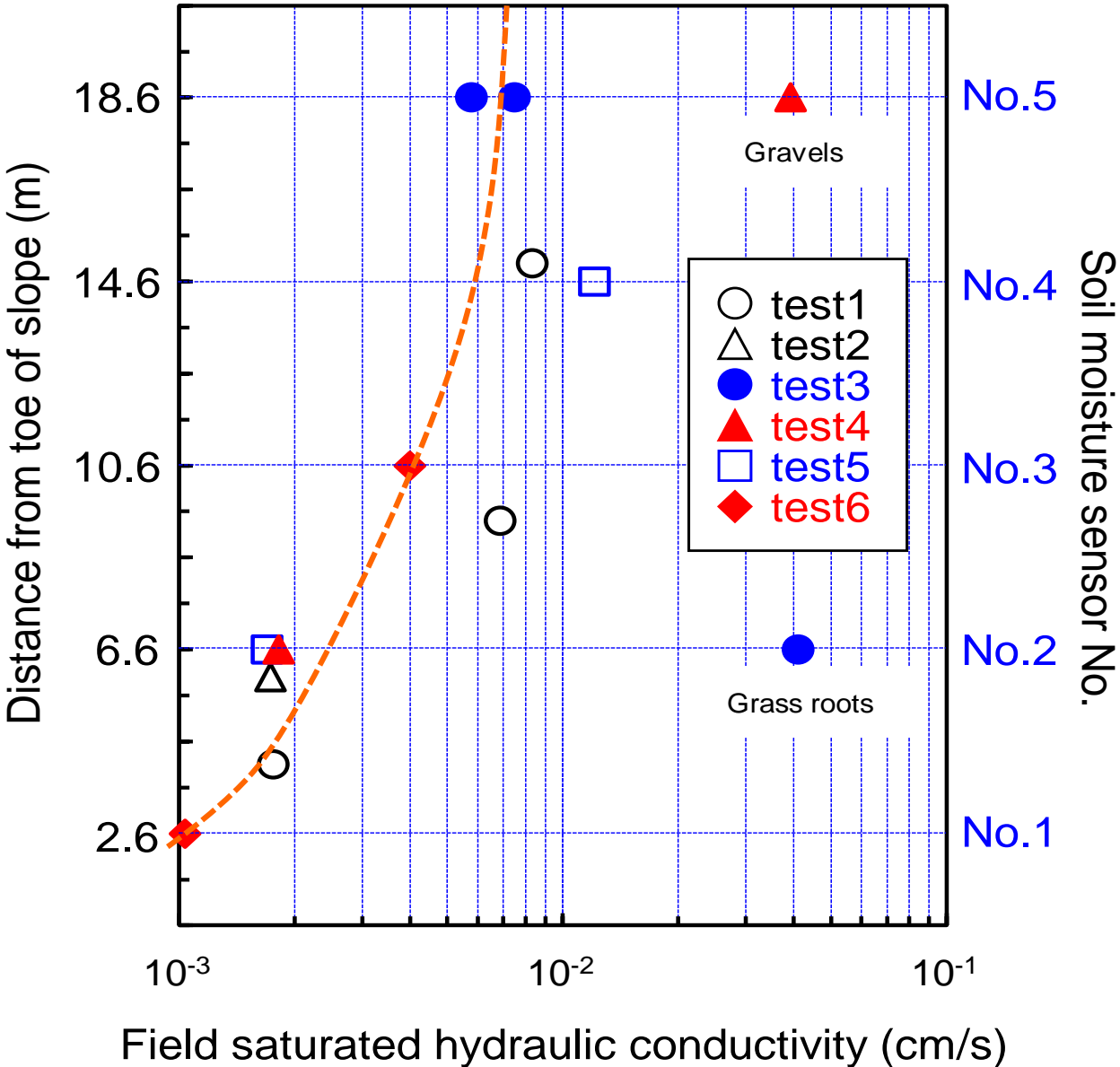
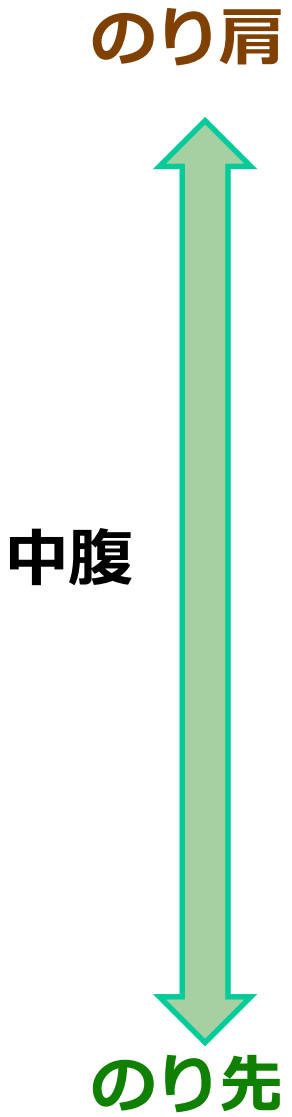
植生を考慮



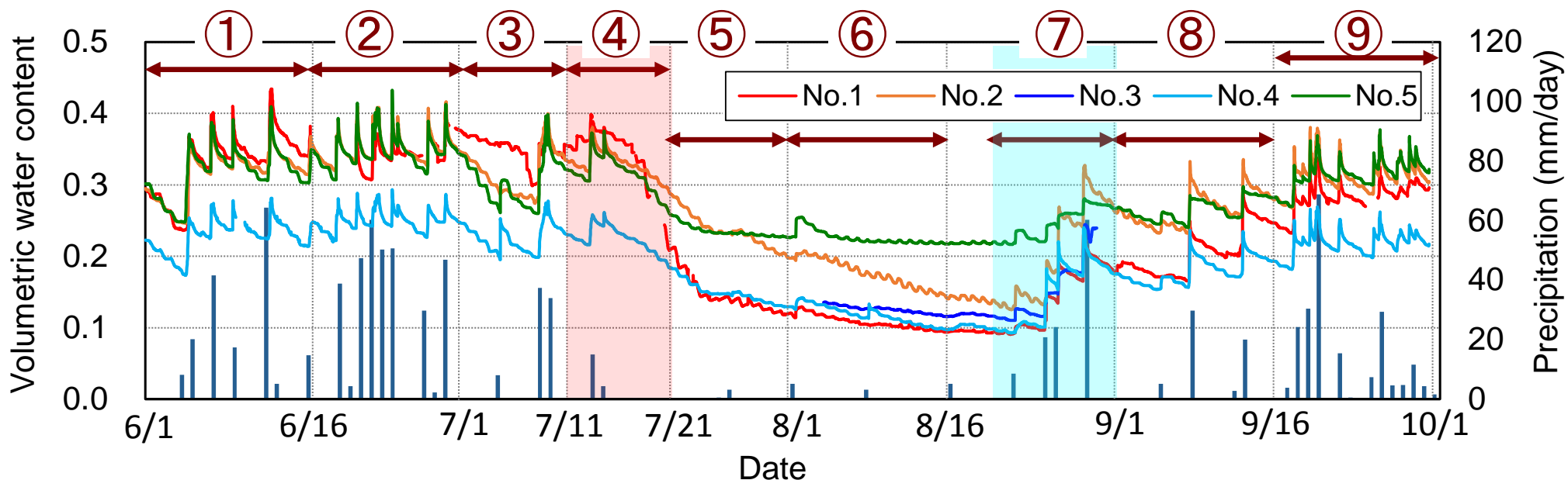
Guelph Pressure Infiltrometer (Reynolds & Elrick, 1990)

現場飽和透水係数の
平面分布を測定する

表層部分で計測された現場飽和透水係の分布



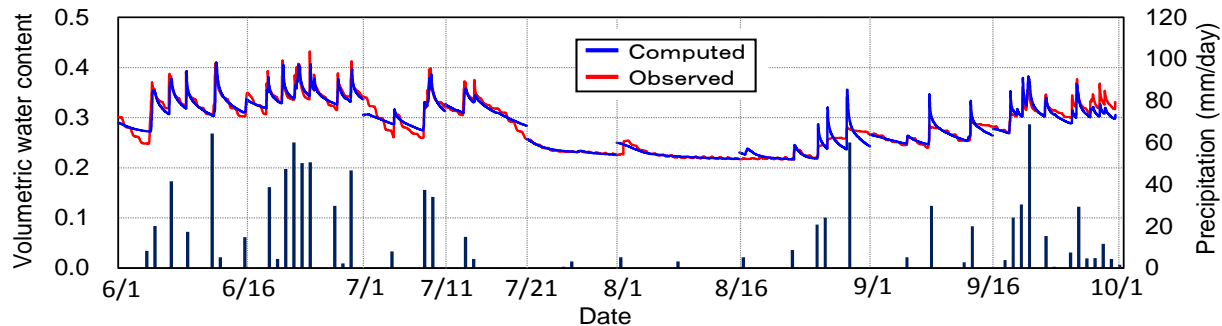
No.	期間	降水量 (mm)	降雨状況	地表面状態
①	6/1-6/16	171.8	集中的な降雨	湿潤
②	6/17-6/30	330.6	集中的な降雨	湿潤
③	7/1-7/10	79.6	中位な降雨	湿潤と蒸発散
④	7/11-7/20	20.0	少ない降雨	湿潤→蒸発散
⑤	7/21-7/31	7.2	ほぼ降雨なし	蒸発散
⑥	8/1-8/15	8.4	ほぼ降雨なし	蒸発散
⑦	8/20-8/31	115.7	集中的な降雨	蒸発散→湿潤
⑧	9/1-9/15	58.2	中位な降雨 (台風12号)	湿潤と蒸発散
⑨	9/16-9/30	204.5	集中的な降雨 (台風16号)	湿潤



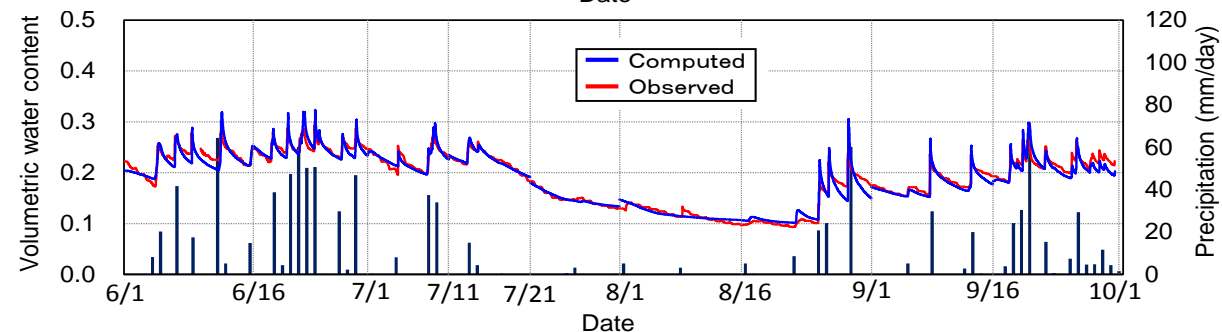
土中水分量の変動期間の選定 (計測深度7cm; 2016年6月~9月)

数値解析による土中水分量変動（計測深度7cm）の再現

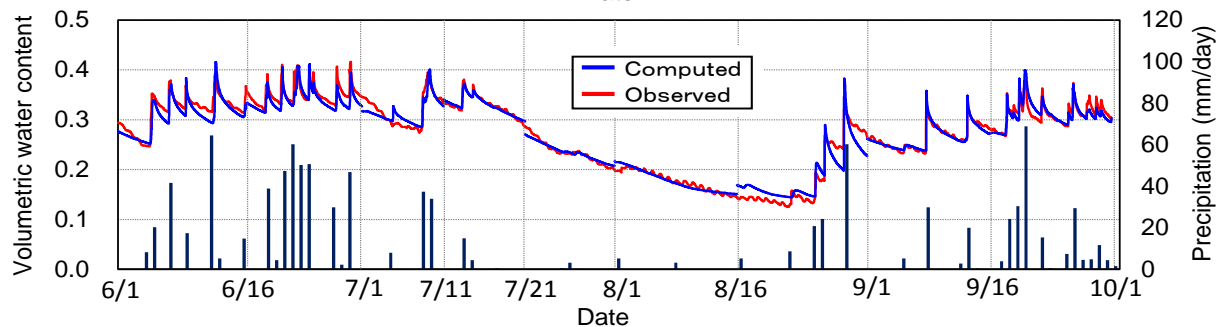
No.5（のり肩）



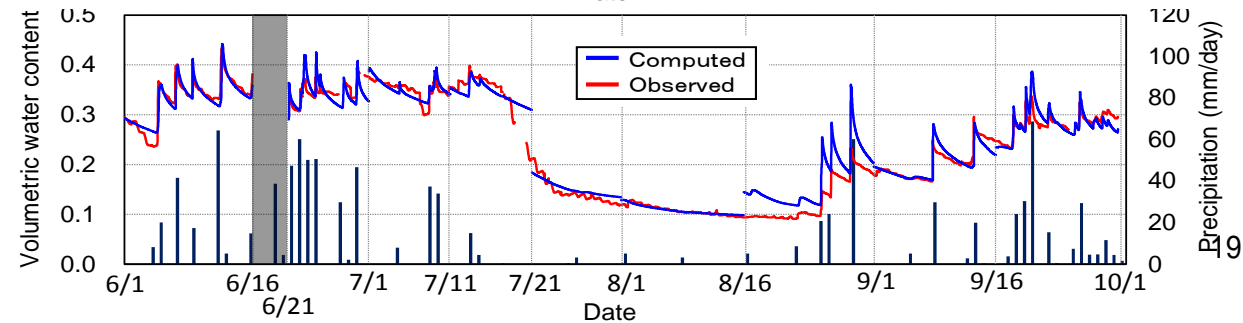
No.4（のり肩）

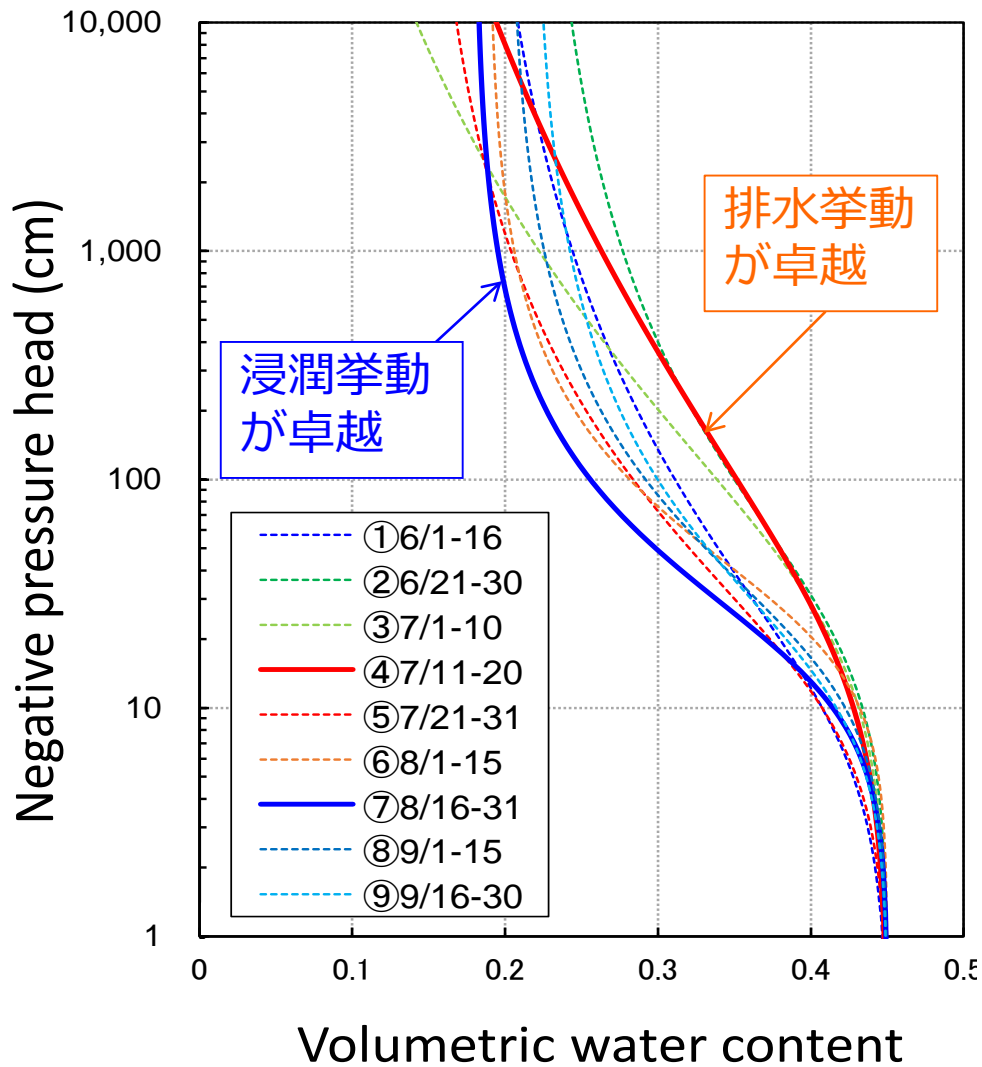


No.2（のり先）

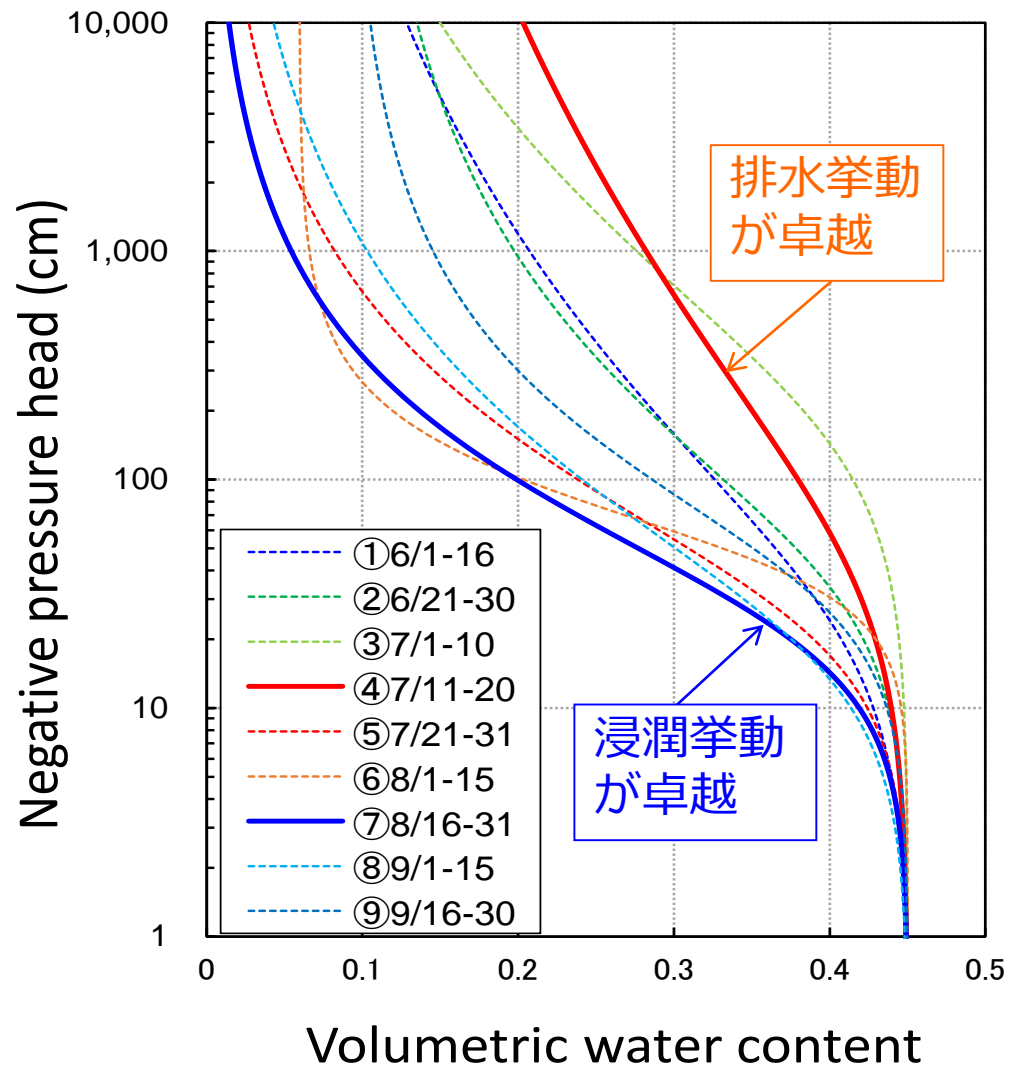


No.1（のり先）





のり肩
(No.5)



のり先
(No.1)

水分特性曲線の推定例

【1】土構造物の特性

【2】数値モデル化

【3】モデルの検定

解析領域
地盤定数
境界条件
初期条件
外力条件

地盤調査
土質試験
モニタリング

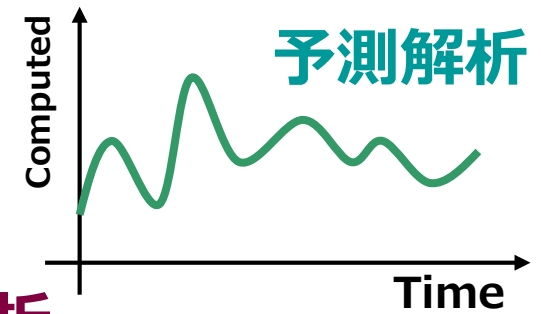
基準化

Black Box

Gray Box

White Box

数値解析



再現性の検証

