

# 清水寺の現地計測データを活用した 斜面崩壊に対する危険度評価

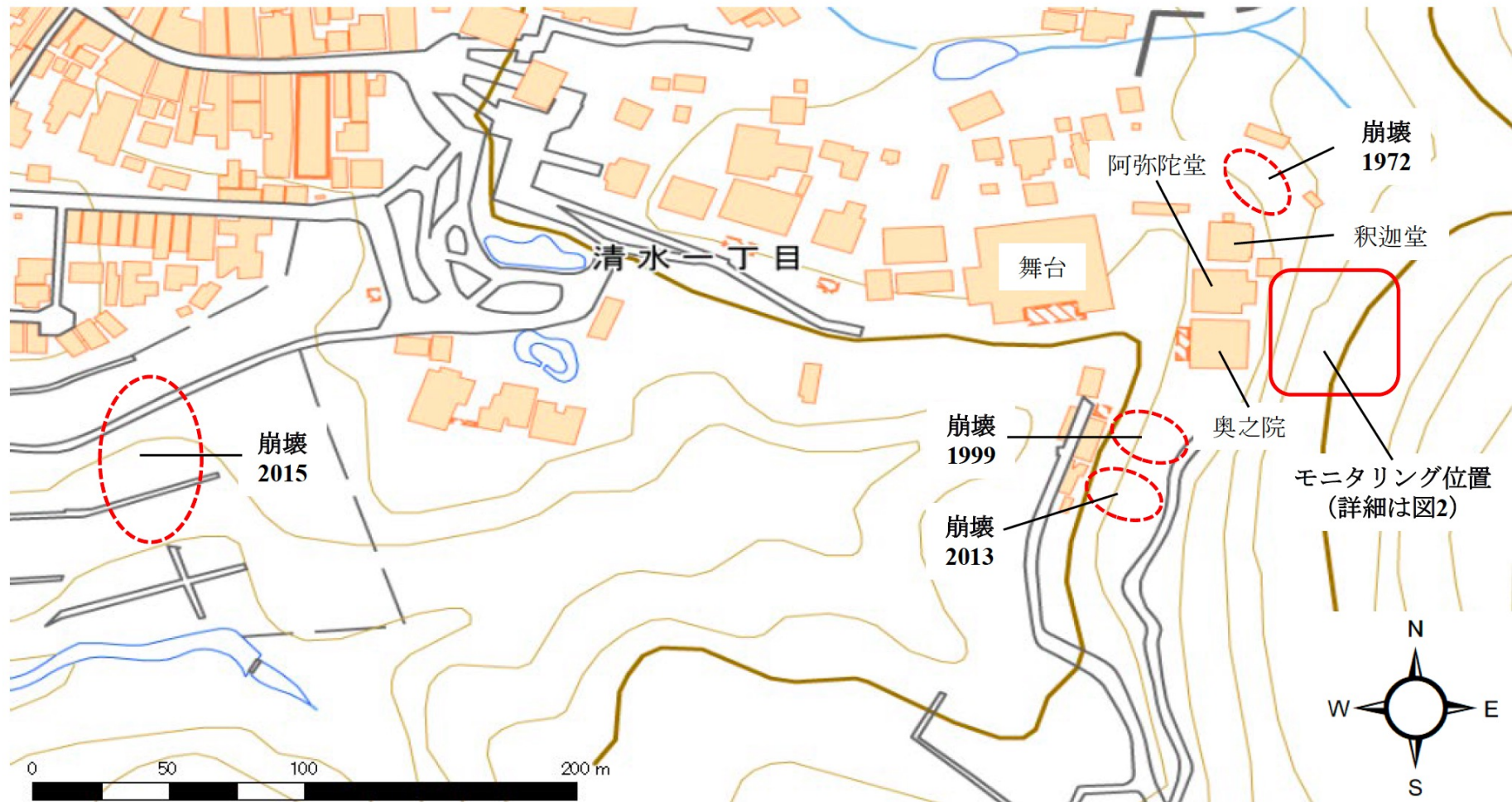
---

立命館大学 理工学部 環境都市工学科

講師 伊藤 真一

# 清水寺における斜面崩壊

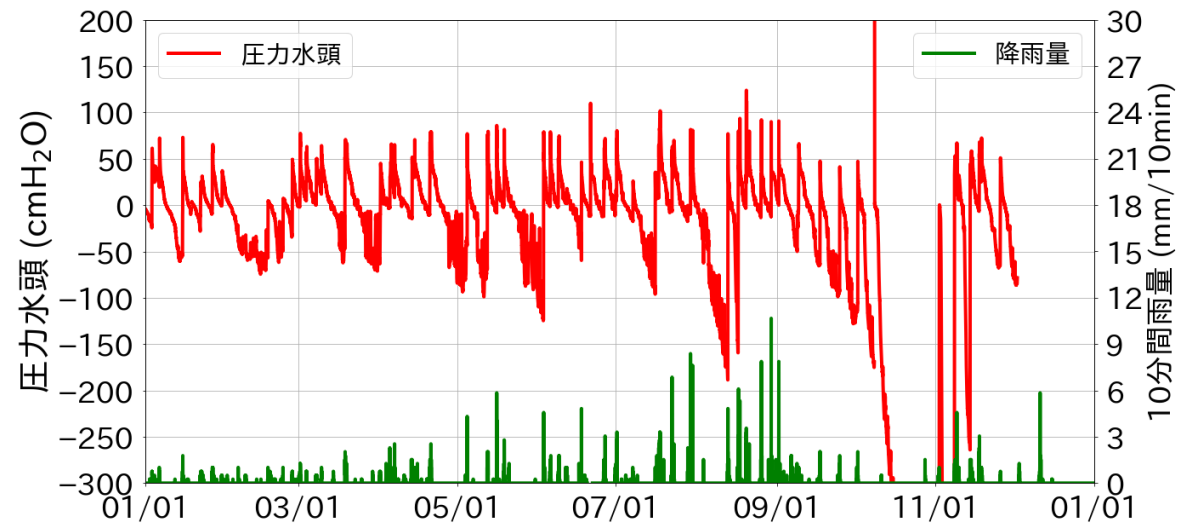
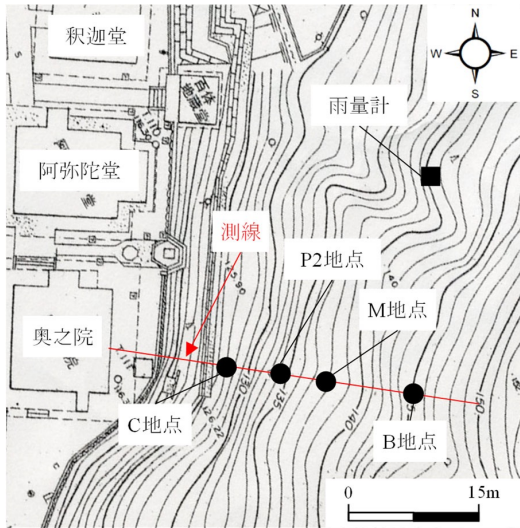
歴史文化遺産：観光客が多数＋明らかなハード対策は困難



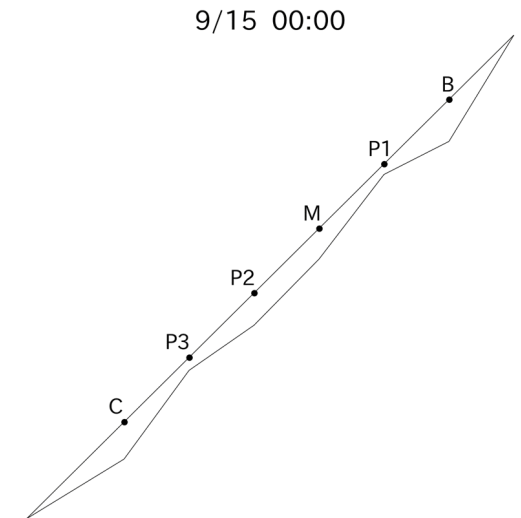
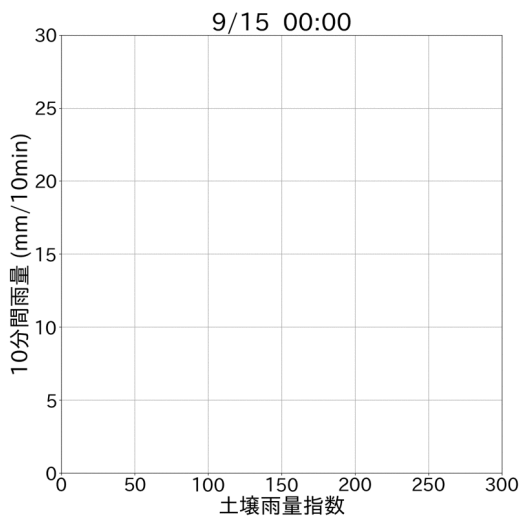
降雨による表層崩壊(崩壊深さ1m程度)がたびたび発生

# 現地計測

深川先生，藤本先生らによって現地計測データが蓄積

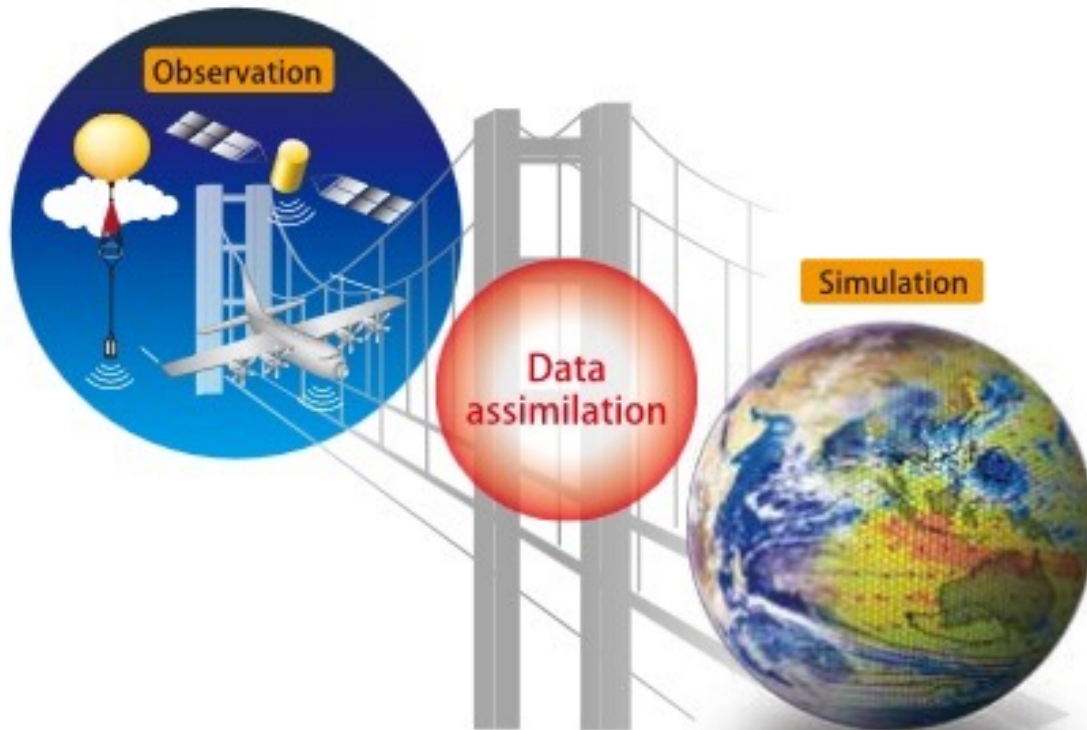


2013.9.15~9.17 (斜面崩壊発生時)



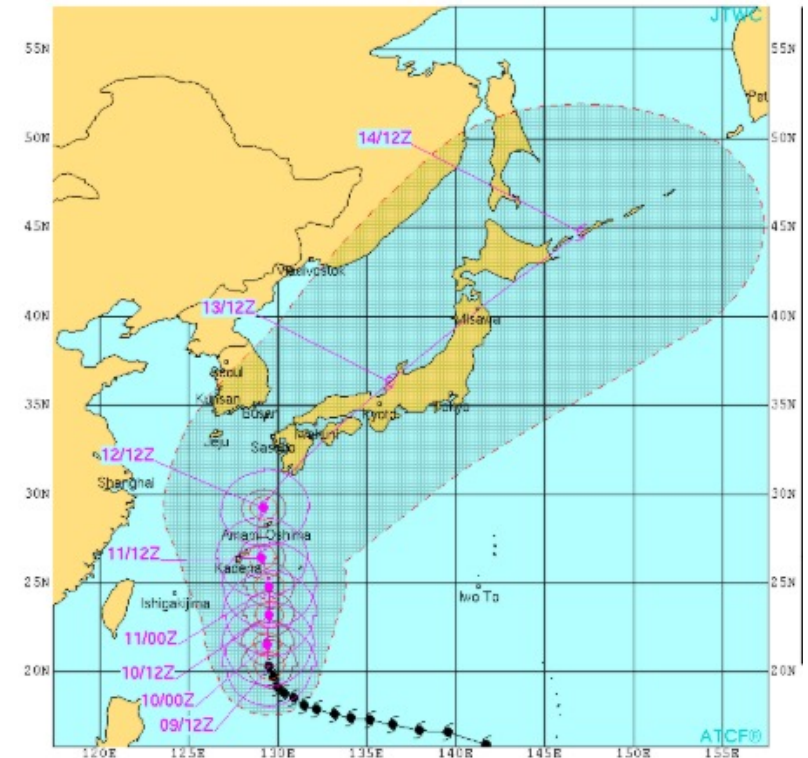
# データ同化

## データ同化の概念図



RIKEN Data Assimilation Research Team

## 台風の進路予測



Joint Typhoon Warning Center

数値解析モデル(パラメータ, 初期条件, 境界条件)  
を計測データに基づいて修正(気象学, 海洋学で発展)  
例えば, 天気予報, 台風の進路予測などに応用

# 目的

---

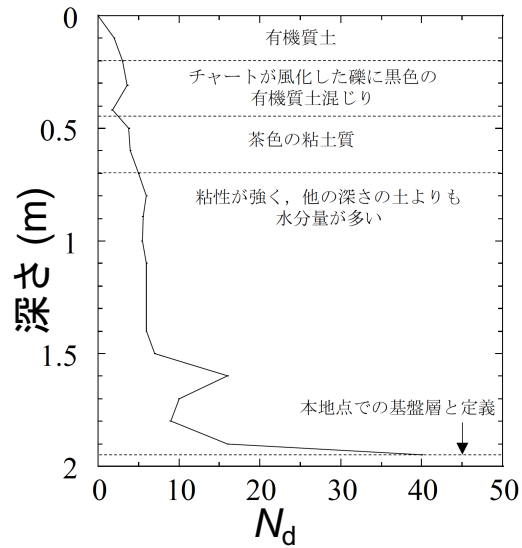
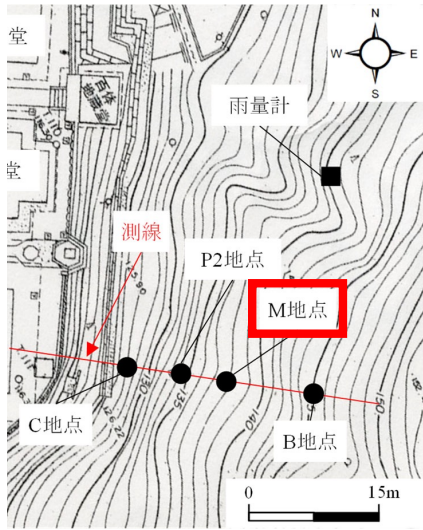
---

## 清水寺の現地計測データを活用した 斜面崩壊に対する危険度評価

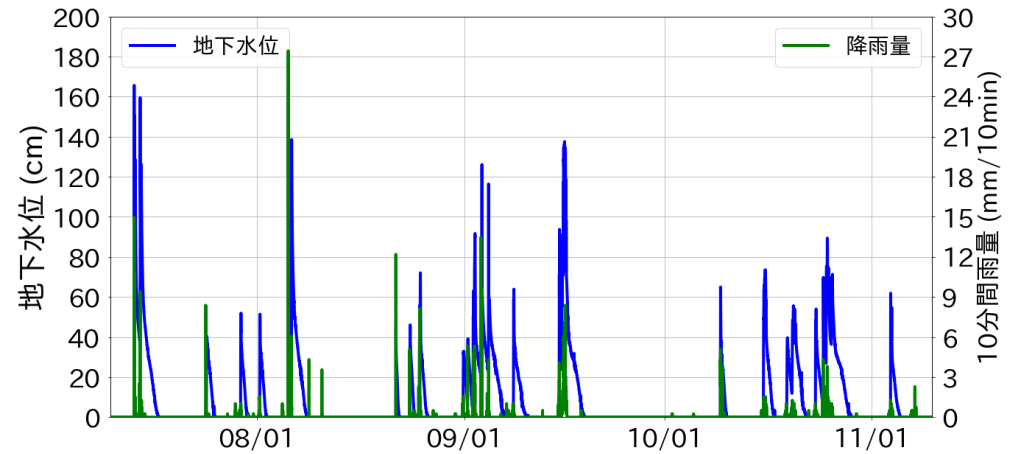
現地計測に基づく浸透解析モデルのデータ同化  
(シミュレーションで現地の地下水位を再現できる?)

推定モデルによる斜面崩壊と地下水位の関係の把握  
(データ同化で推定されたモデルをどう防災に繋げる?)

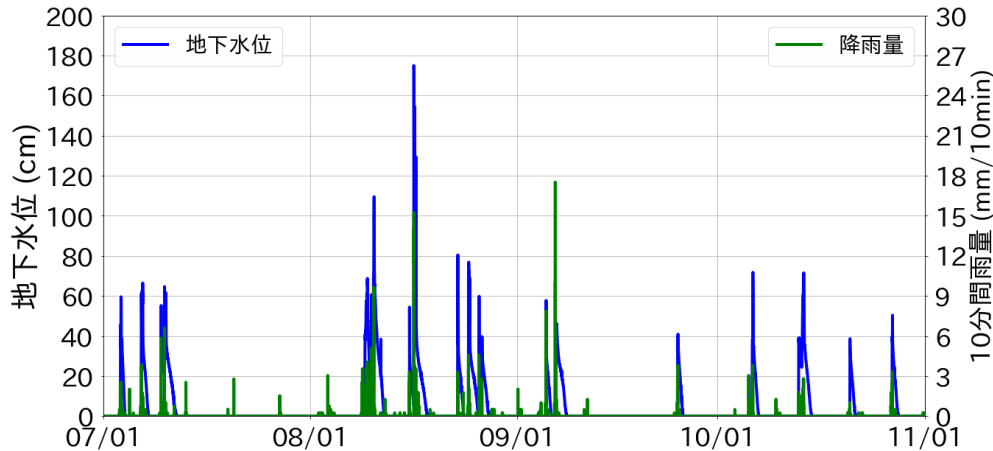
# 使用データ



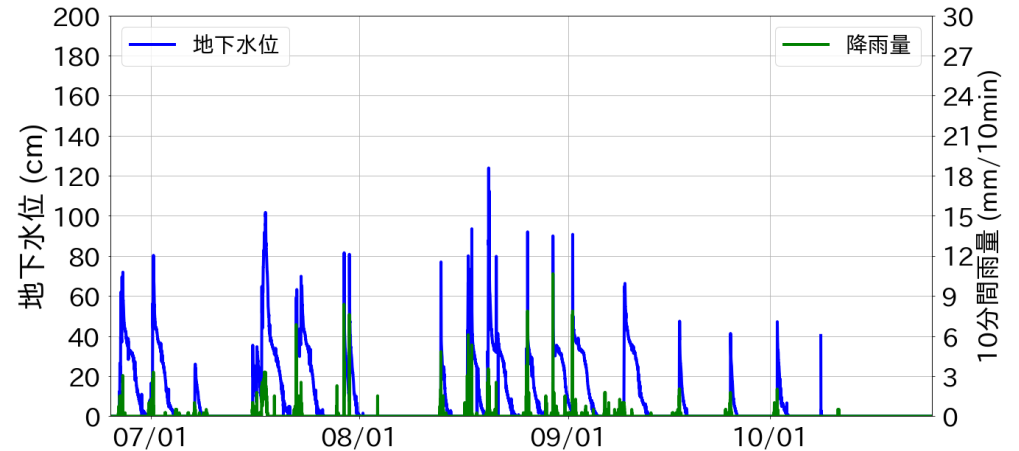
2013.7.10~11.10



2014.7.1~11.1

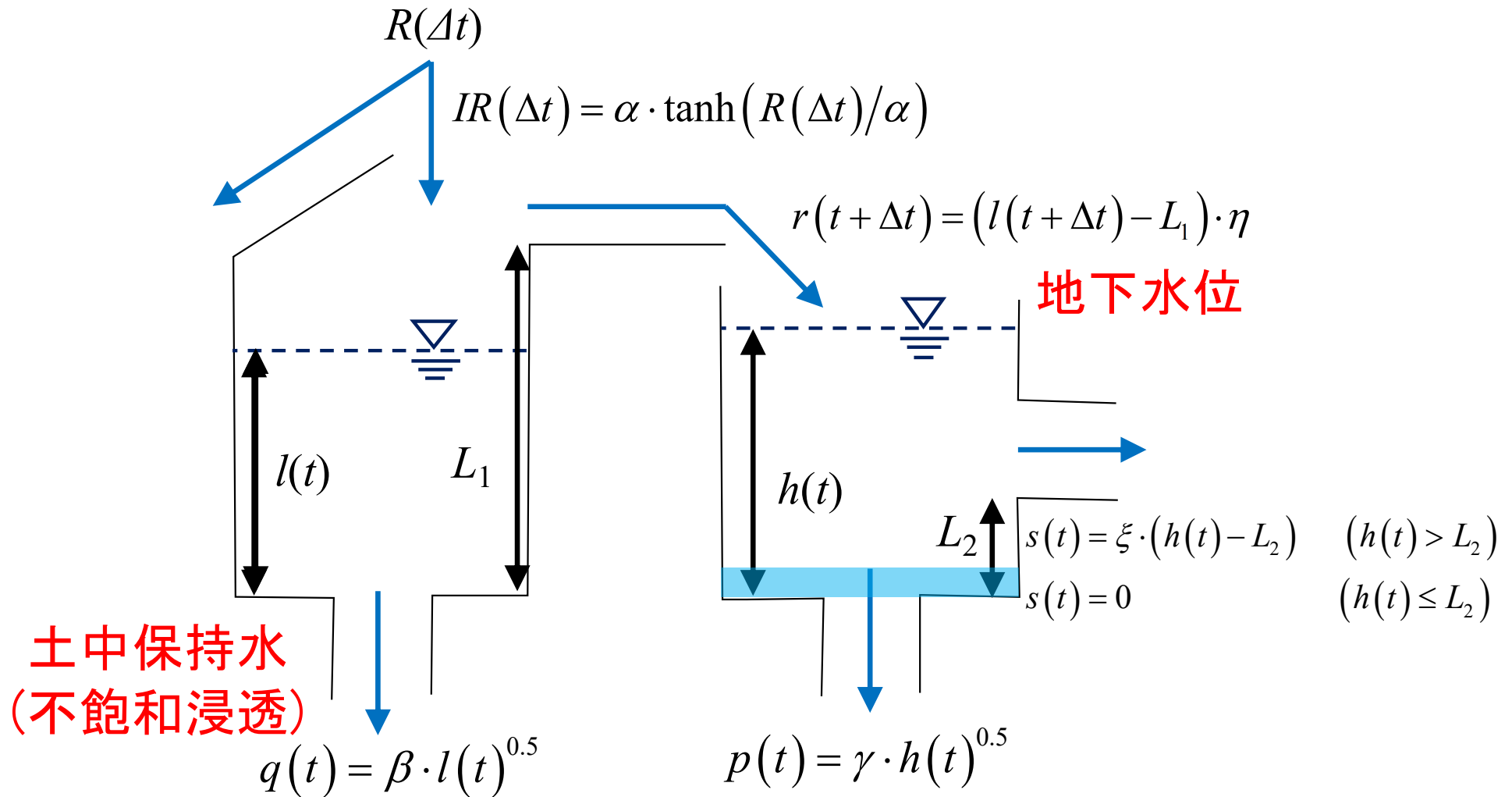


2015.6.25~10.25



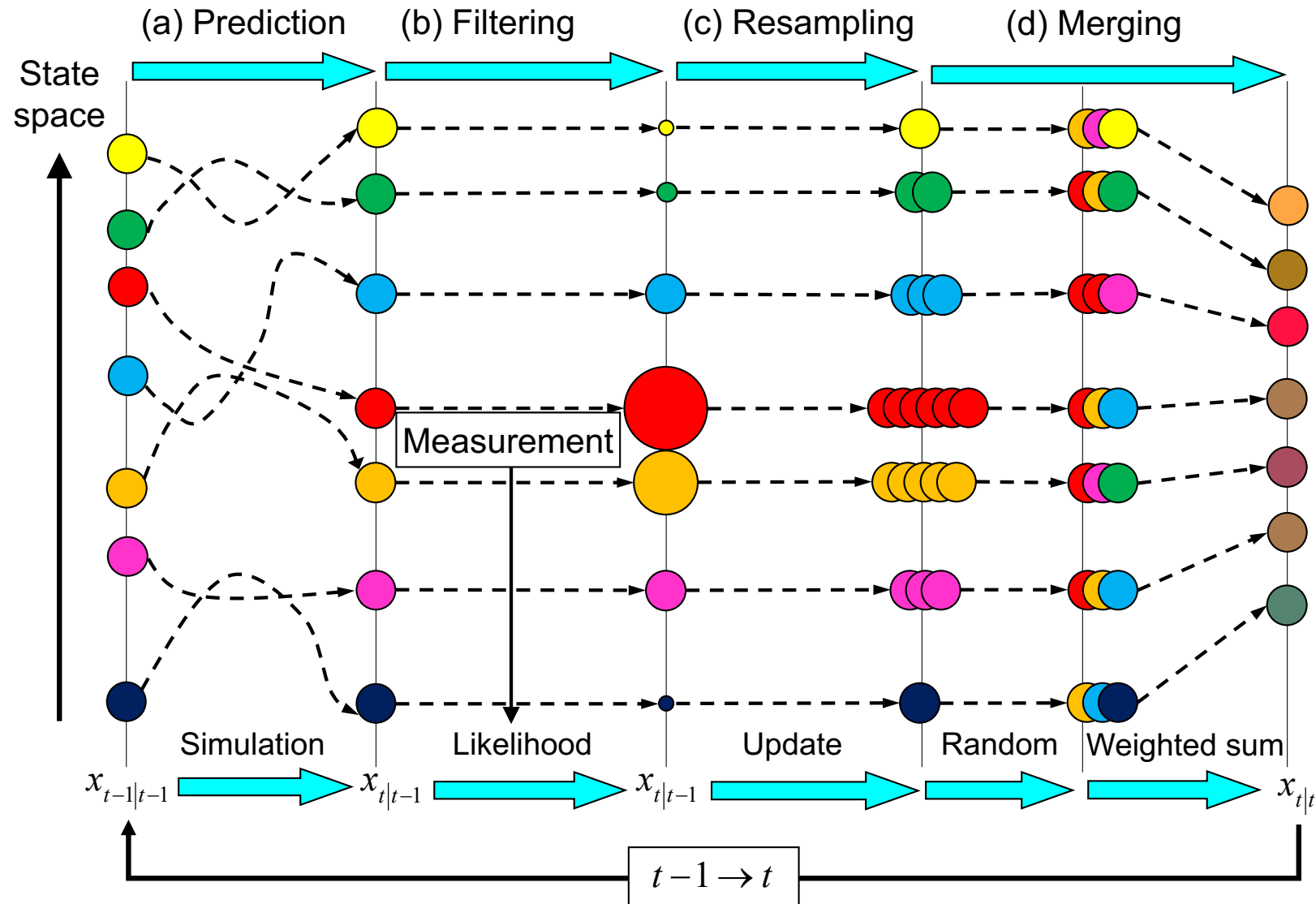
M地点の深さ190cmで計測された間隙水圧のデータを使用  
2013年から2015年の降雨量の多い夏場の4ヶ月分を抽出

# 並列タンクモデル



地下水位の増減を簡易的に算出するモデル  
合計7個の未知パラメータを適切に設定する必要あり

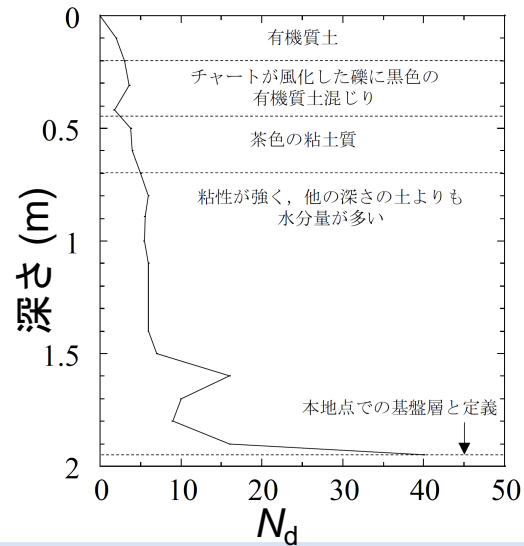
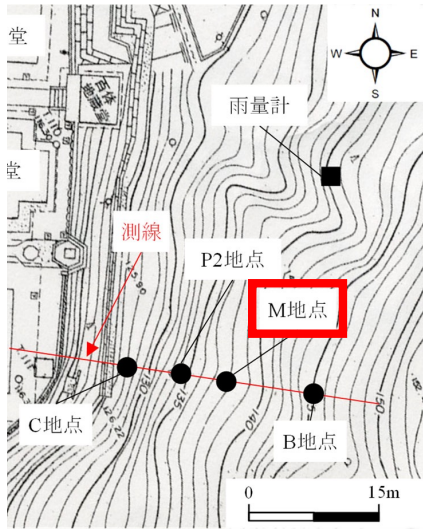
# 融合粒子フィルタ (Merging particle filter)



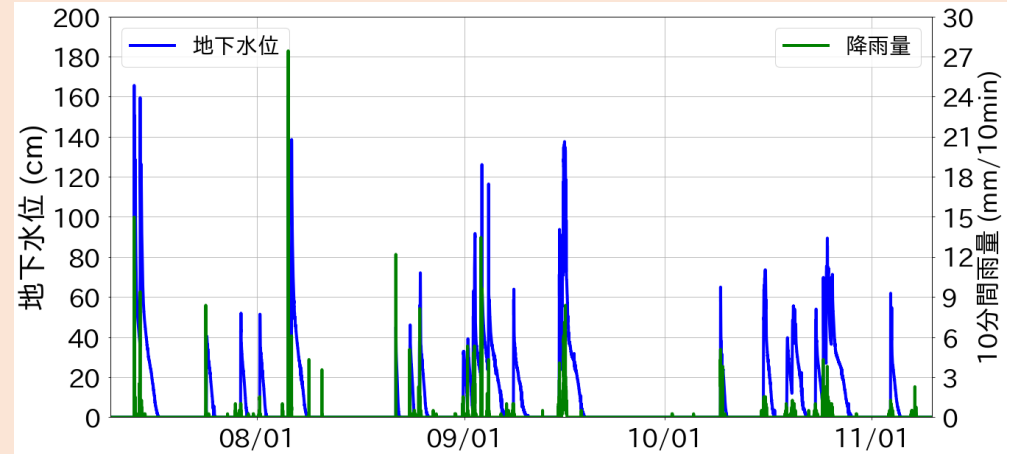
大量の計算をしながら計測データに合わせるデータ同化手法



# 学習データとテストデータ



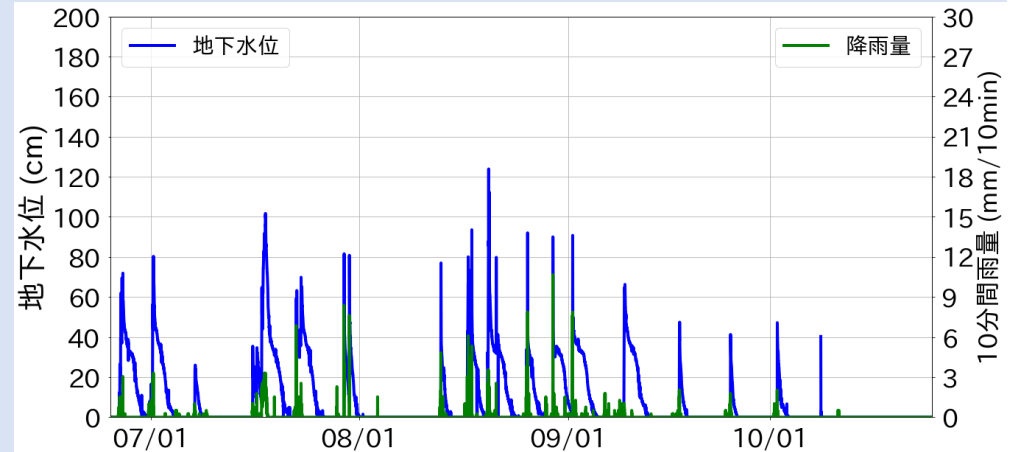
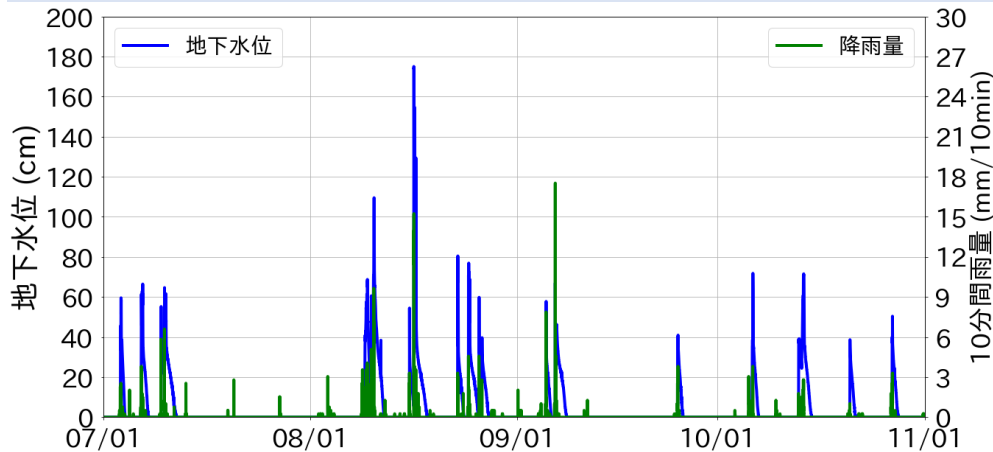
## Train 2013.7.10~11.10



## 2014.7.1~11.1

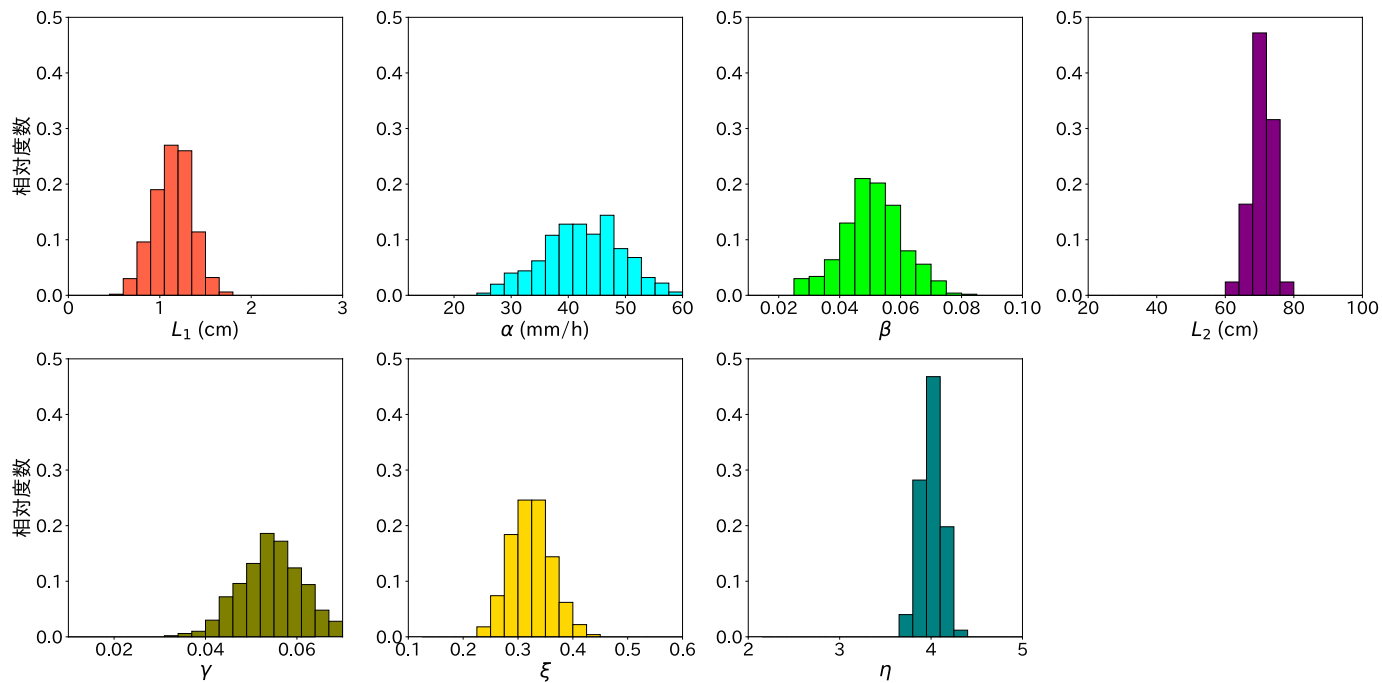
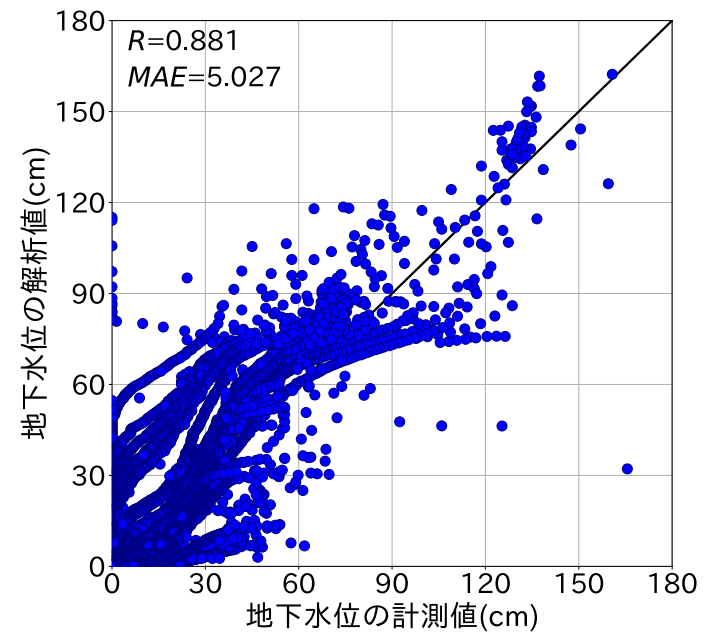
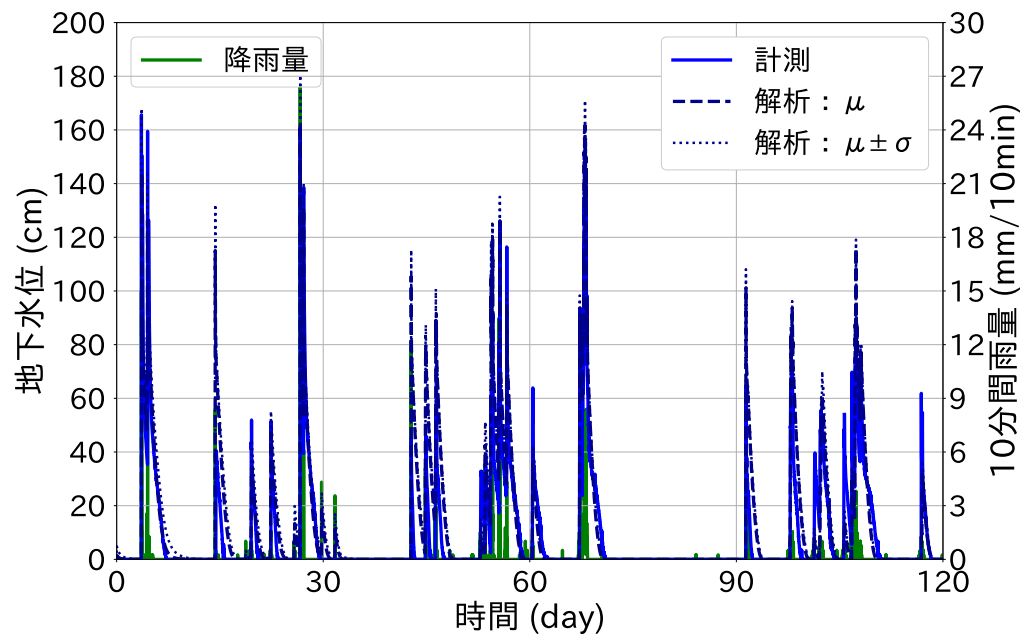
## Test

## 2015.6.25~10.25



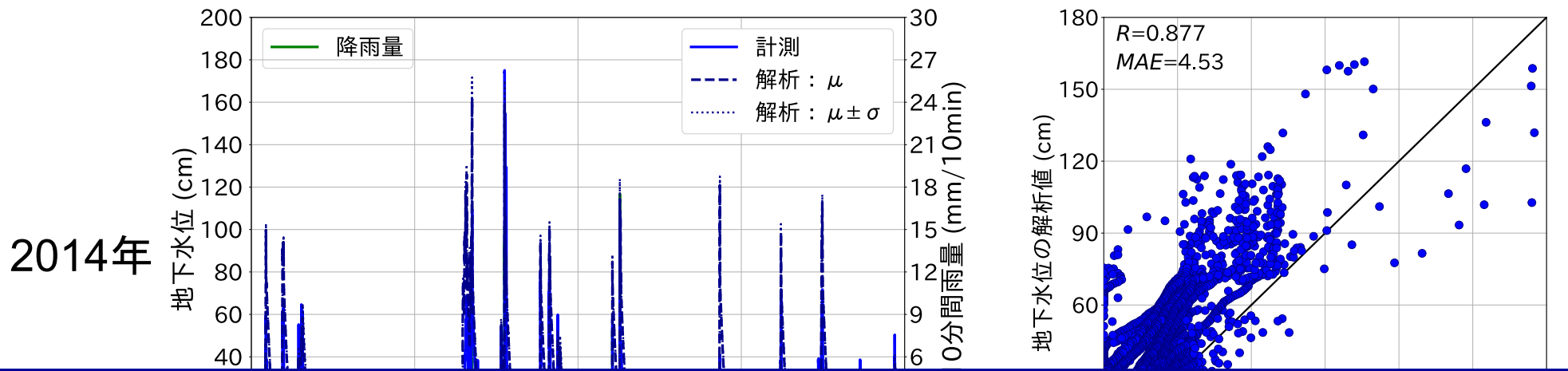
2013年のデータ：データ同化でモデルの推定  
2014年と2015年のデータ：モデルの妥当性評価

# 解析結果：学習データ



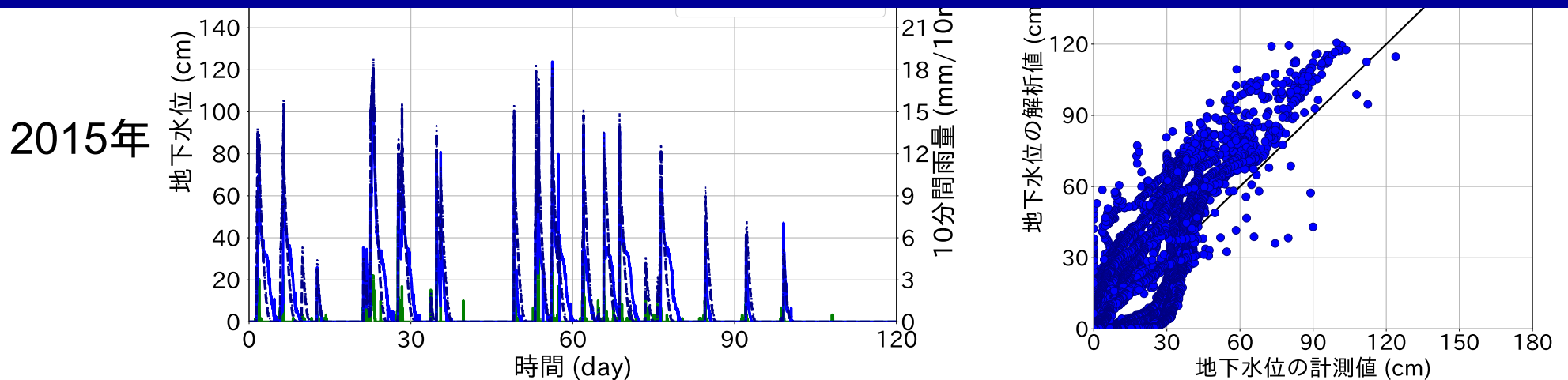
現地計測データを概ね再現可能  
未知パラメータが確率分布で推定

# 解析結果：テストデータ



降雨量のみを与えたテストデータを概ね再現

雨さえ分かれば地下水水位をある程度予測できるモデル



# 目的

---

---

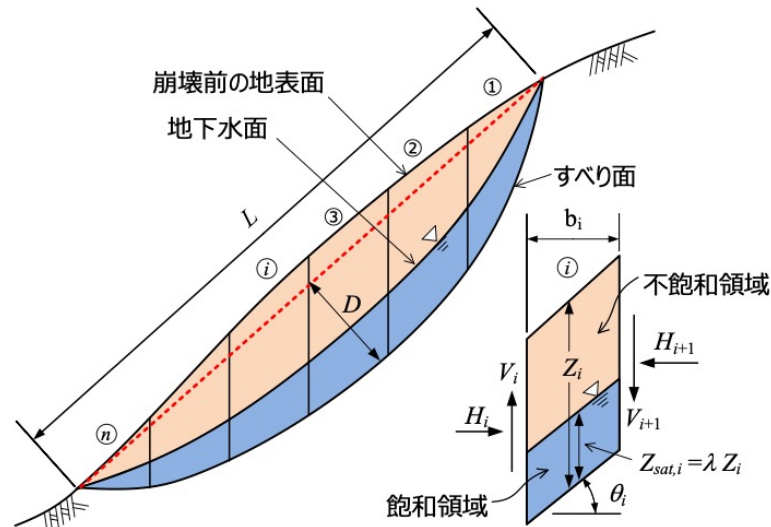
## 清水寺の現地計測データを活用した 斜面崩壊に対する危険度評価

現地計測に基づく浸透解析モデルのデータ同化  
(シミュレーションで現地の地下水位を再現できる?)

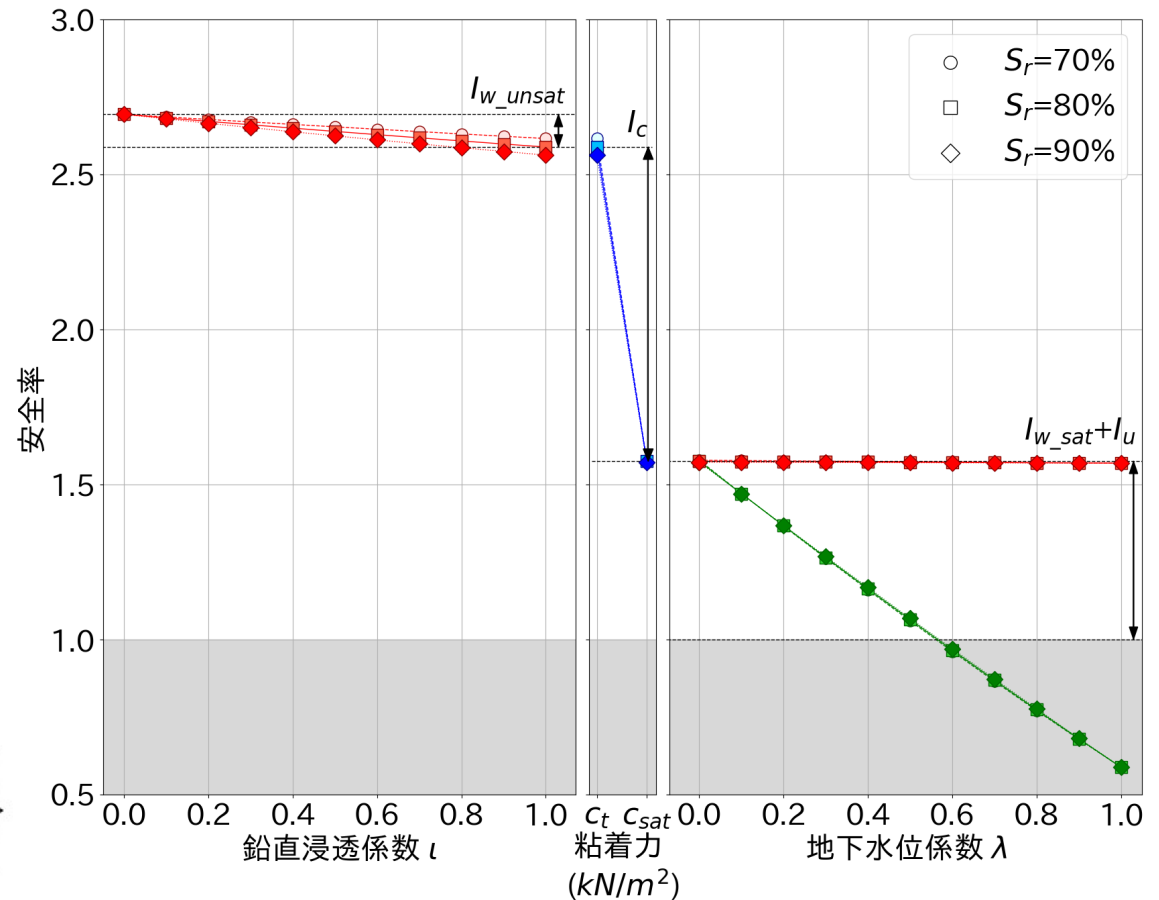
推定モデルによる斜面崩壊と地下水位の関係の把握  
(データ同化で推定されたモデルをどう防災に繋げる?)

# 斜面崩壊に対する危険度評価

## 【斜面安定解析・Janbu法】



$$F = \frac{1}{\sum W_i \tan \theta_i} \sum \left\{ \frac{cb_i + (W_i - u_i b_i) \tan \phi}{\cos^2 \theta_i (1 + \tan \theta_i \tan \phi / F)} \right\}$$



安全率による危険度評価のためには精度の良い強度定数が不可欠

過去の豪雨時の地下水位の状態をモデルを使って推定  
斜面崩壊と地下水位の関係について把握

# 地下水位による危険度評価

## 1972年以降に累積雨量が150 mmを超えた降雨イベント

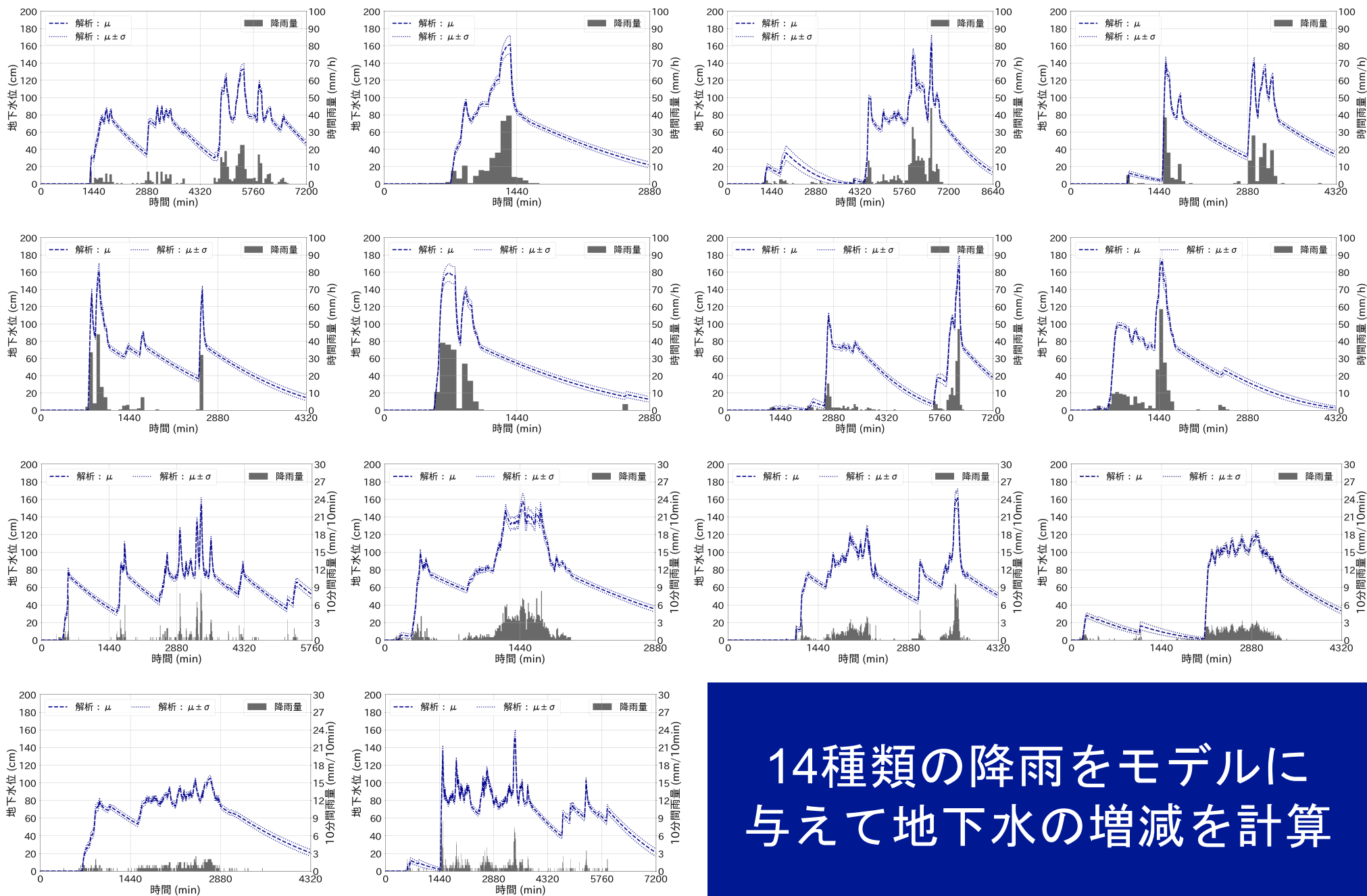
No.	年月日	累積雨量 <sup>※</sup> (mm)	最大1時間雨量 (mm/h)	最大12時間雨量 (mm/12h)	最大 土壌雨量指数	土砂災害警戒情報 の判断基準線の 超過の有無	計測場所	斜面崩壊の 有無
1	1972.7.12	144.5 <sup>※※</sup>	22.5 <sup>※※</sup>	140.0 <sup>※※</sup>	164.5 <sup>※※</sup>	有	気象庁 京都	有
2	1972.9.16	164.0	39.5	154.5	168.5	有	気象庁 京都	無
3	1983.9.28	360.0	44.0	208.5	211.0	有	気象庁 京都	無
4	1986.7.22	209.0	38.5	117.0	146.0	無	気象庁 京都	無
5	1987.7.14	153.5	44.0	111.0	93.3	無	気象庁 京都	無
6	1997.8.4	175.0	39.0	173.5	133.9	無	気象庁 京都	無
7	1999.6.27	123.5 <sup>※※</sup>	47.0 <sup>※※</sup>	123.0 <sup>※※</sup>	155.8 <sup>※※</sup>	有	気象庁 京都	有
8	1999.6.29	211.0	58.5	153.0	193.2	有	気象庁 京都	無
9	2010.7.14	233.5	35.0	106.0	141.8	有	気象庁 京都	無
10	2013.9.16	261.1 <sup>※※</sup>	35.8 <sup>※※</sup>	223.5 <sup>※※</sup>	189.3 <sup>※※</sup>	有	清水寺	有
11	2014.8.10	243.6	46.5	115.3	157.4	有	清水寺	無
12	2015.7.16	199.9 <sup>※※</sup>	16.8 <sup>※※</sup>	148.3 <sup>※※</sup>	146.3 <sup>※※</sup>	無	清水寺	有
13	2017.10.21	152.5	10.5	79.0	124.7	無	気象庁 京都	無
14	2018.7.4	335.0	34.0	102.0	163.6	有	気象庁 京都	無

(<sup>※</sup>12時間無降雨でリセット <sup>※※</sup>崩壊までの最大)



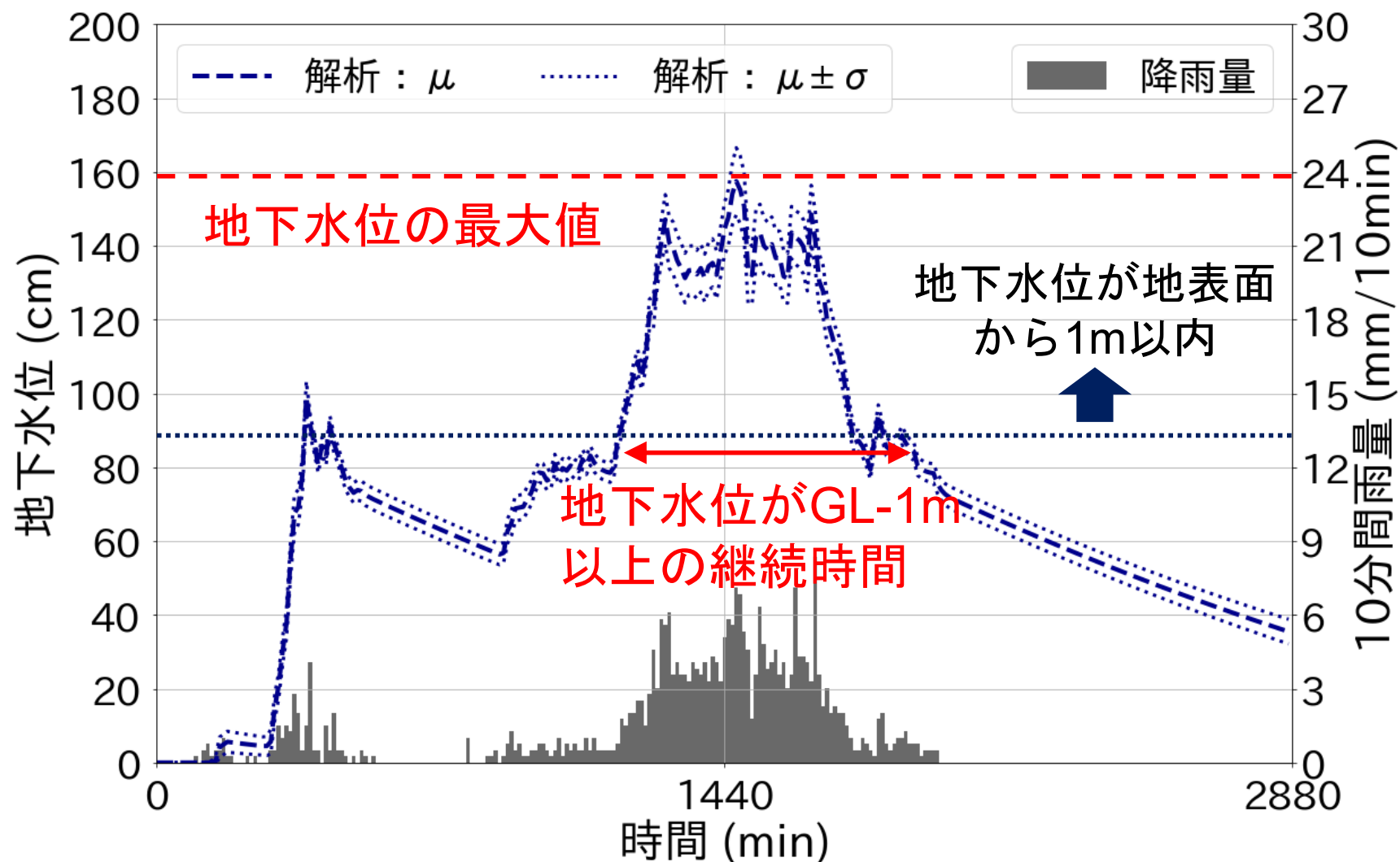
14種類の降雨をモデルに  
与えて地下水の増減を計算

# 地下水位による危険度評価



14種類の降雨をモデルに  
与えて地下水の増減を計算

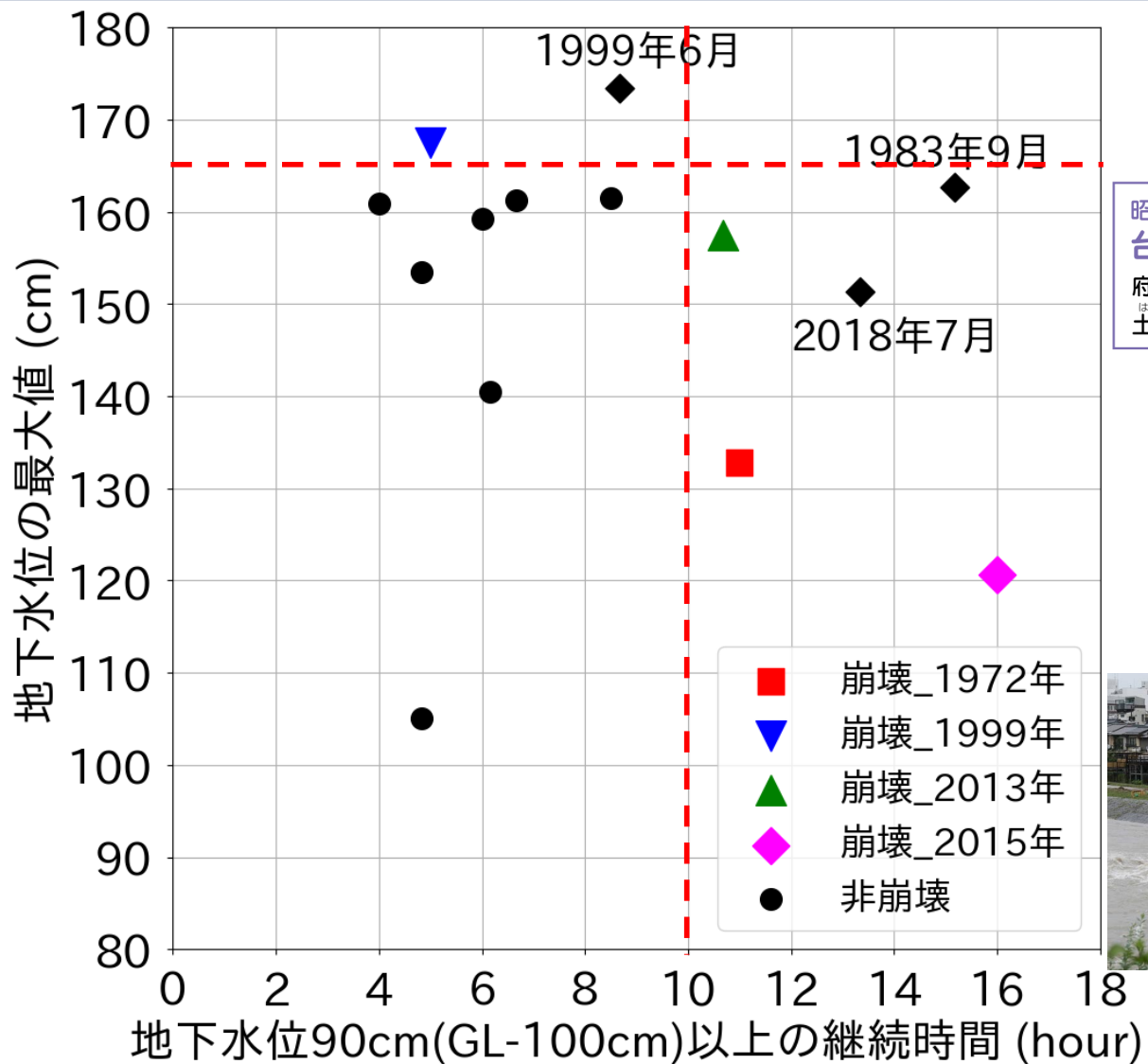
# 地下水位による危険度評価の指標



地下水位の最大値とGL-1m以上の継続時間で評価



# 地下水水位による危険度評価結果



昭和58年(1983)  
台風第10号  
府内全域/死者2名/被害額273億円/  
土師川(福知山市)のはん濫

2018年7月  
大雨特別警報



崩壊時：すべり面深さ程度の地下水水位が長期に継続  
集中豪雨によって地下水水位の最大値が大きい

# まとめ

## 清水寺の現地計測データを活用した 斜面崩壊に対する危険度評価

現地計測に基づく浸透解析モデルのデータ同化  
(シミュレーションで現地の地下水位を再現できる?)

→雨が分かれば地下水位を予測できるモデルを構築

推定モデルによる斜面崩壊と地下水位の関係の把握  
(データ同化で推定されたモデルをどう防災に繋げる?)

→崩壊時は1m以上の地下水位継続時間が長い  
地下水位の最大値が大きい場合も崩壊発生