


# 植生熱収支モデルによる 水稲葉面湿潤度の推定と将来予測



山崎剛・小野寺祐美・東城孝昌・吉田龍平  
(東北大)

日本周辺における夏季の気温・降水量の増加が予測(lizumi et al., 2012)。



地表面の状態が変化すると考えられるので  
近年、気候変化シナリオを用いた影響評価(e.g. 水稲、洪水)が盛ん。

気象条件と関係が深い植物の病害：**いもち病**

カビ菌の一種によって発症する**水稲の代表的な病害**。



一般に

低温で日照時間が短く、多雨の天候の年や地帯  
に多発すると言われている。(菅野・小林, 2010)

いもち病に感染した水稲の葉

＜気象条件による孢子形成・癒着の制約(鈴木, 1969)＞

- ①気温は $10^{\circ}\text{C}$ ～ $35^{\circ}\text{C}$ 、最適温度は $16\sim 28^{\circ}\text{C}$
- ②湿度は89%以上(ただし、葉面の湿潤状態が十分持続)
- ③降水量 $3.5\text{mm hr}^{-1}$ 以上では、孢子は水滴に捕捉され落下

＜葉面を濡らす主要因＞

\* 降水

\* 結露(近藤, 2000)

仕組み①: 葉は土壌面等より熱容量や熱伝導率が小さい  
→ 葉が冷えやすい

仕組み②: 相対湿度 $0.5 < rh < 1$ の範囲で適当な風が吹走

(図省略)



仮説: 降水量の増加に伴い、葉面湿潤度も増加するのか？

現業いもち病発生予察システム：BLASTAM(越水,1988：林・越水, 1988)

AMeDASの気温、降水量、風速、日照時間データを用いて、いもち病感染に好適な条件を**経験的**に推定する。



## 《問題点》

- ✓ BLASTAMでは**相対湿度**などが考慮されていないため、結露と蒸発散といった水稻における水・熱収支の解釈がなされていない。その為、将来のいもち病感染リスクを評価できるか、不明。

## 《研究目的》

- ✓ 水稻の水・熱収支を計算可能なモデルを用いて、葉いもち病を誘発する葉面湿潤度の将来変化、ならびに将来変化をもたらす要因を解析する。

気候モデル：**MIROC5**(Watanabe et al., 2010)

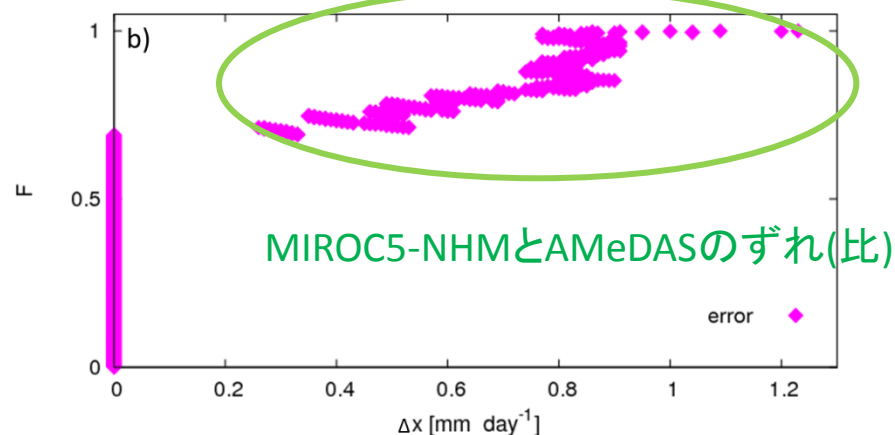
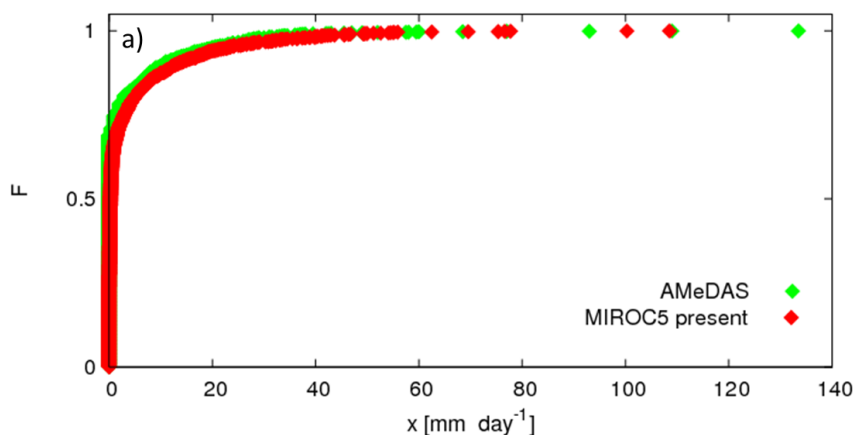
解像度はT85L40、RCP4.5シナリオを使用

MIROC5における1981-2000年、2081-2099年の夏季(6-8月)気候データについて、気象庁非静力学モデルJMA-NHM(Saito et al., 2007)によって水平解像度10kmにダウンスケールされた気候データを使用する。

対象地点とするのは、東北地方のAMeDAS地点の中から降水に関して欠測の無い178地点。降水に着目したのは、**葉面湿潤度に直結する**気象要素のため。

バイアス補正: **CDF**(Cumulative Distribution Function)法 (Iizumi et al., 2010)

- 1) AMeDASデータとMIROC5-NHM現在値をそれぞれ対象期間で日付順に並べる。
- 2) 各データを昇順に並び替え、経験的なCDFを構築する(図(a))。
- 3) 同じ順位で比(モデル誤差=AMeDAS / MIROC5-NHM現在値)をとる(図(b))。
- 4) MIROC5-NHM現在値に比を乗じる。同様に、将来値を昇順に並び替えて将来値の順位に最も近い順位のモデル誤差を乗じる。各データを日付順に戻す。



Iizumi et al.(2011)を参考に降水量  $\geq 1 \text{ mm day}^{-1}$  をwet-dayとし、降水指標を定義。

① 平均降水量: **MEA**       $MEA = \sum_i Pr_i / n_{all} \text{ (mm day}^{-1}\text{)}$

② 降水頻度: **FRE**       $FRE = n_{wet} / n_{all}$

③ 降水強度: **INT**       $INT = \sum_j Pr_{wetj} / n_{wet} \text{ (mm day}^{-1}\text{)}$

$Pr$ : 日降水量(mm)

$n_{all}$ : 日数(day)

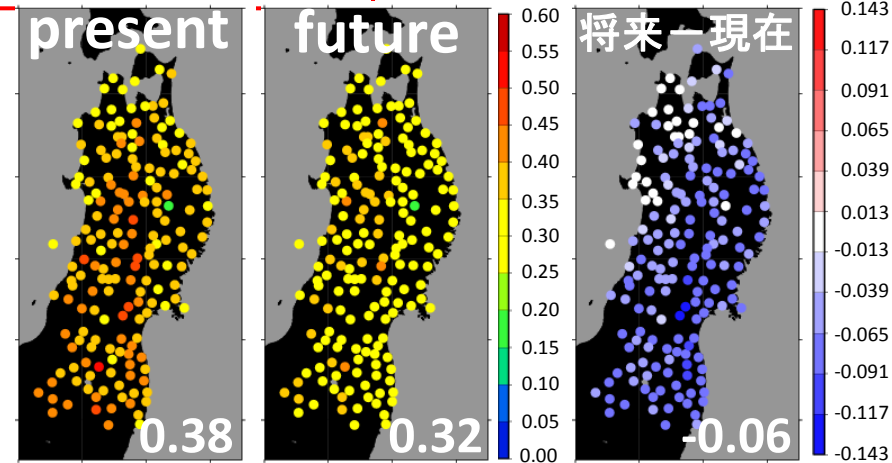
$n_{wet}$ : wet-day数(day)

$Pr_{wet}$ : wet-day降水量(mm)

# 降水指標の将来予測の解析

データ間に差異が存在する場合、この差に有意性があるか定量的に評価する。  
本研究では有意水準5%でt検定を行う。

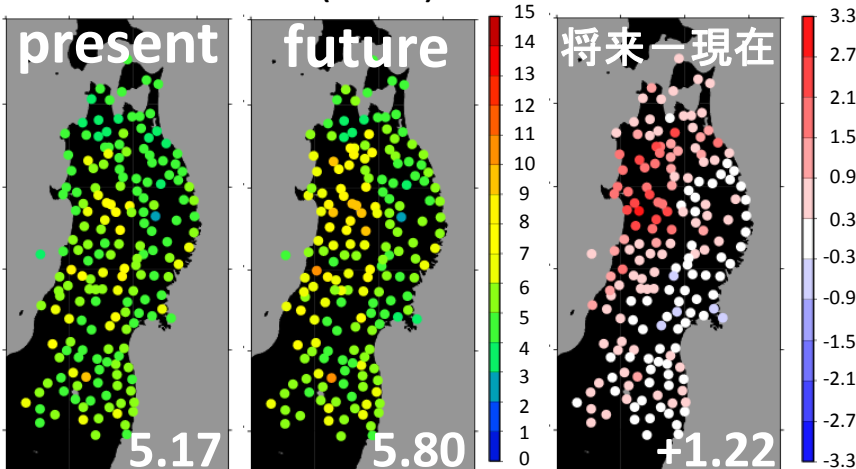
## ②降水頻度(FRE)



東北全域で有意な減少。約-16%。

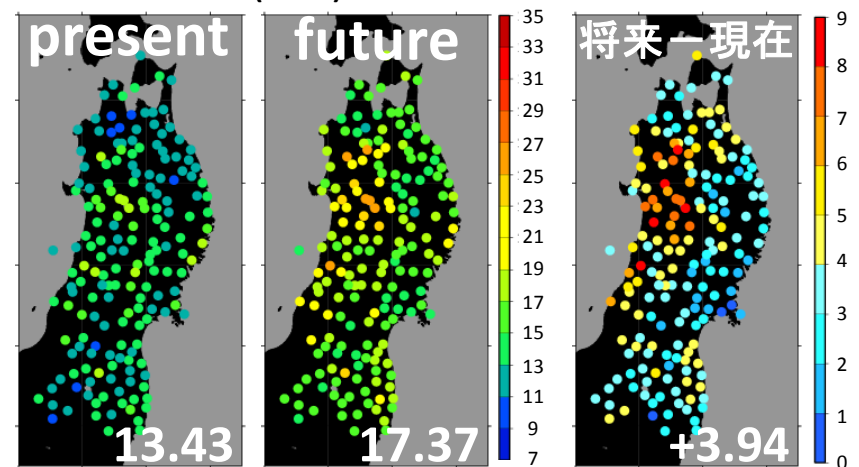
## 《夏季平均した降水指標の将来変化》

### ①平均降水量(MEA)



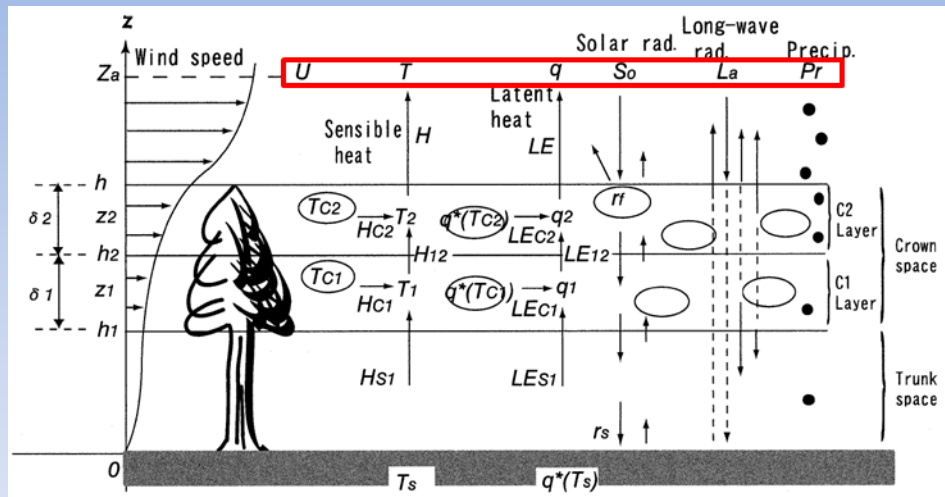
局地的にみると秋田県付近で増加。  
しかし、東北全域では増加傾向はない。

### ③降水強度(INT)



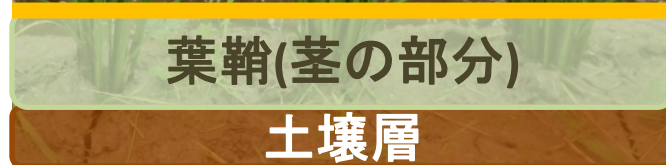
東北全域で有意な増加。約29.3%。  
特に日本海側の増加が著しい。

## 陸面過程モデル2LM (Yamazaki et al., 2004)



2LM概略図

本研究において、葉面湿潤度は最終的にキャノピー第1層、第2層の値を平均して算出する。



2LMにおける水稻の概念図

各層での熱収支

$$C \frac{dT_{ci}}{dt} = S_{ci} + L_{ci} - H_{ci} - lE_{ci}$$

\$C\$: 熱容量 (\$J m^{-2} K^{-1}\$)

\$T\_C\$: キャノピー温度 (\$K\$)

\$S\_c, L\_c\$: 正味吸収される太陽放射・赤外放射 (\$W m^{-2}\$)

\$H\_c, lE\_c\$: 周りの空気への顕熱・潜熱フラックス (\$W m^{-2}\$)



葉面湿潤度 $R_i$ は、葉面保水量 $S_i$ をその最大値 $S_{maxi}$ で除した値を指す

$$R_i = \frac{S_i}{S_{maxi}}$$

$S_i$ : 葉面保水量(mm)、  
 $S_{maxi}$ : 最大葉面保水量(mm)

$i$ 層への降水量 $Pr_i$ に対する各層での降水の遮断

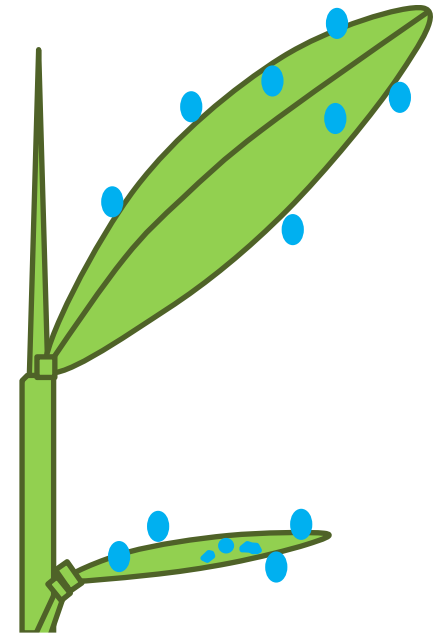
$$Pr_{Ii} = Pr_i [1 - \exp(-f a_i \delta_i (1 - R_i))]$$

$Pr_i$ : 降水量(mm)、 $a_i$ : 植生面積密度( $m^{-1}$ )、  
 $\delta_i$ : 各キャノピー層の厚さ(m)、 $f$ : 葉の方向係数

$i$ 層の蒸発量 $E_{CEi}$

$$E_{CEi} = \rho_a R_i c_{hi} \delta_i U_i (q_{sat}(T_{Ci}) - q_i)$$

$\rho_a$ : 空気密度( $kg\ m^{-3}$ )、 $c_h$ : 葉の顕熱輸送係数、 $T_C$ : キャノピー温度(K)、  
 $U$ : 風速( $m\ s^{-1}$ )、 $q$ : 比湿( $kg\ kg^{-1}$ )、 $q_{sat}$ : 飽和比湿( $kg\ kg^{-1}$ )



降水の遮断

- ✓ 本研究室では、宮城県大崎市古川、鹿島台、川渡の3地点で水田に計測器を設置し、実際に観測を実施した。期間は2013年6月4日～10月1日。



計測器の設置場所



葉面濡れセンサー(Campbell社、LWS-L)

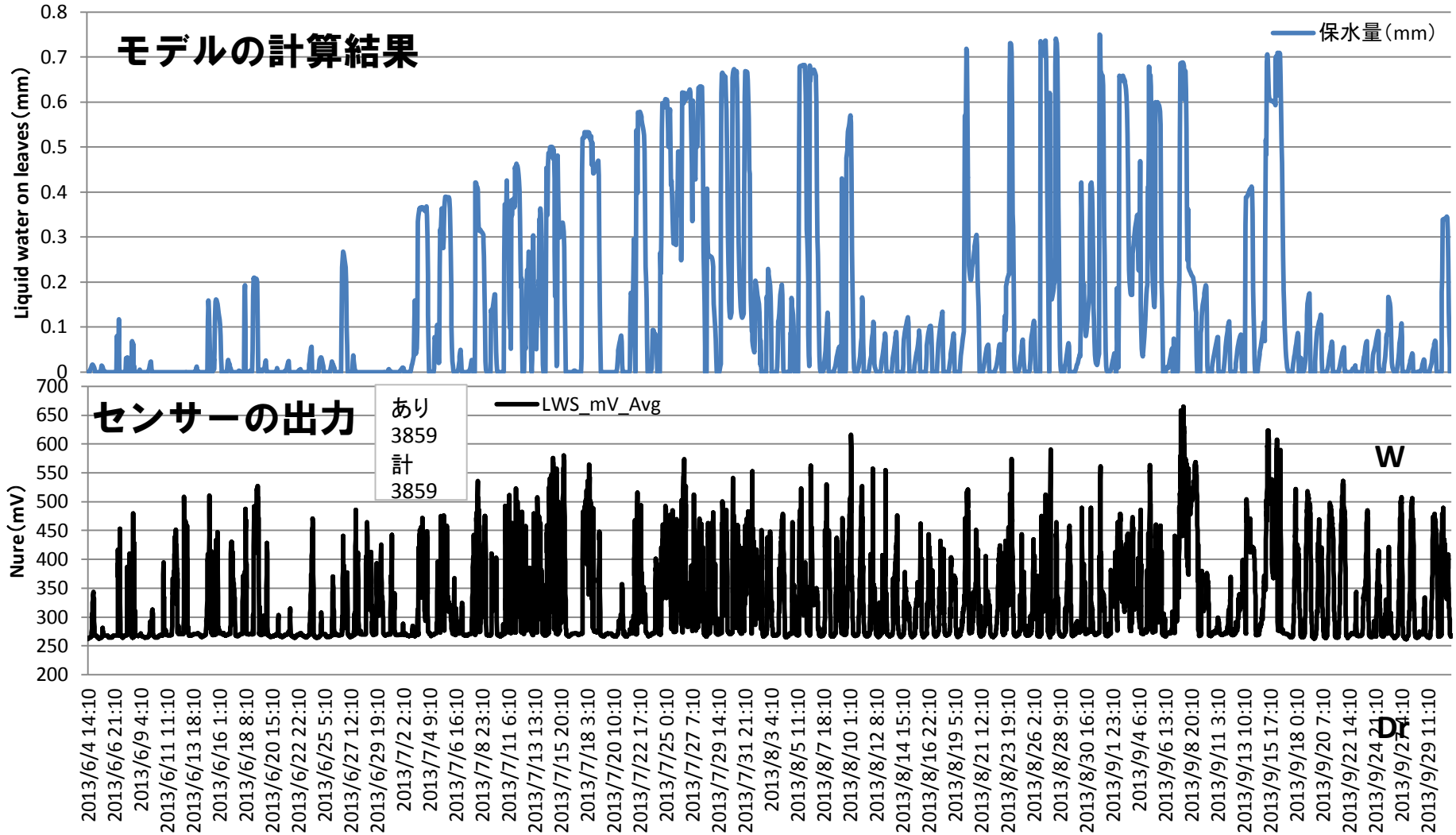
- ✓ 2LMによる葉の濡れの再現性

古川・川渡・鹿島台	センサーの結果		
モデルの結果	濡れている	乾いている	合計
濡れている	4018 (44.8%)	1434 (16.0%)	5452
乾いている	794 (8.86%)	2717 (30.3%)	3511
合計	4812	4151	サンプル数: 8963

2LMの的中率は、3地点平均で約75.1%  
はずれでは空振りがやや多い

2LMは葉の濡れを  
概ね再現できている

# モデルの計算結果(古川)

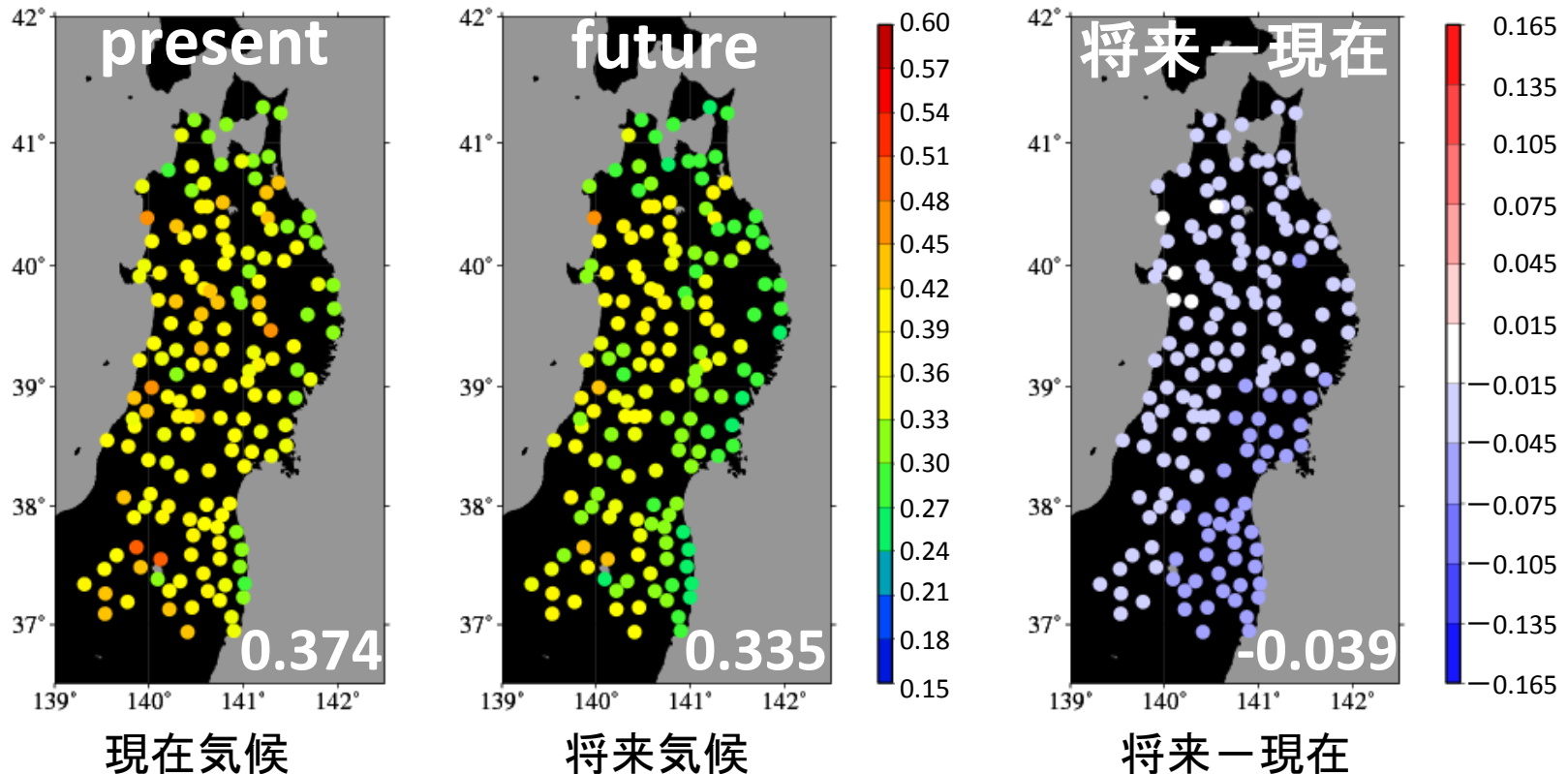


古川のモデルの計算結果と濡れセンサーの出力

# 葉面湿潤度の将来予測(夏季平均)

12/17

先の降水の検証に使用したAMeDAS 178地点のうち、都市部など水田が存在しない地点を省いたAMeDAS 159地点に対して葉面湿潤度を計算した。



葉面湿潤度は約10.3%減少することが分かった。  
本研究に使用した温暖化シナリオでは葉面環境はドライになる。

降水量は有意に増加しない。

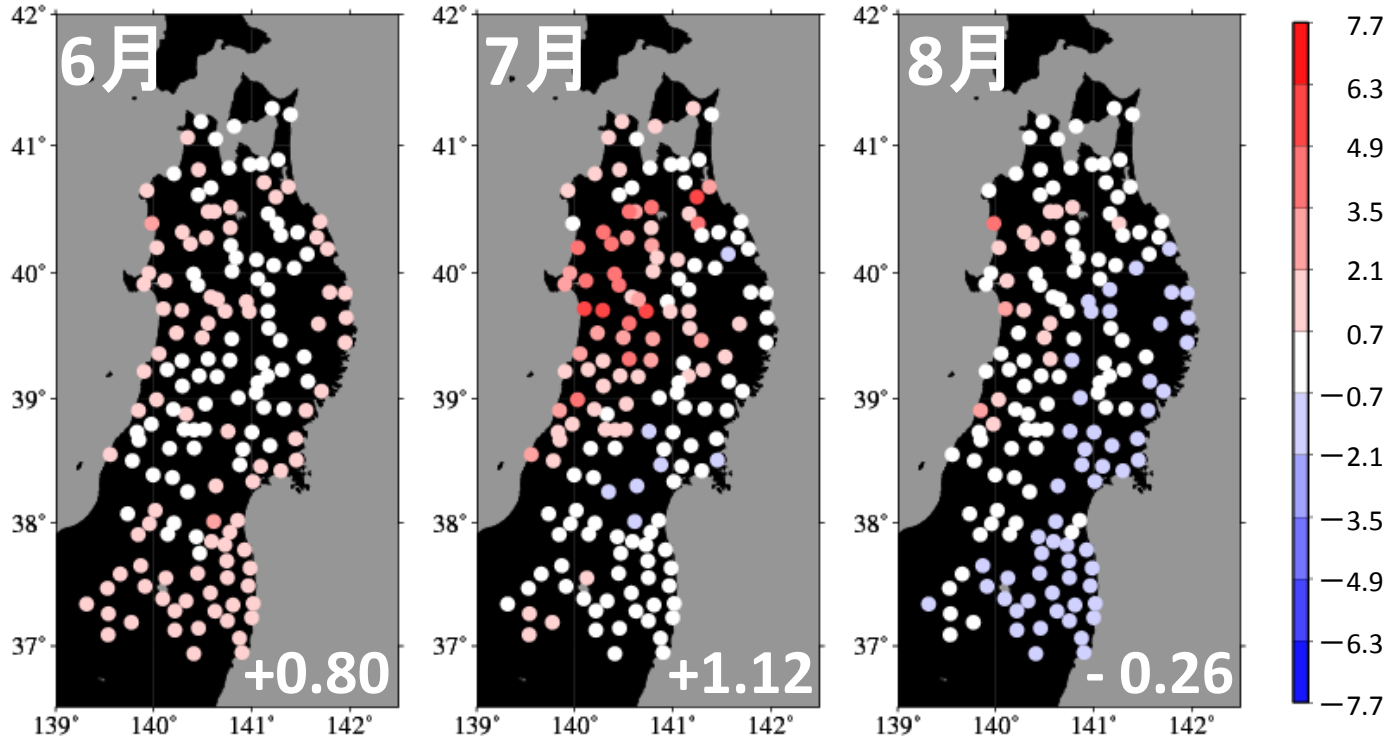


図) 降水(単位はmm day<sup>-1</sup>)の将来変化量

$$\frac{dS_i}{dt} = Pr_{li} - E_{ci} \quad (E_{ci}: \text{蒸発散量})$$

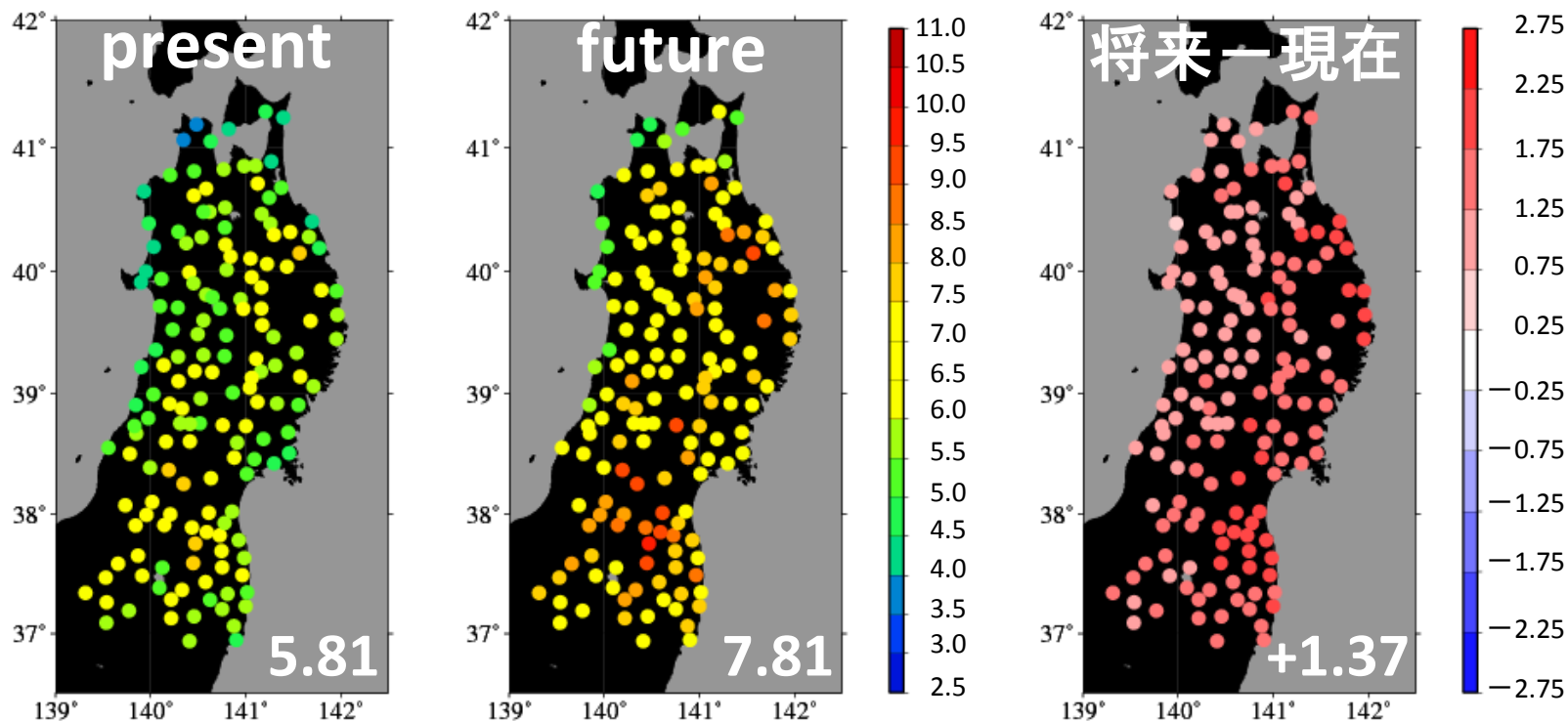
降水量が変化 → 続いて蒸発の影響を考察する。

$$E_{CEi} = \rho_a R_i c_{hi} \delta_i U_i (q_{sat}(T_{ci}) - q_i)$$

比湿差を飽差に置き換えて検証する。

$$\begin{aligned} VPD &= e_{SAT}(T) - e \\ &\doteq (q_{SAT}(T) - q) \times p / 0.622 \text{ [hPa]} \end{aligned}$$

$e_{SAT}(T)$ :  $T^{\circ}\text{C}$ における飽和水蒸気圧(hPa)  
 $e$ : 水蒸気圧(hPa)、 $p$ : 大気圧(hPa)



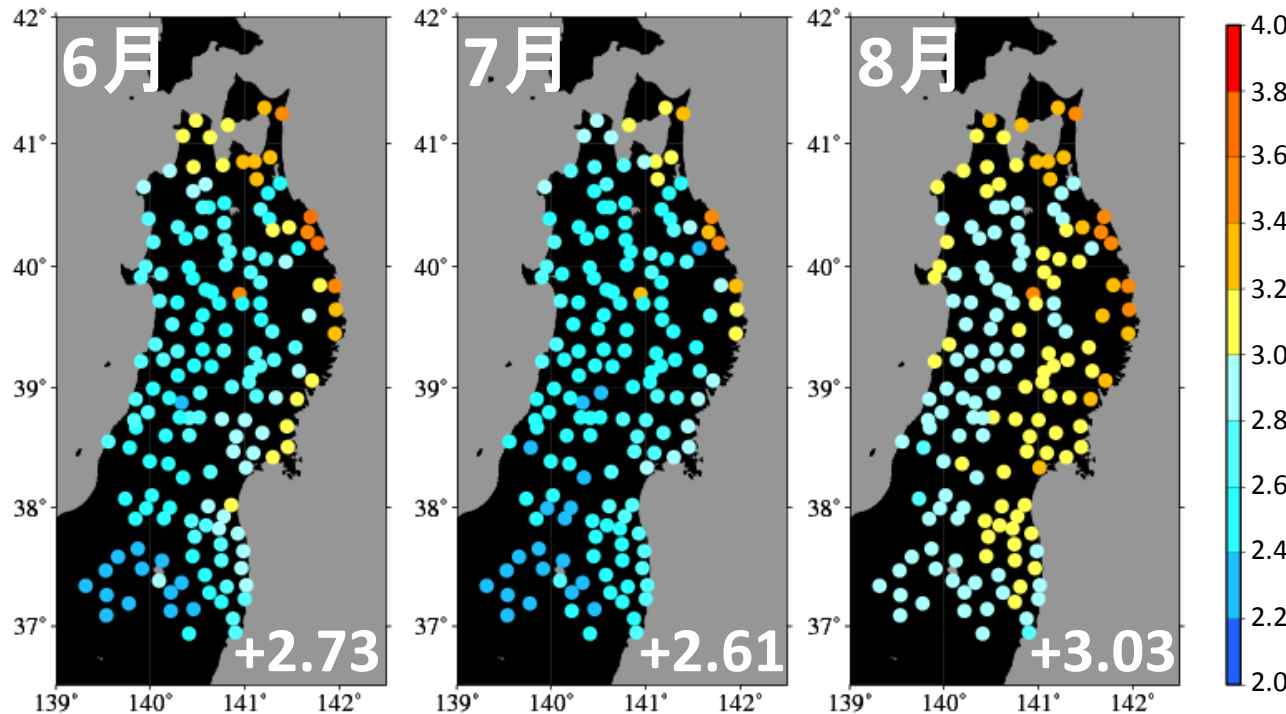
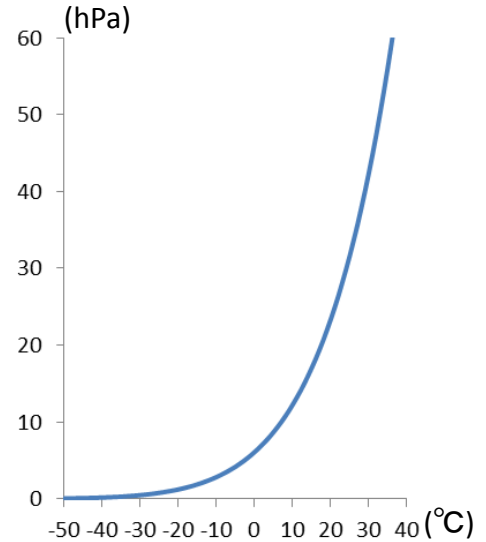
将来、飽差は約24%増大 → 葉面湿潤度の減少傾向と対応

# 2LMの入力値：気温(月平均)

気温上昇に伴い、飽和水蒸気圧 $e_{SAT}$ は指数関数的に増加する。

$$VPD = e_{SAT}(T) - e$$

(右図)  
飽和水蒸気圧と気温の関係



東北全域は夏季平均で約2.8°Cの**気温上昇**が予測された。



飽差が増大する要因

気温(単位は°C)の将来変化量

水稻の水・熱収支を計算可能な陸面過程モデルを用いて、地球温暖化に伴う葉面湿潤度の変化を計算した。

- ✓ 降水 : 降水頻度の減少
- ✓ 陸面過程モデル : 2LMは葉の濡れを概ね再現
- ✓ 葉面湿潤度 : 気温上昇に伴う飽差の増大 → 蒸発量の増加

降水頻度の減少に伴って葉面が降水を捕捉する機会が減少する。  
さらに、捕捉された水は飽差の増大により蒸発する。



将来気候における葉面湿潤度は減少する。

葉面湿潤度が減少するという点では、将来気候において葉いもち病のリスクは低下



## ➤ 葉面湿潤度の将来予測の信頼性向上

気候モデルによる将来予測は不確実性を含む。

→ 複数の気候モデル 異なる温暖化シナリオ

## ➤ 葉いもち病感染リスクの将来変化

葉いもち病感染リスクを評価するためには、他にも濡れ継続時間の解析やそれらと相対湿度・気温などの気象要素が*いもち病*にとって好適か、総合的に考慮する必要がある。

## ➤ 観測項目の充実、短期予報

2LMの入力値にはAMeDASで観測されていない項目もある

→ 観測項目の充実化を図る必要

数値予報モデルのデータを使用し短期予報(7-10日程度)することで、農業分野への貢献が期待される。