

東北の農業気象

Agricultural Meteorology in Tohoku

Vol.63

Mar.2019

報 文

平年期間の変更による水稻の出穂日予測モデルの改良 川方俊和 1

支部大会特別講演会要旨

気候変動と東北の農業気象 山崎剛 13

支部大会研究発表要旨

乱流フラックス観測から推定した蒸散・光合成フラックスの不確実性評価
PIMSIRI Swannapat・坂井七海・小森大輔 17

Understanding seasonality and Evapotranspiration of Soil Water under Tree and Grass Cover
Using Natural Isotopes Danila Podoped・Daisuke Komori・Kei Yoshimura・
Masahiro Tanoue・Hideko Takayanagi・Yasufumi Iryu・Shinichi
Hirano・Yoshinori Otsuki 19

農業気象における温度の重要性～物理学と生命学からの視点～ 皆川秀夫 22

分光および偏光特性の同時測定による植物葉内組織の状態変化の非破壊測定
福田崇人・窪田将己・松嶋卯月・武田純一・庄野浩資 24

低温遭遇量の違いがニンニク‘福地ホワイト（黒石 A 系統）’のりん片分化に及ぼす影響（第 1 報）
町田創 26

広域に適用できるリンゴ‘ふじ’の発芽・開花予測モデルの開発 伊藤大雄 28

水稻多収品種を利用した業務用米生産の取り組みについて 荒川市郎 30

2017 年における夏季の低温寡照が青森県の水稲障害不稔に及ぼした影響 木村利行 32

2018 年 8 月 7 日に山形県遊佐町で発生した乾燥風 大久保さゆり・柴田昇平・横山克至 34

北上川水系のダム貯水池上流域における堆積流量の推定
小森大輔・助川友斗・Thapthai Chaithong 36

支部だより

2018 年度支部大会報告 38

支部会案内

会則・規則 40

投稿規定 46

日本農業気象学会東北支部

(〒020-0198 盛岡市下厨川赤平 4 東北農業研究センター内)

日本農業気象学会東北支部役員名簿（2019・2020年度）

支 部 長	伊藤 大雄	弘前大学
理 事	長谷川利拡	東北農業研究センター
永年功労会員		
表彰審査委員	皆川 秀夫	北里大学
本部評議員	下野 裕之	岩手大学
	小森 大輔	東北大学
評 議 員	木村 利行	青森県産業技術センター農林総合研究所
	熊谷 悦史	東北農業研究センター
	小峰 正史	秋田県立大学
	石川 大太郎	福島大学
	横山 克至	山形県農業総合研究センター
	渡邊 明	福島大学
	永山 宏一	福島県農業総合センター
	吉田 龍平	福島大学
会計監査	松嶋 卯月	岩手大学
	町田 創	青森県産業技術センター野菜研究所
幹事（庶務）	川方 俊和	東北農業研究センター
幹事（会計）	熊谷 悦史	東北農業研究センター
幹事（編集）	中嶋 美幸	東北農業研究センター
顧問	皆川 秀夫	北里大学

平年期間の変更による水稻の出穂日予測モデルの改良

川方俊和

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター

Improvement of method for predicting heading dates of rice plants
by finding the optimal averaging period

Toshikazu KAWAKATA

Tohoku Agricultural Research Center NARO, Morioka 020-0198

筆者(2017)は、30年平年日平均気温、水稻の30年平年出穂日を入力値とする発育速度モデルから、出穂日と出穂日の平年差を面的に推定する方法を開発した。この平年期間は、気象庁の気象観測統計指針で定められている10年毎に更新する30年間である。一方、農林水産省が発表する平年期間は、前5か年である。本研究では、平年期間に対する、作柄表示地帯の推定出穂日と実際の出穂日の二乗平均平方根誤差(RMSE)と平均誤差(Bias)を比較し、最適な平年期間を検討する。30年平年期間のRMSEは2.3日であるが、平年期間を直近の年の前年から過去数年としたRMSEは、1.9~2.1日であり、それより小さな値である。平年期間を前年から過去8年としたBiasは、0に近い値である。平年期間は、気象庁が定める30年よりも、前年から過去5年、前年から過去10年とした方が、出穂日と出穂日の平年差の推定精度が高くなる。

キーワード：出穂日，水稻，平年出穂日，1 km²メッシュ

Keywords: heading date, normal heading date, rice plants, 1 km² mesh

1. はじめに

水稻の出穂日予測は、出芽日、または田植日からの有効積算気温(羽生・内島, 1962)に始まり、この概念を応用した発育指数(DVI)が提案されている(Wit *et al.*, 1970; 堀江・中川, 1990)。多くの作物に適用され(例えば、鮫島・岩切, 1987; 川方・岡田, 1989; 川方・横山, 2005; Maruyama *et al.*, 2010)、種々の計算方法が提案されている(竹澤ら,

1989; Takezawa and Tamura, 1991; 川方, 2012)。一方, アメダスデータを空間補間したメッシュデータが作成され(清野, 1993; 菅野, 1997), 実況値, 数値予報値, 平年値を組み合わせた, メッシュ農業気象データが提供されている(大野ら, 2016)。特定地点の田植日とその初期値, または播種日を設定して, 気象データから, 水稻の発育予測を発信するシステムも, 構築されている(農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター・岩手県立大学, 2009)。

川方(2017)は, 面的に比較的均一である, 水稻の平年出穂日を初期値として与えることにより, 出穂日と出穂日の平年差を面的に推定する計算方法を開発した。この計算方法を使用して, 東北地方の水稻の面的出穂期予測を発信するシステムを試みている(農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター, 2017)。

この計算モデルの中では, 入力値として, 平年日平均気温, 平年田植日, 平年出穂日を設定しているが, この平年の期間は, 気象庁が定める平年値の期間を使用している。すなわち, 西暦年の1位が1の年から続く30年間であり, 10年毎に更新される。2018年現在の平年値は, 1981年から2010年までの30年間の平均値である。一方, 農林水産省が発表する出穂期最盛期の対平年差の算出には, 前5か年の平均値が使われている。この平年期間の取り扱い方を検討することにより, 出穂日とその平年差を推定するモデルは, さらに精度が向上する余地が残されている。そこで, 平年期間に対する, 出穂日の推定精度を計算し, 最適な平年期間に変更することによって, より高精度な出穂日とその平年差を面的に計算するモデルに改良する。

水稻の出穂日とその平年差の推定マップを情報発信することにより, 東北地方においてしばしば発生する, 冷害への備えと共に, 冷害防止に有効な水管理に役立つ。また, 農薬散布, 施肥, 農業機械の導入の時期と場所の判断が容易になり, より効率的な省資源型農業の実現に貢献することができる。

2. 方法

2.1 出穂日, 出穂日の平年差を計算するモデル

東北地方の作柄表示地帯21地点の1981年から2010年までの30年間の平年田植日の標準偏差は4.9日, 平年出穂日の標準偏差は2.0日であり, 作柄表示地帯の間では, 平年出穂日の変動が小さいことから, 平年出穂日を基準にして, 出穂日と出穂日の平年差を計算する数値モデルを組み立てた(川方, 2017)。このモデルは, (1)式で表される。

$$DVI(i) = 1 - \sum_{j=e+1}^{\bar{h}} DVR(\bar{T}_j, P_j) + \sum_{j=e+1}^i DVR(T_j, P_j) \quad (1)$$

ここで、 $DVI(i)$ は、 i 日の発育指数、 \bar{e} は、平年田植日、 \bar{h} は、平年出穂日、 \bar{T}_j は、 j 日の平年日平均気温、 T_j は、 j 日の日平均気温、 P_j は、 j 日の日長時間、 $DVR(T_j, P_j)$ は、これらの気象要素の関数である発育速度を表す。

発育指数 (DVI) は、出穂日を0とし、気象要素を変数とする発育速度 (DVR) を積算して、出穂日を1とする指数である。従って、(2)式が成り立つ。

$$DVI(h) = 1 \quad (2)$$

ここで、 h 日は、出穂日を表す。

(1)式は、当年の日平均気温が、平年日平均気温に等しいならば、出穂日は、平年出穂日に等しくなり、出穂日は、平年出穂日を中心に、生育期間の気温が高い程、早い時期になり、気温が低い程、遅い時期になることを示している。出穂日から平年出穂日を引いた値を出穂日の平年差と呼び、(3)式で表す。

$$dh = h - \bar{h} \quad (3)$$

ここで、 dh は、出穂日の平年差を表す。

DVR は、品種ひとめぼれの発育速度式を使用する (鮫島, 2004)。

$$DVR(T_j, P_j) = 0.000636 \cdot T_j - 0.0000968 \cdot P_j - 0.00339 \quad (4)$$

(1)式、(2)式、(3)式、(4)式を用いて、平年田植日、平年出穂日、これらの期間の平年日平均気温、当年の日平均気温、緯度を入力して、出穂日とその平年差を計算する。

2. 2 1 km²メッシュの出穂日と作柄表示地帯の出穂日の推定

以下の手順で、東北地方の1 km²メッシュの出穂日と作柄表示地帯の出穂日を推定する。

昭和56年から平成16年までの作柄表示地帯別作況指数・耕種期日一覧表の田植期と出穂期、および、平成17年から平成29年までの水稻の8月15日現在における作柄概況 (東北) (農林水産省東北農政局, 2017) の田植期と出穂期を用いて、作柄表示地帯の平年田植日、平年出穂日を算出する。

国土数値情報土地利用細分メッシュデータ (国土交通省国土政策局, 2009) と市町村コード (情報政策研究会, 2007) を用いて、1 km²メッシュコード、作柄表示地帯番号、田面積のデータセットを作成する。

次に、作柄表示地帯の間では、平年出穂日の変動が小さいことから、作柄表示地帯内の平

年出穂日の違いも少ないことが推察される。そこで、同一の作柄表示地帯内の各メッシュ地点の平年出穂日は、その作柄表示地帯の平年出穂日に等しいと仮定する（仮定1）。さらに、同一の作柄表示地帯内の各メッシュ地点の平年田植日は、その作柄表示地帯の平年田植日に等しいと仮定（仮定2）することによって、面的に出穂日を推定することが可能になる。農研機構・メッシュ農業気象データ（大野ら，2016）の日平均気温をダウンロードし，(1)式，(2)式，(3)式，(4)式，仮定1，仮定2を用いて，1 km²メッシュの出穂日を推定する。

次に，各1 km²メッシュの出穂日を田面積で重み付け平均を行い，(5)式で作柄表示地帯の出穂日を推定する。

$$\hat{hs}(k, y) = \frac{\sum_{l=1}^{\max l(k)} A_l(k) \cdot h_l(k, y)}{\sum_{l=1}^{\max l(k)} A_l(k)} \quad (5)$$

ここで， k は，作柄表示地帯に割り振った番号（1～21）， $\hat{hs}(k, y)$ は，作柄表示地帯番号 k の計算年番号 y （例えば，2017年は1，2016年は2，・・・，2011年は7に割り振る）における推定出穂日， l は作柄表示地帯内のメッシュ番号， $A_l(k)$ は，作柄表示地帯番号 k のその地帯内のメッシュ番号 l の田面積（km²）， $h_l(k, y)$ は，作柄表示地帯番号 k のその地帯内のメッシュ番号 l の計算年番号 y における推定出穂日， $\max l(k)$ は，作柄表示地帯番号 k のその地帯内のメッシュ数を表す。

作柄表示地帯の推定出穂日と実際の出穂日の二乗平均平方根誤差（Root Mean Square Error, RMSE）を計算し，推定精度を検証する。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{kn} \sum_{y=1}^{yn} \{ \hat{hs}(k, y) - hs(k, y) \}^2}{kn \cdot yn}} \quad (6)$$

ここで， $hs(k, y)$ は，作柄表示地帯番号 k の計算年番号 y における実際の出穂日， kn は，作柄表示地帯番号の総数（21地点）， yn は，計算年番号の総数（7年）を表す。

作柄表示地帯の推定出穂日と実際の出穂日の平均誤差（Bias）を計算し，推定出穂日の偏りを検証する。

$$Bias = \frac{\sum_{k=1}^{kn} \sum_{y=1}^{yn} \{ \hat{hs}(k, y) - hs(k, y) \}}{kn \cdot yn} \quad (7)$$

2. 3 平年期間の設定

気象庁が定める30年間に平年期間を定めるならば、年の経過とともに、平年期間は当年から離れていく。従って、以下の方法で、作柄表示地帯の推定出穂日と実際の出穂日の二乗平均平方根誤差(RMSE)と、平均誤差(Bias)を計算し、最適な平年期間を検討する。

1) 1981年から2010年までの30年間の日平均気温の平均値を30年平年日平均気温、同30年間の田植日の平均値を30年平年田植日、同30年間の出穂日の平均値を30年平年出穂日と呼ぶことにする。30年平年日平均気温、30年平年田植日、30年平年出穂日を入力値として、出穂日を推定する。2017年から2011年までの7年について、出穂日の推定を繰り返し、二乗平均平方根誤差(RMSE)、平均誤差(Bias)を求める。

2) 平年値の更新が出穂日の予想結果に及ぼす影響を評価するため、当年を2017年とし、平年期間をその前年を含む過去 N 年とし、この期間の日平均気温、田植日、出穂日の平均値を求める。平年期間の長さの影響を評価するため、年数 N は1年から30年まで条件を変えて計算する。これらにより求めた平年日平均気温、平年田植日、平年出穂日を入力値として、出穂日を推定する。2017年から2011年までの7年について、出穂日を繰り返し計算し、7年分をまとめたRMSEとBiasを求める。平年期間とRMSE、Biasの関係から、最適な平年期間を検討する。

特に、直近の年の前年を含む過去10年間の日平均気温の平均値を10年平年日平均気温、同10年間の田植日の平均値を10年平年田植日、同10年間の出穂日の平均値を10年平年出穂日と呼ぶことにする。また、前年を含む過去5年間の日平均気温の平均値を5年平年日平均気温、同5年間の田植日の平均値を5年平年田植日、同5年間の出穂日の平均値を5年平年出穂日と呼ぶことにする。

3. 結果

3. 1 平年田植日、平年出穂日と平年気温の特徴

東北地方の作柄表示地帯毎の田植日、出穂日から、作成した平年田植日、平年出穂日のメッシュ図を図1に示す。

東北地方の30年平年田植日、2017年の10年平年田植日、2017年の5年平年田植日は、それぞれ、5月15日、5月18日、5月18日であり、30年平年田植日を基準にすると、2017年の10年平年田植日は、+3日、2017年の5年平年田植日は、+3日、遅い時期に移動している。

また、東北地方の30年平年出穂日、2017年の10年平年出穂日、2017年の5年平年出穂日は、それぞれ、8月9日、8月6日、8月5日であり、30年平年出穂日を基準にすると、2017年の10年平年出穂日は、-3日、2017年の5年平年出穂日は、-4日、早い時期に移動している。

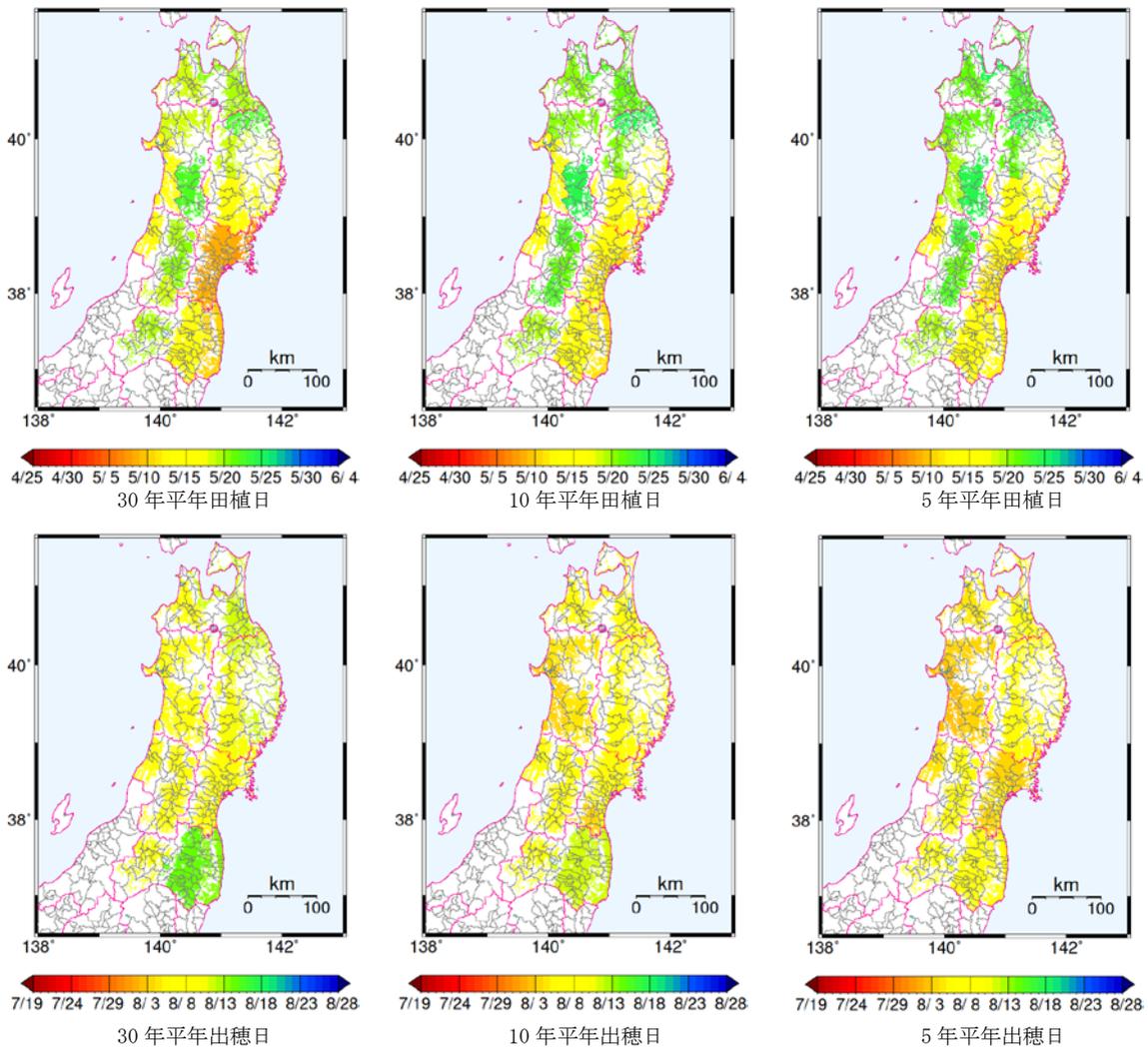


図1 東北地方の平年田植日，平年出穂日の区分図。

上：平年田植日，下：平年出穂日，左：30年平年（1981年～2010年），中：2017年の10年平年（2007年～2016年），右：2017年の5年平年（2012年～2016年）。

東北地方の30年平年田植日（5月15日）から30年平年出穂日（8月9日）までの期間における，平年日平均気温の平均値の1 km²メッシュ図を描いた（図2）。30年平年日平均気温の平均値に比べて，2017年の10年平年日平均気温の平均値，2017年の5年平年日平均気温の平均値の方が高い。東北地方全体の平均値を計算したところ，30年平年日平均気温の平均値，2017年の10年平年日平均気温の平均値，2017年の5年平年日平均気温の平均値は，それぞれ，20.2℃，21.2℃，21.4℃であり，30年平年日平均気温の平均値を基準にすると，2017年の10年平年日平均気温の平均値は，+1.0℃，2017年の5年平年日平均気温の平均値は，+1.2℃高い。

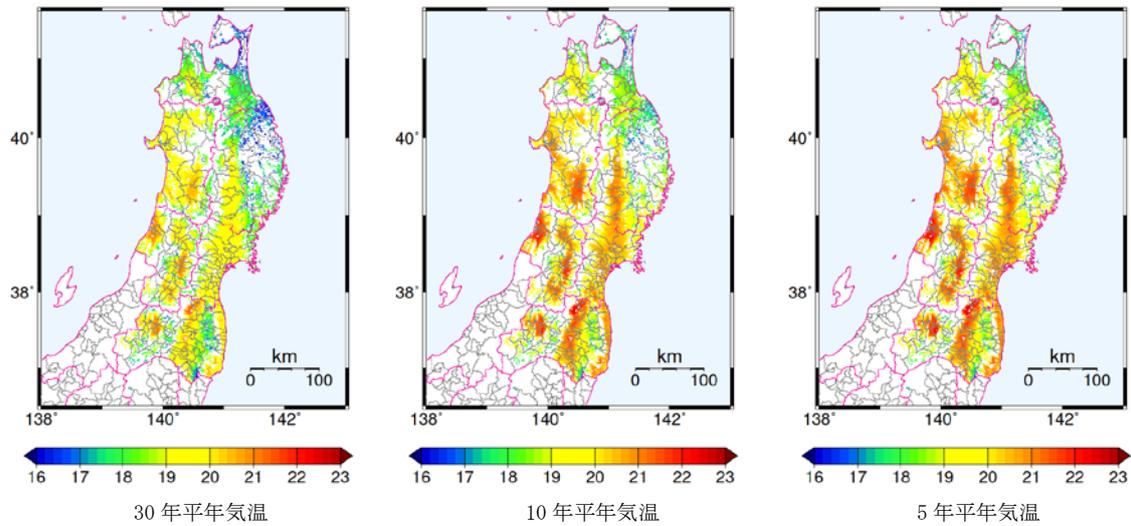


図2 東北地方の5月15日から8月9日までの日平均気温の平均値。

左：30年平年（1981年～2010年），中：2017年の10年平年（2007年～2016年），右：2017年の5年平年（2012年～2016年）。

3. 2 二乗平均平方根誤差（RMSE）と平均誤差（Bias）

30年平年日平均気温，30年平年田植日，30年平年出穂日を入力値として計算した，東北地方の作柄表示地帯の推定出穂日と実際の出穂日の二乗平均平方根誤差（RMSE）は，2.3日であり，平均誤差（Bias）は-1.0日であった。

方法の2. 3の2）で求めた，平年期間の年数とRMSEとBiasの関係を図3に示す。3年～22年に平年期間を設定したRMSEは1.9～2.1日であり，30年平年の2.3日よりも小さな値である。このうち，平年期間が8年，10年，18年で，RMSEが2.0日未満である。

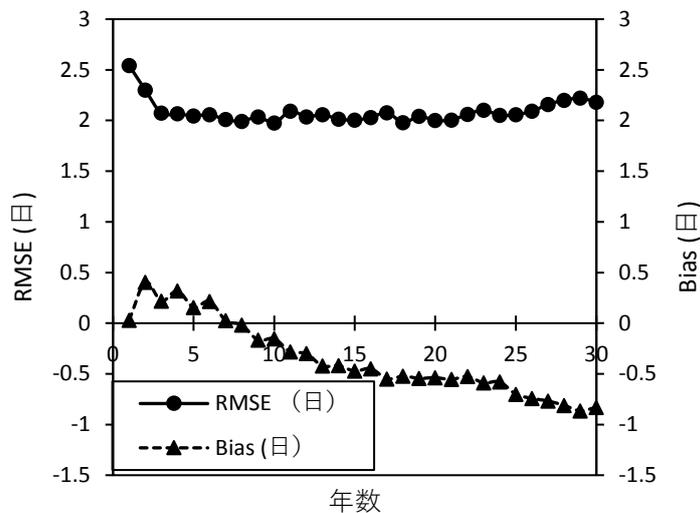


図3 平年期間の年数とRMSE, Biasの関係。

Bias は、30 年平年の-1.0 日に比べて、0 日に近い値であり、その値は、平年期間が短くなるにつれて、大きくなる傾向がみられる。特に、平年期間が8 年で、Bias が-0.0 日となり、その絶対値が最も 0 に近い値を示している。

平年期間は、気象庁が定める 30 年平年よりも、評価当年の 2017 年について、前年から過去数年の期間に設定した方が、出穂日の推定精度は向上することが明らかになった。

3. 3 推定出穂日と実際の出穂日の推移

30 年平年値を入力値として計算した出穂日は、実際の出穂日に比べて、早めの時期になる地域がある。秋田県県南と山形県最上は、隣接した地帯であるが、2010 年頃から、山形県最上の推定出穂日は、実際の出穂日より、早い時期になり、誤差が拡大した。一方、秋田県県南の推定出穂日は、このような誤差の拡大が見られなかった（図4）。10 年平年値、5 年平年値を入力値として計算した山形県最上の推定出穂日は、2010 年以降も、実際の出穂日の推移に追随している（図4右）。30 年平年値を入力値として計算した出穂日が、実際の出穂日に比べて早めの時期になる地域では、前年から過去 10 年、前年から過去 5 年を平年期間として設定することにより、出穂日の推定精度は向上することが明らかになった。

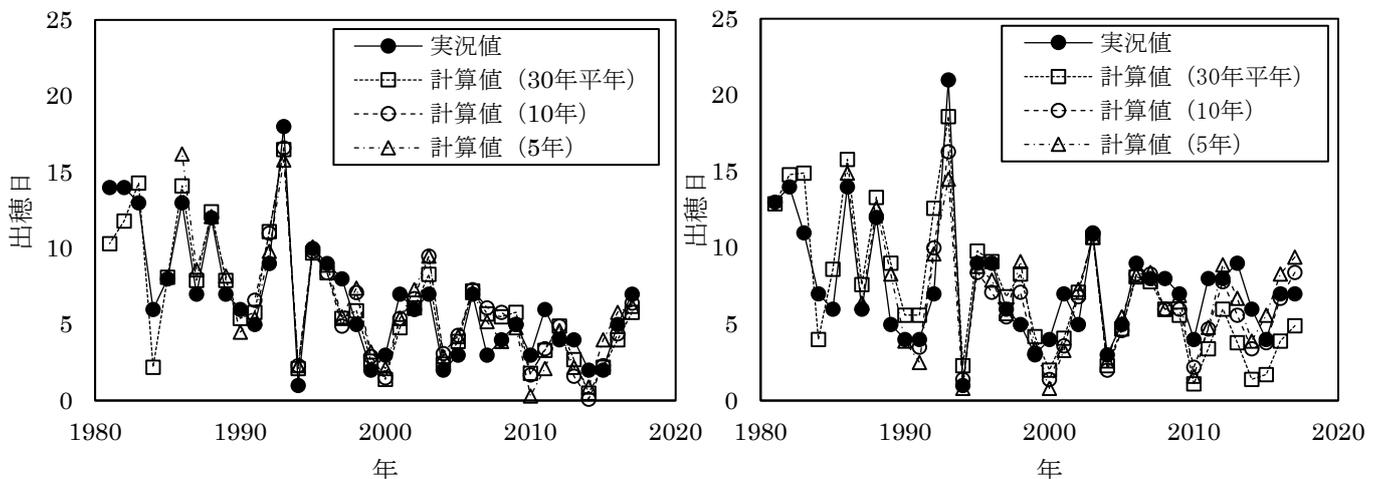


図4 出穂日の計算値と実際の出穂日（実況値）の比較。

左：秋田県県南，右：山形県最上，出穂日は8月の暦日を表す。

3. 4 2017 年の推定出穂日と実際の出穂日の比較

2017 年の東北地方の出穂日と出穂日の平年差を計算して、メッシュ図を作成した。次に、東北農政局が発表する、2017 年の実際の出穂日と出穂日の平年差の区分図を作成し、両者を比較した（図5）。

30 年平年値を入力値として計算した出穂日の平年差は、太平洋側では早まる傾向が見られる。一方、2017 年の 10 年平年値を入力値として、計算した出穂日の平年差は平年並みで

あり、2017年の5年平年値を入力値として、計算した出穂日の平年差は、おおよそ平年並みであり、日本海側では平年よりも遅れる傾向が見られる。2017年の実際の出穂日の平年差は、実際の出穂日と前年から過去5年の平年出穂日との差であるが、おおよそ平年並みであり、一部の地帯では平年よりも遅れる傾向が見られる。2017年の5年平年値を入力値として計算した出穂日の平年差が、30年平年値、2017年の10年平年値を入力値として計算した出穂日の平年差よりも、実際の出穂日の平年差をよく表現している。また、平年期間の設定によって、出穂日の平年差のメッシュ図が大きく異なることが判明した。

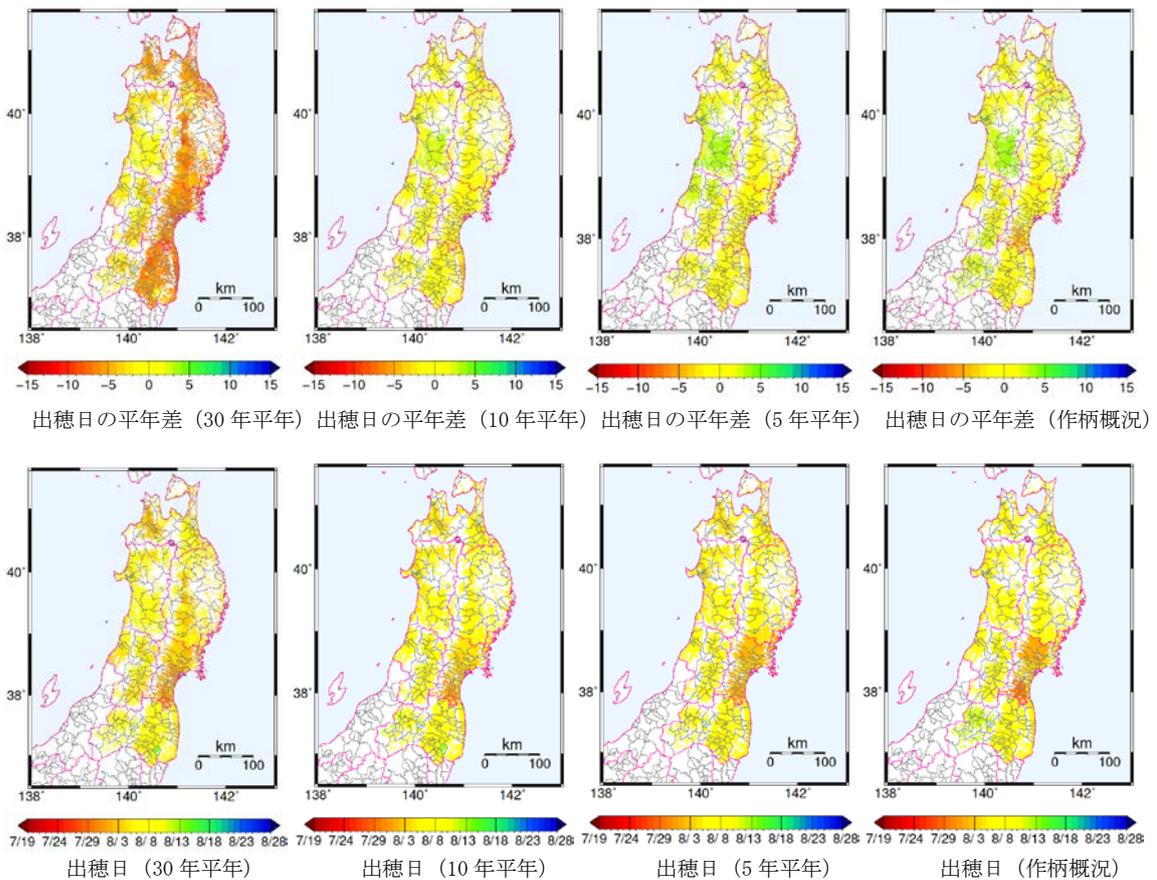


図5 2017年の東北地方の出穂日とその平年差の推定メッシュ図と
実際の出穂日とその平年差の区分図の比較.

上：出穂日の平年差，下：出穂日，

左から30年平年，2017年の10年平年，2017年の5年平年，右端は2017年の東北農政局発表を作図.

東北地方の2017年の実際の出穂日は、7月29日（宮城県南部）～8月11日（福島県会津），東北全体で8月6日である。一方，30年平年値を入力値として計算した出穂日は，7

月 31 日～8 月 8 日，東北全体で 8 月 5 日である。10 年平年値を入力値として計算した出穂日は，7 月 31 日～8 月 10 日，東北全体で 8 月 6 日である。5 年平年値を入力値として計算した出穂日は，8 月 1 日～8 月 9 日，東北全体で 8 月 6 日である。東北全体における，30 年平年値を入力値とした出穂日と実際の出穂日の差は， -1.0 日，10 年平年値を入力値とした出穂日と実際の出穂日の差は， $+0.2$ 日，5 年平年値を入力値とした出穂日と実際の出穂日の差は， -0.2 日である。30 年平年値を入力値として計算した出穂日に比べて，10 年平年値を入力値として計算した出穂日，5 年平年値を入力値として計算した出穂日の方が，実際の出穂日をよく表現している。

4. 考察

筆者（2017）は，30 年平年日平均気温，30 年平年田植日，30 年平年出穂日を入力値として，日平均気温と発育速度モデルから，水稻の出穂日とその平年差を面的に推定する計算方法を開発した。

この計算方法を用いて，2011 年から 2017 年の 7 年間について出穂日を推定したところ，その推定出穂日は，実際の出穂日より早い時期になる地帯があることが判明した。

1981 年～2010 年の 30 年平年の気温よりも，2012 年から 2016 年の 5 年平年の気温の方が高い。また，1981 年～2010 年の 30 年平年の田植日より，2012 年から 2016 年の 5 年平年の田植日の方が遅い時期である。さらに，1981 年～2010 年の 30 年平年の出穂日より，2012 年から 2016 年の 5 年平年の出穂日の方が早い時期である。このように，気温の上昇，田植日の遅れ，出穂日の早まりによって，実際の出穂日との誤差が大きくなる地帯が生じたと思われる。したがって，気候の変化，作季の変化の影響をより少なくするためには，気象庁が定める 30 年間とするよりも，前年から過去数年間を平年期間として定めた方が，出穂日の推定精度は向上する。具体的には，10 年平年値，5 年平年値などの気象データを整備することが，生育予測を行う上で重要である。

謝辞

本研究を進めるに当たり，東北農政局統計部より，作柄表示地帯別水稻作況指数・耕種期日一覧表をご提供頂いた。また，「水稻の 8 月 15 日現在における作柄概況（東北）」（出典：東北農政局ホームページ）の田植期，出穂期を使わせて頂いた。農研機構・農環研・メッシュ農業気象データを利用させて頂いた。農研機構・東北農業研究センター大久保さゆり博士より，GMT ソフトウェアの使用方法について，ご教示を頂いた。同長谷川利拓博士より，ご助言を頂いた。ここに感謝の意を表します。

引用文献

- 羽生寿郎・内島立郎, 1962: 作物の生育と気象に関する研究 第一報水稻の出穂期と気温の関係(1). 農業気象 **18**, 109-117.
- 堀江 武・中川博視, 1990: イネの発育過程のモデル化と予測に関する研究 第1報モデルの基本構造とパラメータの推定法および出穂予測への適用. 日本作物学会紀事 **59**, 687-695.
- 情報政策研究会 編, 2007: 全国地方公共団体コード (平成 19 年度版) . 第一法規, 東京, pp. 410.
- 菅野洋光, 1997: ヤマセ吹走時におけるメッシュ日平均気温の推定. 農業気象 **53**, 11-19.
- 川方俊和, 2017: 30 年平均の平年出穂日を用いた水稻の出穂日の推定. 生物と気象 **17**, 77-82.
- 川方俊和, 2012: 多項式で表した作物の発育速度の線形最小二乗法を用いた計算方法. 生物と気象 **12**, 52-58.
- 川方俊和・岡田益己, 1989: 発育指数を用いた水稻の幼穂形成始期と出穂期の推定. 農業気象 **45**, 137-142.
- 川方俊和・横山宏太郎, 2005: 気象要因・土壌条件に基づくキャベツの生育予測技術の開発. ファーミングシステム研究 **7**, 85-92.
- 国土交通省国土政策局, 国土数値情報土地利用細分メッシュデータ平成 21 年度, <http://www.mlit.go.jp/ksj/index.html> (アクセス日: 2012/03/20) .
- Maruyama A, Kurose Y, Ohba K, 2010: Modeling of phenological development in winter wheat to estimate the timing of heading and maturity based on daily mean air temperature and photoperiod, *Agricultural and Forest Meteorology* **66**, 41-50.
- 農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター, 水稻の面的出穂期予測, <http://www.headmesh.affrc.go.jp/> (アクセス日: 2017/03/20) .
- 農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター・岩手県立大学, Google Map による気象予測データを利用した農作物警戒情報, <http://map2.wat.soft.iwate-pu.ac.jp/narct2015/newaccount/> (アクセス日: 2015/03/20) .
- 農林水産省東北農政局, 平成 29 年産水稻の 8 月 15 日現在における作柄概況 (東北) , <http://www.maff.go.jp/tohoku/stinfo.index> (アクセス日: 2017/09/20) .
- 大野宏之・佐々木華織・大原源二・中園 江, 2016: 実況値と数値予報, 平年値を組み合わせたメッシュ気温・降水量データの作成. 生物と気象 **16**, 71-79.
- 鮫島良次, 2004: 水温を考慮しないモデルによる北日本の水稻発育予測について. 農業気象 **60**, 67-75.
- 鮫島良次・岩切 敏, 1987: 気象と大豆の生育動態に関する研究(1)開花までの期間におけ

- る発育速度と日長・気温の関係. 農業気象 **42**, 375-380.
- 清野 豁, 1993: アメダスデータのメッシュ化について. 農業気象 **48**, 379-383.
- Takezawa K, Tamura Y, 1991: Use of smoothing splines to estimate rates of development, *Agricultural and Forest Meteorology* **57**, 129-145.
- 竹澤邦夫・田村良文・小野祐幸, 1989: 作物の発育ステージのノンパラメトリック推定の有効性. 農業気象 **45**, 151-154.
- Wit C T de, Brouwer R, Penning de Vries F W T, 1970: The simulation of photosynthetic systems. *Proc. of the IBP/PP Technical Meeting*, PUDOC, Wageningen, 47-70

講演要旨

気候変動と東北の農業気象

山崎 剛 (東北大学大学院理学研究科)

1. はじめに

筆者は植生地の熱収支について、主に陸面過程モデルを用いて研究を行ってきた。陸面過程モデルは気象条件や地表面の状態（植生量、土壌の性質など）を与えて、植生や土壌の温度、水分状態、大気との熱・水交換料などを推定するものである。天気予報などで用いられる数値モデルの下部境界にも用いられる。葉面温度や葉面保水量、キャノピー空間の温度、湿度、風速、土壌温度、土壌水分などの推定が可能のため、農業気象にも応用できる。

本稿では東北大学気象学研究室で開発してきた陸面過程モデル 2LM の概要、2LM を用いた葉面濡れの再現やいもち病被害面積の将来変化について述べる。次に、近年の気象予報に用いられているアンサンブルダウンスケーリングによる気象予報の利用について述べる。続いて、筆者が関わっている気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT) で行われている近未来の気候予測を紹介する。最後に現在、計画している日本領域高解像度再解析の構想と可能性について触れる。

2. 陸面過程モデル 2LM

陸面過程モデル 2LM は図 1 に示すように、植生の葉層を上下 2 層に分け、各層の熱収支を解くことにより大気と地表面間のエネルギーフラックスや葉面温度、葉面保水量を推定するモデルである (Yamazaki et al. 2004)。モデルの入力は気象データ（日射、下向き長波放射、気温、風速、湿度、降水量）である。葉面保水量は、降水の各層での遮断と蒸発量から計算している。モデルの開発にあたっては、1980 年前後の堀江武先生の群落モデルも参考にした。

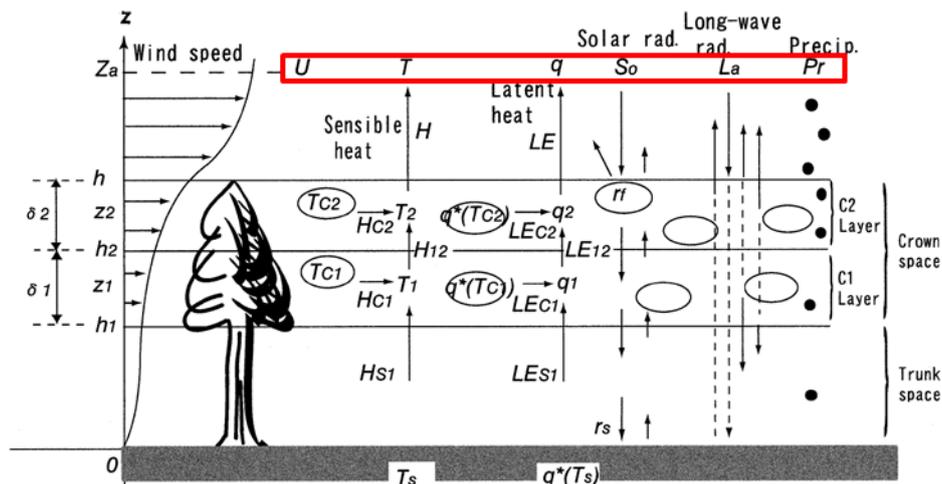


図 1 陸面過程モデル 2LM の概念図

3. 2LM による葉面濡れの再現

モデルの検証のために、宮城県の古川、川渡、鹿島台（いずれも大崎市）において気象要素とともに葉面濡れセンサー (Campbell 社、LWS-L) による観測を 2013 年から 2015 年にかけて行った。2LM による濡れは 75.1% の的中率であった。

4. いもち病被害面積の将来変化

五十嵐 (2014) は陸面過程モデル 2LM を用いて東日本におけるいもち病被害面積の将来予測を行った。気象再解析データをダウンスケールしたデータを入力して、2LM により葉面保水率を計算した。これに基づき葉の濡れ日数といもち病被害面積の関係式を導き、気候モデルによる将来気候予測値を用いて将来を予測した結果、東日本全域で被害面積は現在の約 0.7 倍となり、特に東北地方太平洋側南部で減少率が大きいことがわかった。

また、Yoshida et al. (2015) は 2LM に 3 種類の全球気候モデル (GCM) から 20 km にダウンスケールしたデータを適用して、葉面濡れの将来予測を行った (図 2)。多くの地域、モデルでは濡れは減少すると予測された。

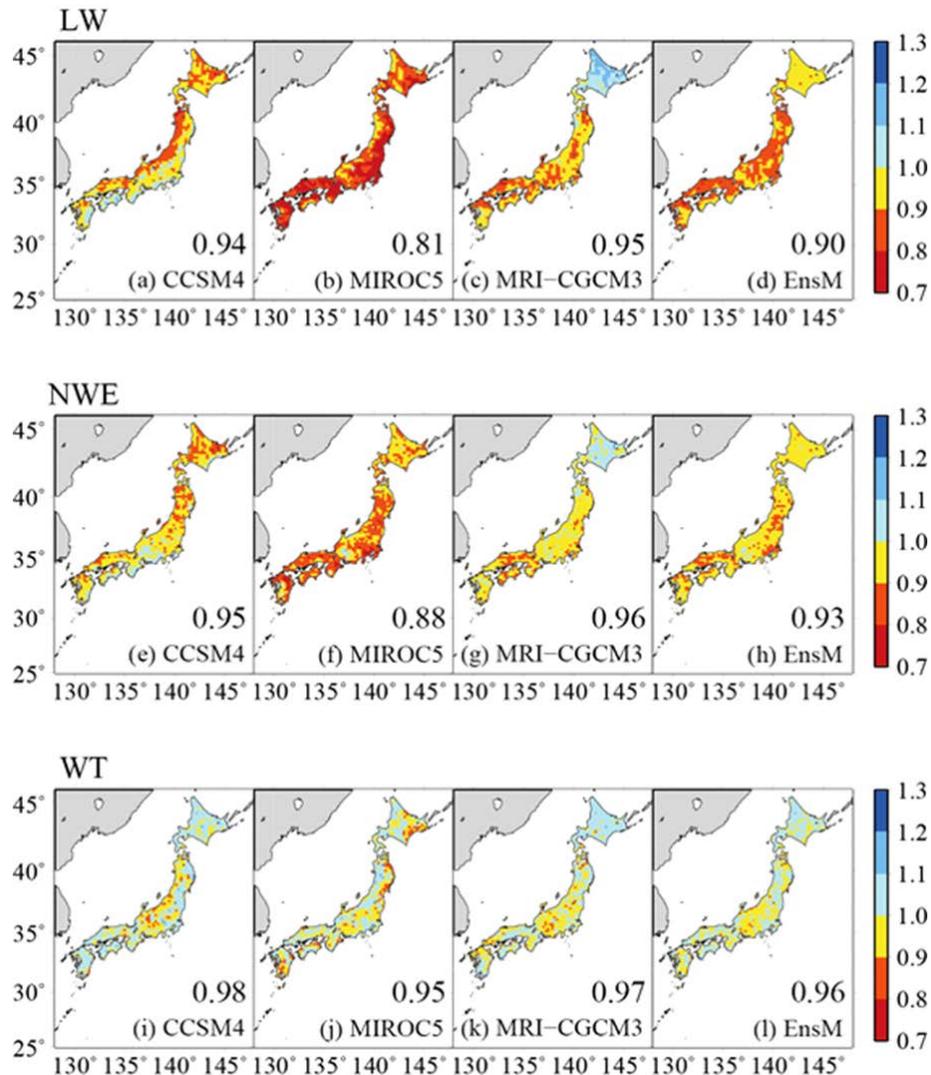


図 2 葉面濡れの将来変化率。上から、葉面保水率、濡れイベント数、イベント当たりの濡れ時間 (Yoshida et al., 2015)。それぞれ左 3 枚は個々の GCM の結果、一番右はアンサンブル平均。

5. 週間アンサンブルダウンスケーリング気象予報データの高度利用

池田 (2018) は週間アンサンブル予報から葉の濡れの確率予測について検討した。湿度をしきい値として用いる経験的な手法に比べ、陸面過程モデルを用いる方法は結露の再現性に優れ予報成績が向上することを示した。

6. 超高解像度ダウンスケーリングによる気候予測

気候変動適応法が成立し、自治体や企業での適応策の検討が急がれている。地方自治体等が行う気候変動適応策の検討・策定に生かされるような信頼性の高い近未来の気候変動予測技術の開発などを目的として、気候変動適応技術社会実装プログラム（SI-CAT）が実施されている。東北大は技術開発機関の1つとして、超高解像度ダウンスケーリング技術の開発を担当した。大規模アンサンブル気候予測データ d4PDF の領域実験（空間解像度 20 km）を基に、領域気候モデルによってダウンスケーリングを実施した。まず、東北から九州にかけての解像度 5 km の実験を実施し、続いてモデル自治体である長野県を中心とする 1km 解像度の実験を行った。アンサンブル実験を行うことで、低頻度現象の将来予測も可能となる。たとえば、将来は弱い降雪の頻度は減少するが、場所によっては強い降雪の頻度は増加する可能性などが示されている。5 km のデータは比較的汎用性があり、農業分野での利用も可能と考えられる。

7. 日本領域高解像度再解析

気候変動の影響と目される気象の変化が顕在化し、豪雨・土砂災害につながる顕著現象が増加している。観測データを同化した長期間にわたる均質なデータである再解析データは、過去と現在の気象現象の定量的な解析や各種モデルの入力に広く利用されている。現在の長期再解析は全球再解析が中心で、水平解像度が 50 km 程度のものである。しかし、メソ気象現象や地域の問題を扱うには不十分である。このため、海外では水平解像度数 km の領域再解析が行われつつあるが、日本ではまだ予備的な研究にとどまっている。

東北大では、時間的な均質性を保つために従来型観測データのみを同化する日本領域高解像度再解析に取り組んでいる。領域再解析は地域の温暖化影響の詳細な評価のほか、超高解像度ダウンスケーリングへの側面境界値、災害、水資源管理、農業、産業利用などの各種サブモデルの入力として利用することができる。

Fukui et al. (2018) は領域再解析の実現可能性を探る研究として、気象庁非静力学モデルを用いて 2014 年 8 月をターゲットに水平解像度 5 km の実験を行った。その結果、データ同化をしない従来型のダウンスケーリングに比べて海面気圧分布や台風のまわりの降水分布などの再現性が大幅に改善された。解像度については 25 km に比べ、5 km では降水量分布やヤマセ時の風の場や日射分布などをより詳細に再現できた。図 3 に領域再解析によるヤマセ時の東北地方の日射量の例を示す。解像度 5 km の領域再解析では仙台平野など太平洋側の寡照がよく再現されている。

8. まとめと今後

陸面過程モデルで葉面濡れを推定することが可能で、適切な気象要素の短中期予報や将来予測データがあれば、作物の病害につながる葉の濡れの予報や病害危険度の将来予測が可能である。いもち病やモモ穿孔細菌病への適用が期待される。また、陸面過程モデルは霜の推定も可能なので、霜害の予報、将来予測にも応用できる可能性がある。アンサンブルを活用することにより、確率情報や予報の不確実性を付加することができる。領域再解析は地域の気候変動解析や農業関係の各種モデルの入力に使うことができるほか、様々な利用可能性をもっている。

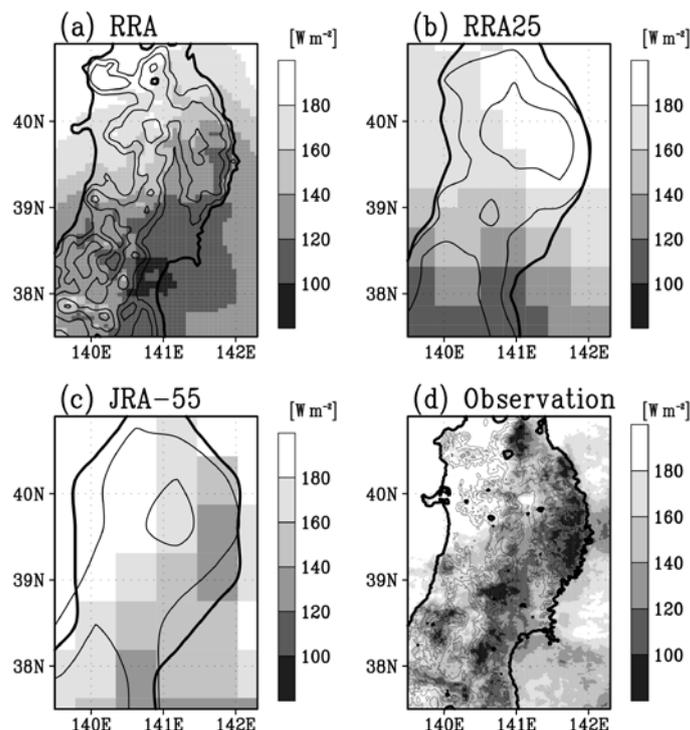


図3 領域再解析で得られた日射量の分布 (Fukui et al., 2018)。2014年8月25～31日の平均。(a)領域再解析5 km、(b)同25 km、(c)全球再解析JRA-55、(d)衛星MODIS観測による推定値。

謝辞

本稿の一部は、内閣府戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 「次世代農林水産業創造技術」(管理法人：生研支援センター) ならびに文部科学省の気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT) によって実施されました。

引用文献

Fukui, S., T. Iwasaki, K. Saito, H. Seko and M. Kunii, 2018: A Feasibility Study on the High-Resolution Regional Reanalysis over Japan Assimilating Only Conventional Observations as an Alternative to the Dynamical Downscaling. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 96, 565-585.

五十嵐健祐, 2014: 陸面過程モデルを用いたもち病被害面積の将来予測. 東北大学修士論文, pp42.

池田翔, 2018: 気象庁全球週間アンサンブル予報システム(WEPS)を用いた東北地方におけるダウンスケーリング予報実験 -イネ葉面濡れ確率予報に向けて-. 東北大学修士論文, pp104.

Yamazaki, T. H. Yabuki, Y. Ishii, T. Ohta and T. Ohata, 2004: Water and Energy Exchanges at Forests and a Grassland in Eastern Siberia Evaluated using a One-dimensional Land Surface Model. *J. Hydrometeorology*, 5, 504-515.

Yoshida, R., Y. Onodera, T. Tojo, T. Yamazaki, H. Kanno, I. Takayabu and A. Suzuki-Parker, 2015: An application of a physical vegetation model to estimate climate change impacts on rice leaf wetness. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 54, 1482-1495.

講演要旨

乱流フラックス観測から推定した
蒸散・光合成フラックスの不確実性評価

University of Phayao 非会員 PIMSIRI Swannapat

東北大学大学院 学生会員 ○坂井 七海

東北大学大学院 正会員 小森 大輔

1. はじめに

気候変動が生態系に及ぼす影響や、生態系が地球環境に与える影響を考える上で、生物圏の水・CO₂ フラックスの挙動を把握することは重要である。陸域生態系では陸と大気の間で光合成や呼吸、土壌呼吸によって CO₂ の交換が行われている。中でも植物の光合成による二酸化炭素固定はグローバルな炭素循環において主要なフローの一つであり、蒸発散量や CO₂ 収支といった観点から植物が大気に与える影響について研究が進められている¹⁾²⁾。

フラックス観測は、理論上均一地表面で行わなければならないという制約がある。そのため多くは畑や水田、草原など一つの土地利用で形成されている均一地表面上で実施されている。しかし、現実の多くの地表面は不均一である。不均一地表面の例として、様々な樹種から構成されている森林、森林や畑が混在している区域や、道路やビルが混在する都市などが挙げられる。このように多くの地表面は不均一であるため、不均一地表面がフラックスに与える影響を明らかにすることは重要である。Kim *et al.*³⁾ はフラックスの変動係数を用いて、地表面の不均一性を評価できる可能性を示した。

本研究では、潜熱、CO₂ フラックスを気孔由来の蒸散、光合成フラックスと、非気孔由来の蒸発、土壌呼吸フラックスに分離し、気孔由来フラックスの不確実性評価を行うことで、植物群落がフラックスに与える影響を解明し、群落スケールでの植物生理メカニズムを理解することを目的とした。

2. データセット

対象地点はタイのスコタイ県に位置する水田地帯（北緯 17° 03' 51", 東経 99° 42' 15"）である。観測地点の地上高さ 7m において 10Hz 周期で xyz 方向の風速、気温、CO₂ 濃度及び H₂O 濃度を観測した。観測期間は 2004 年 7 月から 2009 年 3 月である。観測タワーでは毎時で周辺写真データ、30 分毎に水位なども観測している。観測地点の水田は天水田であるため、降雨による湛水状態によって 4 つの生育段階に分けられる。イネの生育段階を図 1 に示す。苗代期と生殖成長期は湛水しており、栄

養成長期、熟成期は湛水していない。本研究では、フラックスタワーで 1 時間毎に撮影した写真データで植物の有無を確認し、同タワーで観測した水位データをもとに湛水時期を判断し、生育段階を決定した。

3. 手法

3.1. 潜熱・CO₂ フラックスの分離

観測値からフラックスを算出するために、渦相関法を用い、潜熱・CO₂ フラックスを気孔プロセスの蒸散と光合成、非気孔プロセスの蒸発と土壌呼吸に分類した^{4) 5)}。フラックス分離には 2 つの定義を前提とする。第一に、潜熱・CO₂ フラックスは気孔プロセスと非気孔プロセスに分けることができる。

$$F_q = F_{qt} + F_{qe} \quad (1a)$$

$$\overline{w'q'} = \overline{w'q'_t} + \overline{w'q'_e} \quad (1b)$$

$$F_c = F_{cp} + F_{cr} \quad (2a)$$

$$\overline{w'c'} = \overline{w'c'_p} + \overline{w'c'_r} \quad (2b)$$

$$q' = q'_t + q'_e \quad (3)$$

$$c' = c'_p + c'_r \quad (4)$$

F_q : 潜熱フラックス q' : H₂O濃度
 F_{qt} : 蒸散フラックス c' : CO₂濃度
 F_{qe} : 蒸発フラックス q'_t : 蒸散によるH₂O濃度
 F_c : CO₂フラックス q'_e : 蒸発によるH₂O濃度
 F_{cp} : 光合成フラックス c'_p : 光合成によるH₂O濃度
 F_{cr} : 土壌呼吸フラックス c'_r : 土壌呼吸によるH₂O濃度
 w' : 鉛直風速の偏差

第二に水利用効率(WUE)は、植物の CO₂ 摂取量に対する水損失であると定義する。

$$WUE = \frac{\overline{w'c'_p}}{\overline{w'q'_t}} \quad (5)$$

$$F_c = WUE(\overline{w'q'_t}) + \overline{w'c'_r} \quad (6)$$

$$WUE = \frac{c'_p}{q'_t} \quad (7a)$$

$$c'_p = WUEq'_t \quad (7b)$$

$$\sigma^2_{c'_p} = -WUE^2 \sigma^2_{q'_t} \quad (8)$$

ここで Scanlon and Sahu⁴⁾ が提唱した近似式を用いて、

$$\rho_{q'_t, q'_c} \equiv \frac{\overline{q'_t q'_c}}{\sigma_{q'_t} \sigma_{q'_c}} \cong \frac{\rho_{w', q'_e}}{\rho_{w', q'_t}} = \frac{\overline{w' q'_e} \sigma_{q'_t}}{\overline{w' q'_t} \sigma_{q'_e}} \quad (9)$$

$$\rho_{c'_p, c'_r} \equiv \frac{\overline{c'_p c'_r}}{\sigma_{c'_p} \sigma_{c'_r}} + \frac{\rho_{w', c'_r}}{\rho_{w', c'_p}} = \frac{\overline{w' c'_r} \sigma_{c'_p}}{\overline{w' c'_p} \sigma_{c'_r}} \quad (10)$$

$\sigma_{cp'}$: 光合成濃度の標準偏差

$\rho_{q_t', q_e'}$: 蒸散濃度と蒸発濃度の相関係数

$\rho_{c_p', c_r'}$: 光合成濃度と土壌呼吸濃度の相関係数

一つ目の定義より各フラックスの物理メカニズムは以下のように表すことができる。

$$\rho_{q_t', c_p'} = -1 \tag{11}$$

$$\rho_{q_e', c_r'} = +1 \tag{12}$$

$$\rho_{q_t', q_e'} = -\rho_{c_p', c_r'} \tag{13}$$

また, Luigi et al., 2014⁵⁾ が \tilde{q} と \tilde{c} を

$$\tilde{q} = \frac{\overline{w'q_e'}}{\overline{w'q_t'}}, \tilde{c} = \frac{\overline{w'c_r'}}{\overline{w'c_p'}} \tag{14}$$

と定義し,

$$\frac{\tilde{q}^2}{\rho_{c_p', c_r'}^2} + 2\tilde{q} + 1 - \left(\frac{\sigma_{q'} WUE}{\sigma_{c_p'}} \right) = 0 \tag{15}$$

$$\frac{\tilde{c}^2}{\rho_{c_p', c_r'}^2} + 2\tilde{c} + 1 - \left(\frac{\sigma_{c_r'}}{\sigma_{c_p'}} \right)^2 = 0 \tag{16}$$

とした. ゆえに WUE は

$$WUE = \frac{\overline{w'c_p'}}{\overline{w'q_t'}} = \frac{\overline{w'c_r'}}{\overline{w'q_e'}} \frac{1+\tilde{q}_+}{1+\tilde{c}_+} \tag{17}$$

となる. また次の式をニュートン法を用いて解き, 各フラックスを算出することができる.

$$\rho_{q_t', c_r'}^{obs} = \frac{1}{\sigma_{c_r'} \sigma_{q_t'}} \left\{ \frac{\sigma_{c_p'}^2}{WUE} + \rho_{c_p', c_r'} \sigma_{c_p'} \sigma_{c_r'} \left(\frac{1}{WUE} + \frac{\overline{w'q_e'}}{\overline{w'c_r'}} \right) + \sigma_{c_r'}^2 \frac{\overline{w'q_e'}}{\overline{w'c_r'}} \right\} \tag{18}$$

$\sigma_{q_t'}$: H2O濃度の標準偏差 $\overline{w'q_t'}$: H2Oフラックス

$\sigma_{c_r'}$: CO2濃度の標準偏差 $\overline{w'c_r'}$: CO2フラックス

$\rho_{q_t', c_r'}^{obs}$: 潜熱濃度(観測値)とCO2濃度(観測値)の相関係数

3.1. フラックスの時空間不確実性の算出

Kim et al.³⁾ によって示された, 変動係数 ϕ を用いて, フラックス値の時空間不確実性を表す項を式(17)に追加した.

$$\phi = \frac{\sigma_{\overline{w'c_r'}}}{|F|} \tag{19}$$

$$WUE = \frac{\overline{w'c_r'} \pm \sigma_{\overline{w'c_r'}} \frac{1+\tilde{q}_+}{1+\tilde{c}_+}}{\overline{w'q_t'} \pm \sigma_{\overline{w'q_t'}} \frac{1+\tilde{q}_+}{1+\tilde{c}_+}} \tag{20}$$

σ_{wC} は鉛直風速 w と物質濃度 C の標準偏差で F はフラックス値である. ϕ が小さいほど時空間不確実性が小さい. 気象の定常性が崩れたときや, ソースエリアの地表面が不均一であるとき, 時空間不確実性が大きくなる.

4. 結果・考察

図1にフラックス分離の結果を示す. 特にCO2フラックスにおいて植物の成長に伴ってフラックスの時空間不確実性も大きくなった. これは, 植物の成長に伴って植物の個体差が大きくなっていると言える. また, 湛水し

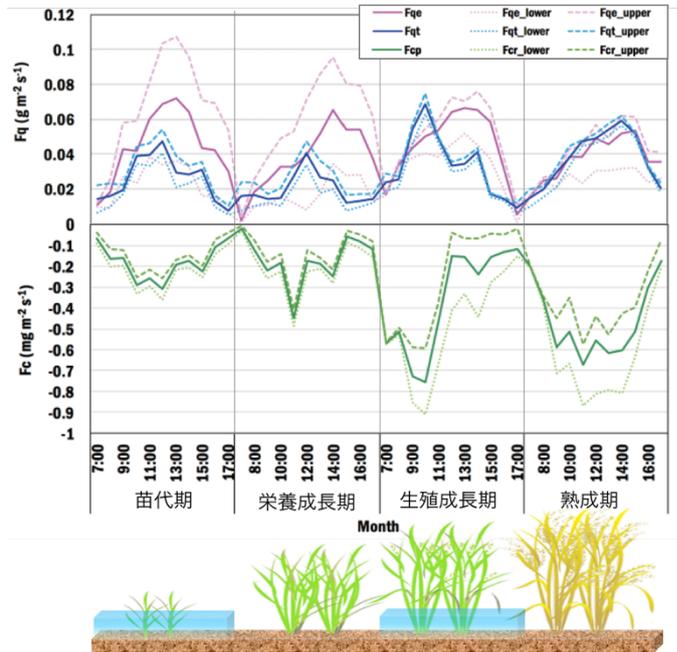


図1 水田キャノピーの観測フラックス

ていない栄養成長期と熟成期において, 日中に光合成フラックスが低下していることがわかる. これは, 植物の昼寝現象が起きていると言える. 植物の昼寝現象とは, 日中に気孔が開き蒸散が盛んに行われると, 根からの吸水が追いつかなくなり, 植物体内の水分量が低下してしまい, 気孔を閉じる現象である. 気孔が閉じてしまうため, 光合成が停止し, 光合成フラックスが低下したと言える.

5. 結論

本研究で以下の結論を得た.

- 1) 植物の成長に伴いフラックスの時空間不確実性が増加した. これは植物の個体差の影響と考察した.
- 2) 湛水していない期間は日中に光合成フラックスが低下した. 植物の昼寝現象が観測されたと考察した.

謝辞: 本研究は, 科学研究費補助金 (15K20858, 代表: 小森大輔) の助成を受けたものである. ここに謝意を示す.

参考文献

- 1) Baldocchi D.D. and C.Vogel.: A comparative study of water vapor, energy and CO2 flux densities above and below a temperate broadleaf and a boreal pine forest: Tree Physiology volume 16, page 5-16, 1996
- 2) 伊藤昭彦, 野口航: 植物の呼吸と地球環境変動, モデルの観点から: 光合成研究 24(1), 39-45, 2014
- 3) Wonsik Kim, Daisuke Komori, Jaehil Cho: The characteristic of fractional uncertainty on eddy covariance measurement: J. Agric. Meteorol. 67 (3): 163-171, 2011
- 4) T.M.Scanlon and P.Sahu: On the correlation structure of water vapor and carbon dioxide in the atmospheric surface layer: A basis for flux partitioning: Water Resource Research, 44(10), W10418, 2008
- 5) Luigi. P., Gianfranco. R., Domenico. V.: Towards a Flux-Partitioning Procedure Based on the Direct Use of High-Frequency Eddy-Covariance Data: Boundary-Layer Meteorology, 153(2), 327-337, 2014

Understanding Seasonality and Evapotranspiration of Soil Water under Tree and Grass Cover Using Natural Isotopes

Danila Podobed¹, Daisuke Komori², Kei Yoshimura³, Masahiro Tanoue⁴, Hideko Takayanagi⁵, Yasufumi Iryu⁵, Shinichi Hirano⁵, Yoshinori Otsuki⁵

¹Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University

²School of Engineering, Tohoku University

³Institute of Industrial Science, University of Tokyo

⁴Graduate School of Engineering and Science, Shibaura Institute of Technology

⁵Graduate School of Science, Tohoku University

1. Introduction

One of the main issues involved in land development is the effects of changing land cover, in particular changes in forest cover, on local water resources. While there is a general consensus among researchers that forests in arid and semi-arid regions produce an overall net reduction in water availability and groundwater levels in particular relative to bare soil or grasslands, such differences are small or negligible in wetter regions or during periods of heavy rainfall (Farley et al., 2005). The primary aim of the current study was to achieve an understanding of the way snowmelt infiltration and seasonal contributions to deep drainage are affected by forest and grass cover in temperate, water-abundant regions.

The method selected for investigation in the current study is the so-called “natural isotope tracer” method, which has been widely used to observe soil moisture seasonality and permeation (Allison and Hughes, 1983; Bengtsson et al., 1987; Gehrels et al., 1998), identify the prevalence of preferential vs. piston flow under different ground cover regimes (Allison and Hughes, 1983; Sharma and Hughes, 1985), canopy interception of precipitation, (Saxena, 1986), and variability in transpirative demand (Gazis and Feng, 2004). The current study aimed to identify differences in seasonal inputs between forest and grass cover by comparing soil water isotopic concentrations to that of local precipitation, and to understand water discharge mechanisms by analyzing the relationship between $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ concentrations found at various depths of the soil profile.

2. Methodology

The study was carried out on the undeveloped section of the Aobayama Campus of Tohoku University. Survey sites under forest and grass cover were selected at 8 locations. Soil moisture sampling was carried out in two stages; in the first stage, boreholes were excavated between April-October of 2017, spaced several months apart. A second, intensive period of sampling was carried out at 6 of the original 8 locations from April 16th to 21st, 2018, to better represent the infiltration of the same isotopic input across different locations.

Excavation of soil samples was carried out by means of a hand auger and a motorized percussion sampler. The soil moisture content was measured by evaporating sub-samples in an industrial oven. Additional sub-samples were then centrifuged to extract soil water for isotope analysis. The process resulted in a temporary separation of the water from the soil; this water was filtered and isotope concentrations measured using a Picarro water isotope analyzer (L2120-i CRDS).

In order to identify seasonal patterns in soil moisture isotope profiles the current study considered historical observed precipitation isotope data in combination with simulated precipitation isotope data produced by the IsoRSM model (Yoshimura et al., 2010). Monthly observations of precipitation isotopes over Sendai, collected by the Isotope Mapping Working Group of the Japanese Association of Hydrological Sciences (IMWG-JAHS), were available for the year 2013 (Ichiyanagi and Tanoue, 2016). Using this data, the IsoRSM domain was calibrated for accuracy and the model run to forecast 2016-2017 monthly precipitation isotope values. Simulation of 2018 data was not possible due to lack of IsoGSM output for 2018, but the overall pattern was inferred from 2016-2017 monthly averages. Additionally, monthly precipitation data for Sendai, acquired from the Japan Meteorological Agency, was used to achieve an understanding of the relationship between isotope concentrations and precipitation volume.

3. Results and Discussion

Observations of monthly precipitation isotopes over Sendai collected by IMWG-JAHS in 2013 were used to select the domain and resolution of the IsoRSM model that would subsequently be used for simulating 2016-2017 data. Due to the high correlation of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ was used as the primary tracer in this study; $\delta^2\text{H}$ was used in a supplementary fashion to evaluate evaporative processes based on the $\delta^{18}\text{O} / \delta^2\text{H}$ relationship and also to employ d-excess as a second-order tracer. As discussed in Waseda and Nakai (1983), d-excess can be used to identify the different origins of seasonal precipitation and simplifies categorization of precipitation into summer and winter seasons; the values typical for central and northeastern Japan are cited as $\sim 10\text{‰}$ for summer and $\sim 20\text{‰}$ for winter.

The $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$ relationship of the soil moisture samples and simulated 2016-2017 precipitation was considered. The shallower slope of the $\delta^2\text{H} = 5.25 * \delta^{18}\text{O} - 9.38$ trend for grass cover boreholes, as compared to the $\delta^2\text{H} = 6.67 * \delta^{18}\text{O} + 2.41$ for tree cover, suggested an elevated impact of evaporation on the surface of grass cover plots. An analysis of the $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$ relationship dynamics by depth also attested to the increased impact of evaporation on grass-cover profiles, as the slope of the grass-cover $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$ trend line became progressively shallower with depth, while that for the tree-cover profiles remained relatively steady. Additionally, it was observed that the isotopic concentrations under tree cover became progressively more depleted with depth, but were evenly distributed regardless of depth for grass-cover. Thus, water under tree profiles was less affected by evaporation, yet less and less of the isotopically-enriched water was found as depth increased; this strongly suggested a partitioning mechanism similar to that described by Allison and Hughes (1983), whereby transpiration and not evaporation removed light rainfall from the soil completely and only input from heavy rainfall percolated deep enough to affect deep drainage.

Two sets of soil moisture profiles taken at the same time at adjacent tree-cover and grass cover plots - two excavated on Sept. 13th, 2017, and two during the week of Apr. 16th-21st - were compared directly. The April 2018 tree-cover profiles exhibited a depletion bulge at 40-50 cm depth, with a $\delta^{18}\text{O}$ of -11‰ corresponding with simulated winter/spring precipitation; this bulge was entirely absent in 2018 grass-cover profiles. During Sept. 2017, this disparity between grass and tree cover profiles was not observed. This was understood to suggest that while ground-level evaporation on grass-cover plots and evaporation of moisture intercepted by the tree canopy on tree-cover plots was nearly equal during summer months, evaporation of snowmelt was more limited under tree cover than under grass cover as it occurred with a time delay after the snow had already passed through the tree canopy and no canopy-level evaporation took place.

The d-excess values across all boreholes were similar, averaging around $\sim 12\text{‰}$ below 1.5-2.0 m depth in almost all cases. D-excess of soil moisture cannot be higher than the precipitation from which this soil moisture originated; it can only decrease by evaporation. It is therefore very unlikely that summer rainfall, with a simulated d-excess of 8-10 ‰ , was present in soil moisture below 2 m. This finding supports the earlier observation that both tree and grass profile sample clusters appear to originate from the winter $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$ trend line and bypass the summer weighted average. Such a conclusion may seem counter-intuitive, since most of the heavy rains in Sendai fall during the summer months. The author's hypothesis is that the exceptionally high evapotranspiration under both tree and grass cover during the summer months consumed most of the precipitation and released it as vapor into the atmosphere, as described in a number of studies (for example, Allison and Hughes, 1983). Conversely, rainfall and snowmelt originating in the spring and fall percolated readily down to deeper soil layers due to relatively low evapotranspirative water demand.

4. Conclusion

This study was able to shed light on the difference in transport processes found under the two ground cover regimes, namely, the evidence of preferential flow in the case of tree cover profiles and the prevalence of piston flow under grass cover. The study identified the spring and fall as being the source of much of the soil moisture found in the deeper soil layers in profiles under both grass and tree cover, but also identified the differences in the ways that the two kinds of ground cover affect snowmelt, in that snowmelt is shielded from evaporation by tree cover and therefore more significant percolation of snowmelt under tree cover can be expected than on open ground.

References

- Allison, G. B., & Hughes, M. W. (1983). The use of natural tracers as indicators of soil-water movement in a temperate semi-arid region. *Journal of Hydrology*, 60(1–4), 157–173. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(83\)90019-7](https://doi.org/10.1016/0022-1694(83)90019-7)
- Bengtsson, L., Saxena, R. K., & Dressie, Z. (1987). Soil water movement estimated from isotope tracers. *Hydrological Sciences Journal*, 32(4), 497–520. <https://doi.org/10.1080/02626668709491208>
- Calder, I. R. (2007). Forests and water-Ensuring forest benefits outweigh water costs. *Forest Ecology and Management*, 251(1–2), 110–120. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.015>
- Farley, K. A., Jobbágy, E. G., & Jackson, R. B. (2005). Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. *Global change biology*, 11(10), 1565–1576.
- Gazis, C., & Feng, X. (2004). A stable isotope study of soil water: Evidence for mixing and preferential flow paths. *Geoderma*, 119(1–2), 97–111. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00243-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00243-X)
- Gehrels, J. C., Peeters, J. E. M., De Vries, J. J., & DEKKERS, M. (1998). The mechanism of soil water movement as inferred from 18 O stable isotope studies. *Hydrological Sciences Journal*, 43(4), 579–594. <https://doi.org/10.1080/02626669809492154>
- Ichiyanagi, K., & Tanoue, M. (2016). Spatial analysis of annual mean stable isotopes in precipitation across Japan based on an intensive observation period throughout 2013†. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 52(4–5), 353–362. <https://doi.org/10.1080/10256016.2015.1132215>
- Kudo, K., & Shimada, J. (2016). Displacement Flow Model の適用 — The quantitative evaluation of groundwater recharge rate using Displacement Flow Model with stable isotope ratio in the soil water of difference vegetation cover, 31–45.
- Saxena, R. K. (1986) Estimation of canopy reservoir capacity and oxygen-18 fractionation in throughfall in a pine forest. *Nordic Hydrol.* 17, 251–260.
- Sharma, M. L., & Hughes, M. W. (1985). Groundwater recharge estimation using chloride, deuterium and oxygen-18 profiles in the deep coastal sands of Western Australia. *Journal of Hydrology*, 81(1–2), 93–109. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(85\)90169-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(85)90169-6)
- Tanoue, M., Ichiyanagi, K., & Yoshimura, K. (2016). Verification of the isotopic composition of precipitation simulated by a regional isotope circulation model over Japan*. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 52(4–5), 329–342. <https://doi.org/10.1080/10256016.2016.1148695>
- Waseda, A., & Nakai, N. (1983). Isotopic compositions of meteoric and surface waters in Central and Northeast Japan (in Japanese). *Chikyukagaku*, 17, 83–91.
- Yoshimura, K., Kanamitsu, M., & Dettinger, M. (2010). Regional downscaling for stable water isotopes: A case study of an atmospheric river event. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 115(18), 1–13. <https://doi.org/10.1029/2010JD014032>

農業気象における温度の重要性～物理学と生命科学からの視点～

Temperature as Plays an Important Role in Agricultural Meteorology from the Viewpoints of Physics and Life Science

皆川秀夫 (北里大学獣医学部)

〒034-8628 青森県十和田市東 23-35-1

1. はじめに

農業気象は、植物や動物への気象要素の影響を主な研究対象としてきた。とりわけ「温度」の影響は重視され、積算気温を基にした DVI (発育指数) や DVR (発育速度) は、水稻の生育段階を予測する数値として広く営農活動に利用されている。また、温室や畜舎は、植物や動物に対し、気温をはじめ湿度や風を最適に制御する施設として発展してきた。

しかし、「温度とは何か」、「温度は生体にどのように影響を及ぼすのか」、「動植物に温度センサーはあるのか」といった温度に関する根本的な質問に対する理解や研究はあまり進展していない。

本報は、温度に関する物理学の知見を整理するとともに、温度と生体との関係を生命科学の視点から探り、農業気象を基礎づけ、農業気象の新たな展開の方向性を見出すことを目的とした。

2. 物理学から視点

1) <宇宙と温度・元素との関係>

現代物理学の標準理論によれば、宇宙は高温高密度の高エネルギー状態が爆発・膨張することによって低温低密度になったとする膨張宇宙論 (ビッグバン理論) が定説とされ、その起源は 138 億年前、そのときの温度は 10^{32} K と推定される (図 1)。

膨張から 10^{-5} 秒 (10 万分の 1 秒) 後、宇宙の温度は 10^{13} K (10 兆度) まで低下した。このとき、宇宙史の最初の大事件、質量をもち内部構造を持たない「素粒子」(クォーク) の誕生とその「反物質」の消滅とが同時に起きた。

また、10 秒後には、温度は 10^{10} K に低下、それまでバラバラだったクォークが相変化し、質量の異なる 2 種のクォーク ($d > u$) をそれぞれ 3 個ずつ含む「陽子」($u-u-d$) と「中性子」($u-d-d$) とに集積、これらが「核力」(強い力) の場を介して「原子核」を構成した。

さらに、40 万年後、宇宙の温度は 3,000 K まで低下、原子核では質量の大きな中性子は「ベータ崩壊」(弱い力) し、陽子、電子、反ニュートリノの 3 種に解離、「電子」(素粒子) と反ニュートリノは核外に放出された。電子と陽子とは電磁場を介して「原子」となり、星・惑星の「物質」を構成する 100 種を超える「元素」となった。

これら一連の過程は、アインシュタインが特殊相対性理論で発見したエネルギー (E) と静止質量 (m) とが定数である光速 (c) (=約 30 万 km/秒) を介した有名な次の等価式

$$E = mc^2$$

を満たす。エネルギー、すなわちその指標である温度は、物質と密接な関係にあることを意味する。

2) <理想気体と絶対温度>

人間には温度体感があり、医学をはじめ温度への関心は高い。このため、水銀温度計など各種の温度計が考案されている。また、温度の単位は、摂氏温度 ($^{\circ}\text{C}$)、絶対温度 (K)、華氏温度 ($^{\circ}\text{F}$)、ランキン温度 ($^{\circ}\text{R}$) などが知られている。

温度単位のうちケルビン (K) は熱力学温度 (絶対温度) の単位で、国際単位系 (SI) において基本単位の一つとして位置づけられている。ケルビンの名はイギリスの物理学者で絶対温度目盛りの必要性を説いたケルビン卿ウィリアム・トムソンにちなむ。

ケルビン卿は論文「絶対温度目盛りについて」(1848 年)、で、"infinite cold" (絶対零度) を目盛りのゼロ点とし、温度間隔は摂氏度と同じとする温度目盛りの必要性を説いた。ケルビン卿は、当時の「気体温度計」により絶対零度は -273°C に等しいと計算した (図 2)。この絶対目盛りは今日では「ケルビン熱力学温度目盛り」として知られる。ケルビンが算出した「 -273 」という数値は、氷点における摂氏度あたりの気体の膨張率 0.00366 の逆数から求めたものであり、現在認められている値ともほぼ一致している。1954 年の国際度量衡総会では、水の 3 重点を正確に 273.16 ケルビンとする現行の定義が採択された。

3) <黒体放射と温度>

固体や液体は気体より密度が高く温度に応じて熱放射を放出・吸収し (図 3-a)、その関係はプランクの黒体放射式 (図 3-b) で知られる。これは原子核と電子との運動 (振動) の相互作用 (図 3-c) を表わしたもので、温度は原子核運動の指標であり、温度が高

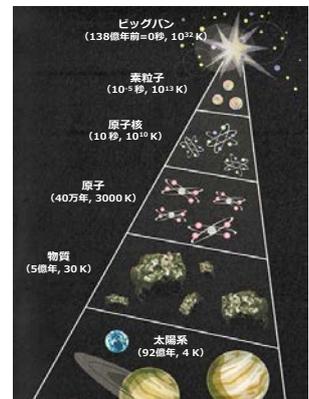


図 1. 宇宙の膨張と物質・星の形成 (江尻, 2012 を改変)

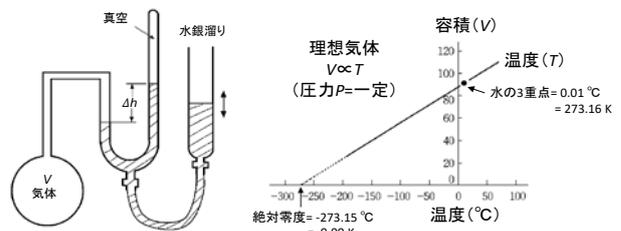


図 2 気体温度計 (左) と温度との関係

くなれば原子核の振動によって電子も振動し、電子は「電磁場」を介して空間に電磁波を放出・吸収する。

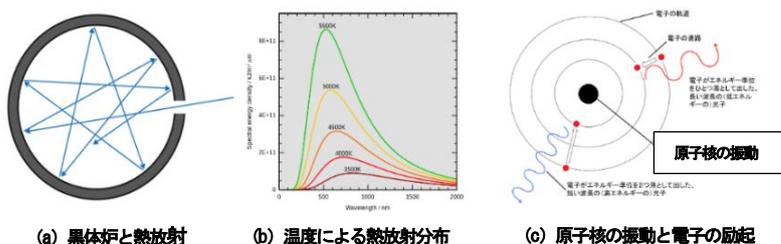


図3. 熱放射と温度との関係

3. 生命科学から視点

1) <タンパク質と温度>

温度がタンパク質に及ぼす影響は大きいことが温度係数 (Q10) などで知られる。しかし、どのようなメカニズムで温度が影響するのか、あまり知られていない。そこで計算実験を試みた。

供試タンパク質は Crambin と EnHD である。両者ともアミノ酸残基数がほぼ等しく、2 箇所 α-ヘリックス構造がみられる。Crambin はエチオピア原産の Abyssinian cabbage (アブラナ科) の種子から発見されたタンパク質で種子の保存に関与しているとされる。アミノ酸残基配列 3 箇所イオウ原子の S-S 結合があり、強固な構造のタンパク質である。他方、EnHD (Engrailed homeodomain) は

シヨウジョウバエから発見されたタンパク質で DNA に結合しその発現を調節する、集合体がギザギザのあるタンパク質で S-S 結合はない。供試タンパク質に水分子を配置し標準

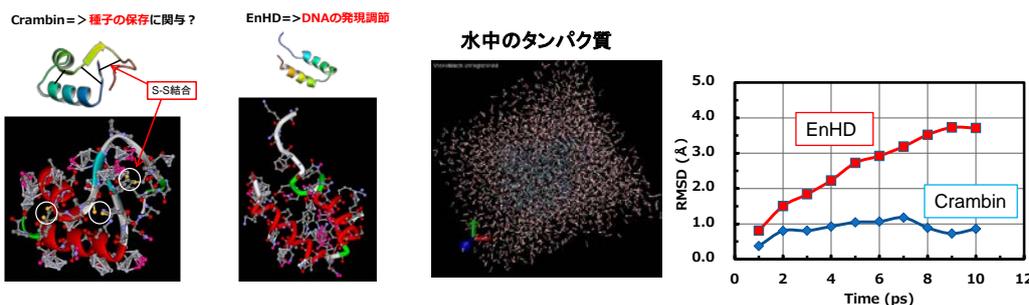


図4. 水温を-10℃から+50℃に変化したとき (ΔT=60℃) のタンパク質 (C_α鎖) の構造変化の比較

力で水温が-10℃から+50℃に温度変化させたときの主鎖 (C_α) の構造変化例を図4に示した。

Crambin は各部位で変位はあるものの、温度差 (ΔT=60℃) による原子間変位の根平均2乗誤差 (RMSD) の最大値は1.2Å、平均値0.8Åとなり、構造変化は僅少であった。これは S-S 結合が温度変化の影響を減じているためと推定される。他方、EnHD は、アミノ酸主鎖の末端、C および N の両末端同士に大きな変位を生じ、その RMSD は最大値 3.7Å、平均値 2.6Å となり、Crambin に比し最大値、平均値ともに3倍の変位が生じた。温度は、原子間に変位を与え、タンパク質の酵素反応速度 (Q10) に影響する。

2) <動物・植物の温度センサー>

動物の場合、その細胞膜に TRP (Transient Receptor Potential) イオンチャンネルと呼ばれる「温度タンパク質」が存在することが 1997 年に発見され、その後、その機能が少しずつ分かってきた (図5)。現在、この温度タンパク質は 10 種類ぐらい発見され、いずれも 30~32℃のようにある特定の温度帯で感知する点が大きな特徴である。

他方、植物の場合、動物に見られるような温度タンパク質が細胞膜に見つかっていない。その理由は細胞壁 (動物の骨に相当) の下部組織に細胞膜があるため、膜タンパク質が存在しにくいと推察される。そのため、「植物は温度を放射によって感知する」という仮説が考えられる。植物の場合、光合成色素という強力な高分子の

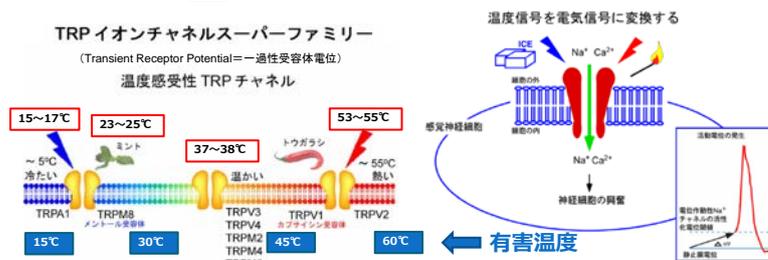


図5. 動物細胞における温度センサータンパク (TRP)

「放射センサー」をもっているのが放射を吸収し、そのエネルギーが原子核の振動を励起し、生体内の各種タンパク質の化学反応に影響を及ぼす。結論をいえば、植物の場合は「光合成色素=温度センサー」というのが仮説の要点である。

4. まとめ

温度に関する知見を物理学および生命科学より探った。要点として、1) 高温が元素を造った。2) 温度変化はタンパク質の構造変化に影響する。3) 動物細胞膜には離散的に温度を感知するタンパク質温度センサーがある。4) 植物のタンパク質温度センサーは見つかっていない。5) 植物の温度センサーを探索する必要がある。

引用文献

1. 江尻宏泰, 2012: ビックリするほど原子力と放射線がわかる本~脅威のエネルギーの基礎と応用の科学~, ソフトバンク クリエイトイブ (株), 18-19.

分光および偏光特性の同時測定による植物葉内組織の状態変化の非破壊測定

福田崇人¹⁾・窪田将己²⁾・松嶋卯月²⁾・武田純一²⁾・庄野浩資²⁾

(1: 岩手大学大学院地域創生専攻, 2: 岩手大学農学部)

[キーワード] 偏光, 分光, 乾燥, 光合成

1. 背景と目的

植物体の分光特性は色素濃度と密接な関係にあり、既往の研究例も豊富である。しかし分光特性だけでは植物組織の内部構造の状態を知ることは難しい。一方、偏光性を持つ光が植物内部でどのように反射・透過するかについては知見は少ないものの、内部構造の影響を受ける可能性は十分考えられる。そこで本研究では、測定光の偏光角度を0°から90°まで10°刻みに変更しながら分光測定を同時に行う(分光・偏光特性の測定)ことで、従来の分光測定では実現できなかった植物組織の内部構造に関連する新たな生育情報を非破壊測定する可能性を検討した。

2. 実験方法

分光測定としては、分光反射特性と分光透過特性の両方の測定を別サンプルで行った。乾燥実験ではRWCの変化と分光及び偏光特性の関係について、光照射実験では光照射による分光及び偏光特性の変化について調査を行った。また、材料は市販の岩手県産コマツナを使用した。

(1) 分光反射特性の測定

実験装置として、反射特性、透過特性ともに分光計測器(Edmund optics, U.S.A)、ハロゲン直流型光源、直線偏光フィルター(測定波長域 400~800nm)を使用した。

反射測定用治具は過去に自作されたものを大幅に改良して使用した。偏光フィルターは、光源と分光計測器の前にそれぞれ設置した。分光計測器側の偏光フィルターは固定し、光源側は回転可能とすることで偏光角度を自在に変えられるようにした。また改良した治具はサンプル葉を確実に固定可能であり、測定時のずれはほぼ回避した。測定時は外光を遮断しながら、光源側の偏光フィルターを0°から90°まで10°刻みで手動で回転させながら分光・偏光特性の測定をした。

(2) 分光透過特性の測定

分光透過測定用装置は新たに自作した。分光透過特性の測定では、光源側の偏光フィルターを固定し、分光計測器に繋ぐ積分球の開口部に偏光フィルターを貼り、同積分球を0°から90°まで10°刻みで回転させることで分光・偏光特性を測定した。

(3) 乾燥実験

サンプルを円状に切り抜き、SPAD値を測定した後、遮光したウォーターバス内で約3時間飽水処理を行った。飽水後、生体重、光合成活性、分光反射特性(分光透過特性)を測定した。その後はデシケータ内で乾燥させながら1時間毎にサンプルを取り出し、上記項目を測定した。これを乾燥開始から4時間後まで行った後、乾燥機で乾燥させ、乾物重を測定し、RWCを算出した。

(4) 光照射実験

サンプルを円状に切り抜き、SPAD値を測定した後、遮光したウォーターバス内で約3時間飽水処理を行った。飽水後、生体重、光合成活性、分光反射特性、分光透過特性を測定した。その後、サンプルを暗区と明区に分け、気温25°C一定の人工気象器内で、暗区は暗黒下、明区は光照射下で純水を入れたビーカー内に裏面を表に浮かべた。その約12時間後、上記項目を測定した。さらに実験後、乾燥機で乾燥させ、乾物重を測定し、各サンプルの乾物率を測定した。

3. 結果と考察

分光透過特性の測定においては、乾燥実験、光照射実験ともに顕著な結果が得られなかったため省略する。

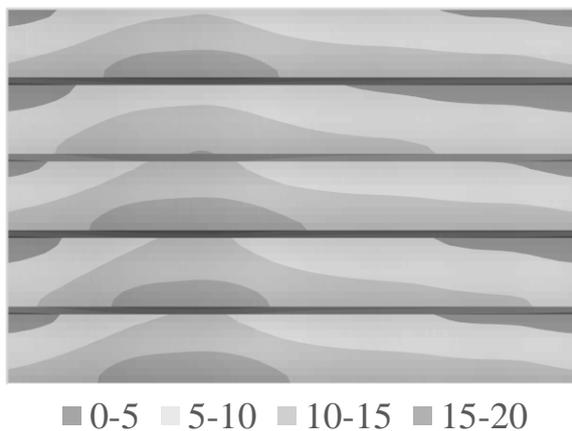
(1) 乾燥実験

乾燥過程における反射率の変化を図1に示す。この図は各波長、各偏光角度毎の反射率を高さとした等高線画像であり、それを乾燥過程順に並べたものである(下から順に100, 87, 78, 69, 61%)。図1から、RWCが69%の時に反射率のピークが一時的に下がり、偏光性の低下が見られる。その後さらに、61%まで下がると偏光性が元に戻るのことが見て取れる。これは乾燥により植物細胞が原形質分離を起こしたことで偏光性が一時低下した過程を反映する可能性がある。

(2) 光照射実験

暗区、明区別にサンプル毎の乾物率を平均した結果を図2に示す。明区の方が約2%高い結果となった(t検定で5%有意差有り)。

暗区と明区で、処理前後の反射率の変化が異なる結果となった。偏光角度別で見ると、明区において、0°では処理後に反射率が減少しているのに対し、90°では大きく増加している(図3, 図4)。これは、明区は暗区と比較して偏光性が低下したことを示すものと理解できる。明区のサンプルの乾物率が暗区よりも高いことから、明区のサンプルが光合成を行い、葉緑体内に蓄積したデンプンなどの光合成産物が明区の分光特性及び偏光特性に影響を与えた可能性が指摘できる。



1 乾燥過程における分光・偏光反射特性の変化

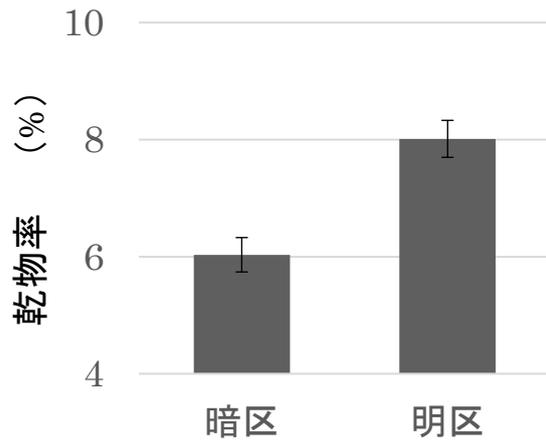


図2 乾物率 (サンプル間平均)

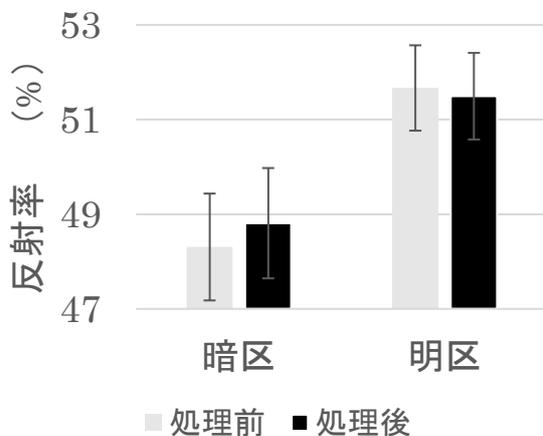


図3 処理前後の反射率 (0°)

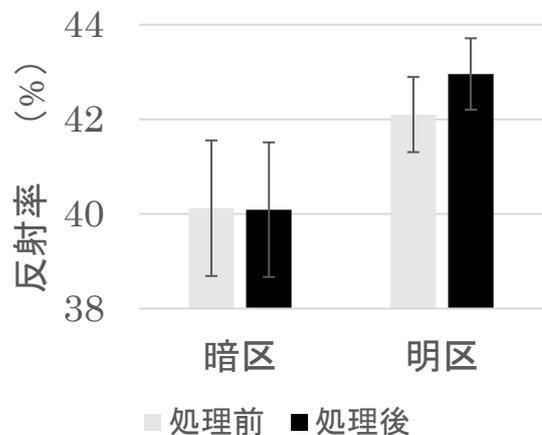


図4 処理前後の反射率 (90°)

講演要旨

低温遭遇量の違いがニンニク‘福地ホワイト（黒石 A 系統）’の
りん片分化に及ぼす影響（第 1 報）

町田創（青森県産業技術センター 野菜研究所）

1. はじめに

青森県では露地でのニンニク栽培が盛んであるが、積雪が少ない太平洋側の一部地域ではハウスでのニンニク栽培が行われている。ハウスでは露地と異なり、温度や施肥量を制御しやすいため、ニンニクの生育ステージにあわせた栽培管理をすることで収量・品質の向上が期待される。ニンニクはりん片分化期以降に養分吸収が旺盛になることが知られており、りん片分化期を特定することは適期追肥を行うために重要である。りん片分化には植物体が一定時間以上の低温に遭遇することが必要とされているが、何℃以下の低温に何時間遭遇する必要があるのかは明らかにされていない。そこで本研究ではニンニク植え付け後の低温遭遇量の違いがりん片分化に及ぼす影響を調査した。

2. 方法

試験は青森県産業技術センター野菜研究所（青森県六戸町）にて実施した。研究所ほ場の土（黒ボク土）を充填した 1/2000a ワグネルポットを露地に埋め込み、種りん片を 1 ポットに 4 片植え付けた。植え付けは 2017 年 10 月 24 日に行い、種りん片にはウイルスフリーの‘福地ホワイト（黒石 A 系統）’を供試した。植え付け後、ポットは露地の自然条件におき、2018 年 1 月 5 日、1 月 15 日、1 月 25 日、2 月 5 日、2 月 15 日に雪下からポットを掘り起こし、ガラス温室内に自作した小型ハウスに移動し、収穫まで管理した。ハウスは 3 月上旬まで最低気温 10℃を目標に加温した。2018 年 5 月 29 日に一斉に収穫し、りん片分化の有無および地上部重、球重、球径、りん片数を調査した。温室内の気温は通風条件でおんどりを使用して計測した。地温は露地、温室内ともにおんどりを使用してポットの深さ 10 cm の位置で計測した。試験は 1 区 1 ポットとし、1 月 5 日区のみ 2 反復区、その他の区は 3 反復区で実施した。

3. 結果と考察

露地でのポット地温は、日平均地温で 11 月中旬から 10℃、11 月下旬から 5℃を下回り、1 月下旬に根雪となって以降は約 0℃で経過した（図 1）。各試験区ともハウスへの移動時点では未萌芽で、移動後に萌芽、生育が旺盛になった。収量調査の結果、全ての試験区で正常に球が形成された（写真 1）。収穫時の地上部は、1 月 5 日区で黄化が進んでおり、2 月 15 日区では比較的青青としていた。地上部生重、生球重は 2 月 15 日区で最も重く、1 月 15 日区、25 日区との間に有意な差があった（表 1）。生球径、りん片数は試験区間に有意な差はみられなかった。全ての試験区で球形形成されたことから、1 回目の移動日である 1 月 5 日時点でりん片分化に必要な低温遭遇量を満たしていた、またはハウス移動後の温度条件でも低温感応していた可能性が考えられた（図 2）。生球重については、後半に移動した区ほど日照が豊富で球の肥大に有利であったために差が生じたと考えられた。りん片数については、有意な差はみられなかったが後半に移動した区ほどりん片数が減少する傾向があると考えられた。このことはりん片数を制御できる可能性があることを示唆しており、再度確認することが重要である。

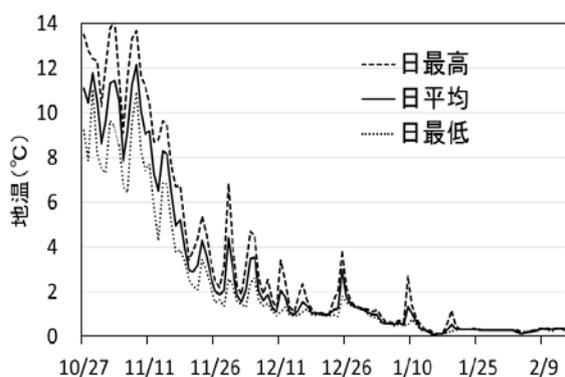


図1 露地地温の推移

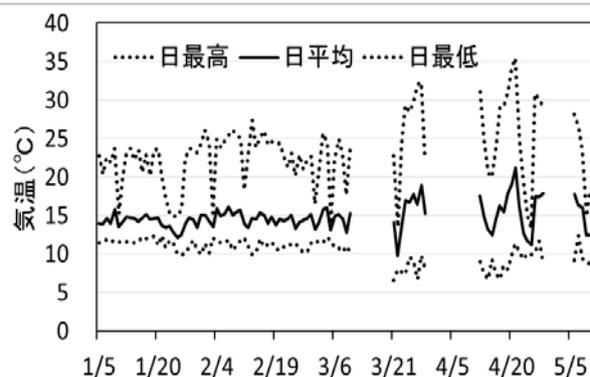


図2 ハウス気温の推移



写真1 収穫物（5月29日一斉収穫）

表1 収穫物調査結果

試験区	地上部生重(g)	生球重(g)	生球径(mm)	りん片数(片/球)
1月5日	5.6±0.8 ¹⁾ a ²⁾	18.1±0.3 a	35.2±0.6 a	6.9±0.1 a
1月15日	4.5±0.6 b	17.8±0.5 b	34.4±0.3 a	7.0±0.3 a
1月25日	5.0±0.7 b	17.6±0.6 b	34.0±0.8 a	6.6±0.3 a
2月5日	7.0±0.2 ab	20.2±0.6 ab	35.6±0.8 a	6.2±0.3 a
2月15日	8.5±0.4 ac	21.4±1.0 ac	35.3±0.7 a	5.9±0.2 a
有意水準 ³⁾	**	*	ns	ns

1) 平均値±標準誤差を示す

2) 異なる符号間に有意差有り(Tukey-Kramer法)

3) **1%水準, *5%水準

4. まとめ

今回の試験では全試験区でりん片分化が確認され、りん片分化に必要な低温遭遇量を明らかにすることはできなかった。一方、後半に移動した区ほど球重が優れたことから、日照が豊富な時期に地上部を繁茂させることが収量確保には重要であると考えられた。また、りん片数を制御できる可能性を示唆する結果が得られ、この点については再度確認する必要がある。

謝辞：本研究は農研機構生研支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業（うち経営体強化プロジェクト）」の支援を受けて実施した。

講演要旨

広域に適用できるリンゴ‘ふじ’の発芽・開花予測モデルの開発

伊藤大雄（弘前大学農学生命科学部）

今後気候変動の進展に伴ってリンゴの発芽日や開花日がどの程度前進するか、様々な気候変動シナリオに対応してきめ細かく予測することは、温暖化対策上重要な課題である。そのためには、温暖な気候を含む幅広い気候下で発芽日や開花日を正しく予測できるモデルが必要である。演者は青森県黒石市における過去 30 年間のリンゴ‘ふじ’の発芽日と満開日を、気温データだけを用いて正確に計算できる Asakura(2011)のモデル*について、より温暖な福島市にも適用できるか検討した上で、同モデルを部分的に改変した結果、より広域に適用できるモデルの開発に成功した。

*T. Asakura(2011): Acta Horticulture 903, 1135-1140

【材料と方法】

Asakura モデルは、自発休眠覚醒過程と他発休眠過程の進行を 1 時間毎に計算し、他発休眠過程が一定レベル進行した日をもって発芽日あるいは満開日と判定するプロセスモデルである。自発休眠覚醒期では $-6\sim 12^{\circ}\text{C}$ の低温に遭遇すると図 1 の(a)に示す速度でチルユニットを獲得し、獲得チルユニットが積算 1800 に達すると完全に自発休眠から覚醒する。その後の他発休眠期では、気温が発育ゼロ点(4°C)を超えた場合に、図 2 の①に示すように高温ほど多くの発育温度を獲得し、積算発育温度 (GDH) が一定値に達すると発芽および満開に至る。但し Asakura(2011)は発芽/満開時の GDH を明示していない。また、獲得チルユニットが 1020~1800 の期間は移行期であり、他発休眠期と比較して図 3 に示す効率で発育温度を獲得する。

はじめに、Asakura モデルにより黒石市の時別気温のデータセットを用いて計算を行い、実際の発芽及び開花日における GDH の平均値 S 及び F を求めて、これをモデルのパラメータとした。その上で、福島市を含む表 1 の全データセットを利用して Asakura モデルの予測精度を評価した。

次に、チルユニット曲線と発育ゼロ点から Asakura モデルの改変に着手した。すなわち、チルユニット曲線を図 1 の(b)に改変したモデルや、発育ゼロ点を 0, -4 あるいは -8°C に改変したモデルを作成し、表 1 の全データセットを用いて、モデル毎に S と F を決定した後、発芽日と開花日を計算し、総合的に予測精度が最も優れるモデルを選択した。更に、選択したモデルの発育温度曲線を図 3 の②~④に改変し、同様の手順により総合的に予測精度が最も優れる最適モデルを選択した。

最後に、最終的に選択された最適モデルに対して、モデル改変に使用しなかった 6 場所 27 カ年の検証用のデータセット (表 2) を用いて、相応の精度で発芽日と開花日を予測できるか検証した。

【結果および考察】

Asakura モデルは、黒石市の発芽/開花日については高い精度で計算出来ることを確認したが、福島市の発芽/開花日を計算すると二乗平均平方根誤差 (RMSE) が 8.5 日および 2.8 日となり、とりわけ発芽日の RMSE において実用的な計算精度を示さなかった(表 3)。

チルユニット曲線 ((a), (b)) および発育ゼロ点 (4, 0, -4 , -8°C) を組み合わせて 8 種類の改変モデルを作り、予測精度を比較したところ、(b)と -8°C の組み合わせにおいて発芽日の RMSE が 2.7 日まで減少した (表 4)。更に(b)と -8°C の組み合わせで発育温度曲線を様々に変えて比較したところ、黒石市の発芽/開花日を実際より遅く福島市の発芽/開花日を実際より早く計算する傾向が④→③→②→①の順で解消したが、RMSE では傾向が異なり、優劣の判断は難しかった。本研究では便宜的に③のモデルを最適モデルとして選択した。③ (最適モデル) を① (オリジナル) と比較すると、発芽/開花日の RMSE をほぼ同等に維持しつつ、福島市において発芽/開花日を実際より早く計算する日数を 1.7/0.7 日から 1.1/0.4 日に減少させることが出来た (表 5)。

最適モデルに対し、検証用データセットを用いて発芽日と開花日を計算したところ、RMSE はそれぞれ 2.8 日、2.0 日となり、広域的に相応の予測精度を示すことが検証された (図 4)。

表1 モデル改変に使用したデータセット

地点名	年次	年数	‘ふじ’生態観測地(A)	アメダス気温観測地(B)	気温補正
青森県黒石市	1986-2007	21	県りんご研究所	黒石	無
	2008-2013	6			実施
福島県福島市	1991-2004	15	県果樹研究所	福島	実施
	2010-2013	4			
(2場所)		46			

表2 最適モデルの予測精度検証に使用したデータセット

地点名	年次	年数	‘ふじ’生態観測地(A)	アメダス気温観測地(B)	気温補正
青森県黒石市	2014-2018	5	県りんご研究所	黒石	実施
福島県福島市	2014-2018	5	県果樹研究所	福島	実施
秋田県横手市	2017-2018	2	県果樹試験場	横手	無
秋田県鹿角市	2017-2018	2	県かつの果樹セ	鹿角	無
長野県須坂市	2009-2018	10	県果樹試験場	長野	実施
山形県寒河江市	2016-2018	3	県園芸試験場	左沢	実施
(6場所)		27			

表3 Asakura モデルの黒石と福島における予測精度

地点名	S	F	RMSE(日)	
	(°Chr)	(°Chr)	発芽日	開花日
黒石	1178	4753	1.4	1.2
福島			8.5	2.8

表4 チルユニット曲線と発育ゼロ点を改変したモデルの予測精度

チルユニット曲線	発育ゼロ点(°C)	S(°Chr)	F(°Chr)	計算日-実測日(平均:日)				RMSE(日)	
				発芽日		開花日		発芽日	開花日
				黒石	福島	黒石	福島		
(a)	4	1376	4893	2.7	-4.3	0.7	-1.3	4.3	1.7
(a)	0	2145	5745	2.4	-3.8	1.0	-1.4	4.2	2.2
(a)	-4	2527	6137	1.4	-2.6	0.7	-1.2	3.5	2.3
(a)	-8	2584	6195	1.1	-2.2	0.5	-0.9	3.2	1.9
(b)	4	1384	4901	2.6	-4.3	0.7	-1.3	4.3	1.7
(b)	0	2260	5867	2.2	-3.4	0.9	-1.3	3.9	2.2
(b)	-4	2586	6197	1.3	-2.2	0.4	-0.9	3.2	2.0
(b)	-8	2650	6269	0.8	-1.7	0.4	-0.7	2.7	1.8

表5 発育温度曲線を改変したモデルの予測精度

発育温度曲線	S(°Chr)	F(°Chr)	計算日-実測日(平均:日)				RMSE(日)	
			発芽日		開花日		発芽日	開花日
			黒石	福島	黒石	福島		
①	2650	6269	0.8	-1.7	0.4	-0.7	2.7	1.8
②	2077	4750	0.6	-1.3	0.2	-0.4	2.8	1.7
③	3238	7058	0.4	-1.1	0.2	-0.4	2.7	1.9
④	4384	8634	-0.2	0.4	-0.3	0.2	2.8	2.3

いずれもチルユニット曲線は(b)、発育ゼロ点は-8°C

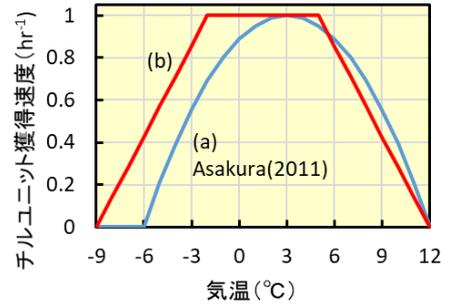


図1 気温とチルユニット獲得速度の関係

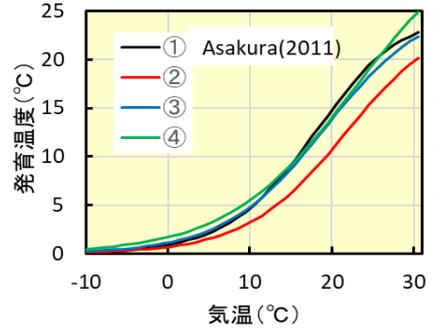


図2 気温と発育温度の関係

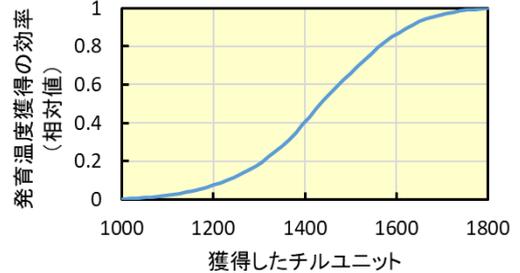


図3 移行期における発育温度獲得効率

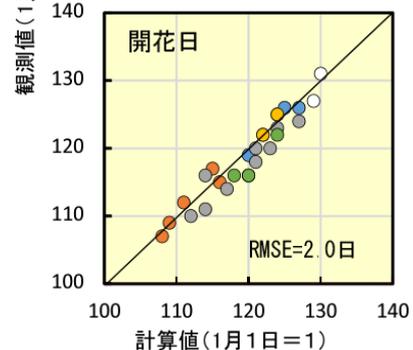
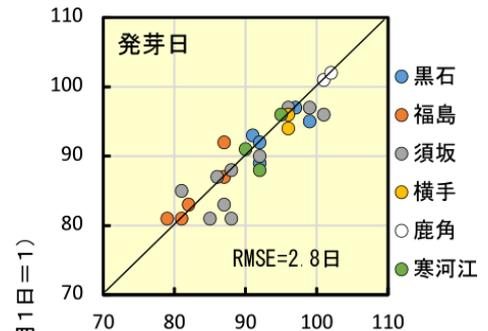


図4 最適モデルによる予測精度の検証

講演要旨

水稲多収品種を利用した業務用米生産の取り組みについて

荒川市郎

全国農業協同組合連合会福島県本部営農企画部農業技術センター

1. はじめに

米の消費動向が家庭用需要から業務用需要に変化しており、手頃な価格帯の米が求められている。一方、担い手農家の規模拡大と経営の安定化のためには、栽培面積の増加に伴う作業期間の拡大や販売先・価格の安定化が求められている。そこで、単収の増加による生産コストの低減や多様な品種の導入による作業期間の拡大を目指して、実証栽培に取り組んだ。

2. 業務用米取り組みと全農福島県本部の支援

(1) 作付け品種と導入の考え方

契約栽培米の実証に当たっては、担い手農家の規模拡大を想定していることから、各地域の基幹品種（コシヒカリ等福島県の奨励品種）との競合を避け、中通りや会津地方では7月下旬に出穂する品種（ちほみのり、ゆみあずさ）、浜通り地方では8月下旬に出穂する品種（ほしじるし）を選択した。これらの品種は、農研機構で育成され、全農が東北ブロックや関東以西において、契約栽培向け多収品種として位置づけており、県間の連携により、良食味米と区分した流通が可能である。

平成30年度は、4JA、28haで取り組まれ、ちほみのり、ゆみあずさ、ほしじるしを栽培し、本県内における地域適応性について検討した。

(2) 全農福島県の支援

ア 作付けほ場の土壌診断および施肥設計

(ア) 作付け予定ほ場の土壌分析を実施し、養分の過不足を数値化するとともに、施肥設計に反映させた。

イ 地域別、品種別の栽培技術のサポート

品種の育成者である農研機構の協力を得ながら、いわき市（ほしじるし）、会津美里町（ちほみのり、ゆみあずさ）において、生産者およびJA向け栽培セミナーを開催し、品種特性や栽培技術についての情報提供に努めた。

ちほみのり、ゆみあずさ、ほしじるしについて、各地域、移植、直播を対象に栽培歴（暫定版）を作成、配布した。

(3) 実証の結果および課題

ア 各品種の特性と評価

(ア) ちほみのり

稈長70cm程度の短稈で、出穂期は7月下旬、成熟期は9月上旬とみられる。倒伏はなく、登熟は良好であった。1穂粒数が不足する場合は、平坦部において追肥の時期を検討する必要がある。

(イ) ゆみあずさ

栄養生長期の草丈が長く葉幅が広い。分けつ数が少なく、葉身が下垂する。稈長は70cmより短く、止葉は直立し草姿が良い。茎が太く、1穂粒数が多い。㎡あたり穂数は、300本程度と少ない。1穂粒数の確保が課題と考えられる。

(ウ) ほしじるし

草丈が短く、茎数は多い。出穂期は8月20日ごろと推定される。短稈・多げつで、耐倒伏性は強い。安全出穂期限内に出穂し、登熟条件は確保出来る見込みであ

る。

イ 施肥法

ちほみのり・ゆみあずさは、莖数不足であり、施肥法を再検討する必要がある。速効性成分の窒素を増加させるか、追肥、有機質肥料の活用を検討する。

ウ 疎植栽培への適応性

ちほみのりは、13 株/m² (44 株/3.3 m²) でも穂数 450 本を確保出来るが、ゆみあずさでは 300 本を下回る可能性があり、目標収量確保が困難と思われる。

エ 直播栽培の適応性

実証ほの事例は少ないが、ちほみのりは出芽苗立ちが良好で、倒伏も少なく 8 月中旬までには出穂することから、直播適性が高いと考えられる。

オ 病虫害の発生

一部のほ場で紋枯病が発生したほか、老朽化水田（砂壤土）において、ごま葉枯病が見られたことから、土壌改良などの対策が必要である。

カ 収量、品質、食味等の確認

実証ほの生産物について、収量（坪刈り、全収穫量）、品質（玄米サンプル）、食味（食味計、試食による官能検査）等を行い、データを蓄積する。

出穂日	表 1 出穂後40日間の気象と気候生産力									若松			大曲		
	広野			郡山			猪苗代			平均気温(°C)	日照時間(hr)	気候登熟量示数	平均気温(°C)	日照時間(hr)	気候登熟量示数
8月1日	23.2	220.6	820	23.8	206.8	701	22.0	226.6	928	24.4	248.6	738	23.5	231.1	824
8月11日	22.4	202.3	811	22.6	192.1	759	20.8	207.5	849	23.1	224.7	846	22.3	213.1	860
8月21日	21.2	186.9	773	21.0	178.4	735	19.2	187.8	659	21.4	199.7	827	20.5	195.5	789
登熟晩限	10月19日			10月13日			9月30日			10月11日			10月6日		
	出穂日から40日間の平均気温、日照時間、アメダス平年値より算出														

出穂日	表 1 出穂後40日間の気象と気候生産力									若松			水戸		
	広野			郡山			船引			平均気温(°C)	日照時間(hr)	気候登熟量示数	平均気温(°C)	日照時間(hr)	気候登熟量示数
8月1日	23.2	220.6	820	23.8	206.8	701	22.3	220.1	888	24.4	248.6	738	24.8	223.3	589
8月11日	22.4	202.3	811	22.6	192.1	759	21.2	203.1	840	23.1	224.7	846	23.9	204.8	681
8月21日	21.2	186.9	773	21.0	178.4	735	19.6	185.9	691	21.4	199.7	827	22.5	187.9	748
8月31日	19.7	172.7	650	19.2	167.1	587	17.7	171.5	405	19.4	177.5	643	20.8	173.6	711
登熟晩限	10月19日			10月13日			10月4日			10月11日			10月21日		
	出穂日から40日間の平均気温、日照時間、アメダス平年値より算出														

2017年における夏季の低温寡照が青森県の水稲障害不稔に及ぼした影響 (青森県産業技術センター・農林総合研究所 木村利行)

1 目的

2017年の青森県では8月上～中旬が低温寡照で経過したことで、やませの影響を強く受ける地域や出穂期が遅かった圃場で開花が遅延し、障害不稔が発生した。過去に障害不稔が発生した冷害年は、開花期の前歴として穂孕期の低温を伴う事例が多く、2017年のように開花期のみが低温に遭遇した事例は稀である。本研究では青森県内20カ所（計27事例）の現地圃場データを用いて、同年の夏季の低温寡照が障害不稔に及ぼした影響を解析した。

2 方法

1) 資料

2017年度青森県生育観測ほ試験成績、あおもり米優良品種選定試験成績書

① 地点（市町村名）

青森市、蓬田村、弘前市、平川市、田舎館村、五所川原市、つがる市木造、つがる市車力、中泊町、鱒ヶ沢町、八戸市、三戸町、五戸町、十和田市、七戸町、東北町、おいらせ町、横浜町、東通村

② 対象品種

つがるロマン（9点）、まっしぐら（18点）

2) 気象データ

メッシュ農業気象データ（農研機構）の最高気温、最低気温、平均気温、日照時間

3 結果および考察

- 1) 不稔歩合は、1.6～24.8%の範囲に分布した。不稔歩合は津軽＜県南、出穂早く出穂遅の傾向であった（データ省略）。
- 2) 不稔歩合と出穂前の平均気温（前歴期間、穂孕期間、前歴＋穂孕）との相関関係を調査した結果、各項目で有意な負の相関関係が認められた（データ省略）。ただし、穂孕期の冷却量は東通村のみで極軽微（0.1℃・日）に観測されたことから、不稔歩合の発生には出穂後の気象が強く関与したことが考えられた。
- 3) 不稔歩合と出穂後1-5、6-10、11-15、16-20日の各気象要素との相関関係を調査した結果、不稔歩合と出穂後1-5、6-10日の気温、同1-5日の日照時間との間に1%水準で有意な負の相関関係が認められた（表1）。
- 4) 不稔歩合を目的変数、出穂後1-5日ならびに1-10日の気温（平均、最高、最低）、出穂後1-5日の日照時間、品種を説明変数とした重回帰分析を行った結果、出穂後1-5日の日照時間ならびに出穂後1-10日の最低気温が採用された（表2）。
- 5) 出穂後1-5日の日照時間が少ない圃場では低温や降雨により開花が遅延し、障害不稔の発生が助長されたと考えられた（図1）。
- 6) 出穂後1-10日の最低気温が低い圃場では、成熟度の進んだ花粉の機能喪失による花粉稔性の低下程度が大きかったことが考えられた（図2、木野田ら1985、近藤1952）。

4 まとめ

2017年に青森県で発生した障害不稔の発生要因を現地試験データから解析した。障害不稔の発生には、出穂後1-5日の日照時間ならびに出穂後1-10日の最低気温が影響し、出穂後の低温寡照により開花遅延による受精不順と花粉の稔性を低下させたことが考えられた。また、地域の気象特性を考慮すると、日最低気温が低くなりやすい県南地域の穀倉地帯である内陸平野部では、開花期の障害リスクが高いことが推察された。

表1 各気象要素と不稔歩合との相関関係

期間	平均気温	最高気温	最低気温	日照時間
1-5日	-0.84**	-0.79**	-0.85**	-0.77**
6-10日	-0.62**	-0.63**	-0.65**	-0.37 ^{ns}
11-15日	-0.05 ^{ns}	-0.21 ^{ns}	0.26 ^{ns}	-0.35*
16-20日	-0.09 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	-0.55**	0.28 ^{ns}

n=27。品種を込みにして解析した。

*, ** はそれぞれ5%、1%水準で有意であることを示し、nsは有意でないことを示す。

表2 不稔歩合を目的変数とした重回帰分析結果

変数	偏回帰係数	F 値	単相関	偏相関	修正済み 重相関係数	修正済み 決定係数
出穂後1-10日の最低気温	-4.78	27.7***	-0.86	-0.73	0.89	0.80
出穂後1-5日の日照時間	-0.12	8.4**	-0.77	-0.51		
定数項	98.3	38.4***				

, * はそれぞれ1%、0.1%水準で有意であることを示し、nsは有意でないことを示す。

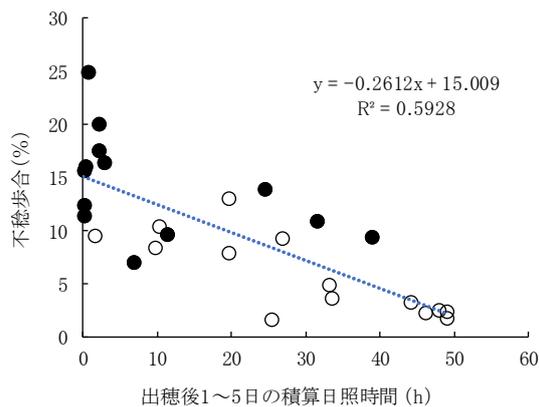


図1 出穂後1-5日の日照時間と不稔歩合

●は全地点の平均気温の平均値以下の事例
○は全地点の平均気温の平均値以上の事例

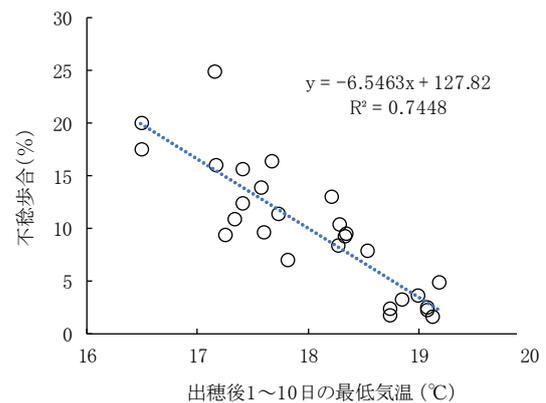


図2 出穂後1-10日の最低気温と不稔歩合

出穂後1-5日の気象

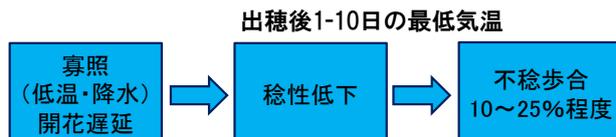


図3 2017年における障害不稔の発生要因

2018年8月7日に山形県遊佐町で発生した乾燥風

○大久保さゆり¹⁾・柴田昇平²⁾・横山克至³⁾

- 1) 農研機構東北農業研究センター 2) 農研機構九州沖縄農業研究センター
3) 山形県農業総合研究センター水田農業試験場

1 背景と目的

2018年8月7日早朝に、山形県遊佐町に100ha規模の白穂被害が発生しているのが確認された。付近にはアメダス等の地上観測点がないため、再解析データ、および領域気象モデルによるシミュレーション結果から被害発生時の状況を検討した。

2 使用データ

観測データ：アメダス観測値による時別値（気象庁ホームページより）
東北農研1kmメッシュ気象データ時別値
（リアルタイムアメダスデータより空間内挿で作成、菅野1997）
再解析データ：気象庁長期再解析JRA-55（Kobayashi et al. 2015）
数値シミュレーション：WRF（入力データFNL: NCEP最終解析値）

3 結果

白穂の発生した山形県遊佐町は、鳥海山の南麓に位置している（図1）、被害の発生した2018年8月6日夜は、当日は太平洋側南岸に台風15号があり、日本海付近に気圧の谷がみられた（図2）。

（地上風系）アメダスデータの分布では、日本海側は東風、太平洋側では北寄りの風系がみられた（図3）。狩川、酒田など、庄内平野のうち最上川の流域にあたる地域では、6日午後から7日午前にかけて強い南東風の持続がみられたが、遊佐町には観測点が存在せず、確認できない。

（数値計算結果）対象地域について、Weather Research and Forecasting (WRF) Modelによる数値シミュレーションから蒸散強制力(FTP)を求めたところ、6日夜から7日未明にかけて、鳥海山南麓の遊佐町付近に、FTPの極大域が確認された（図4）。遊佐町内の代表点の時系列では、6日午後から風速、FTPともに上昇がはじまり、双方とも高い状態が7日のほぼ終日継続していた。

（上空の湿潤度）再解析データJRA-55の湿数（露点温度と温度の差、値が小さいほど湿潤）の南北断面図（図6）によると、遊佐町の位置する39°N付近では上空600hPa付近（約4000m）に乾燥した空気塊がみられた。600hPaと地上10mの風の水平発散の分布からは（図省略）、600hPaに収束域、地表面で発散域がみられ、上空から地表面への下降風が生じていたことが示唆された。

4 考察

数値計算により、アメダスでは捕らえられなかった鳥海山の南麓での乾燥域が検出された。気圧配置や上空の状態からは、北側にある上空の乾燥した空気が下降流となり地表面で発散したこと、特に本州北部では日本海側の気圧の谷に向けて風が吹き込みやすく東風が強化されたことが、強風、乾燥の原因と考えられた。

白穂の発生には、乾燥の程度だけでなく、出穂からの日数や品種なども関係する。清川だしの常襲地帯でなく遊佐でだけ乾燥の被害が出たのかは、数値計算の結果も含め、現地の生育ステージや品種など今後の詳細な検討が必要である。

謝辞 本研究は、SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「次世代農林水産業創造技術」および文部科学省「気候変動適応技術社会実装プログラム（SI-CAT: Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology）」の支援により実施されました。



図1 対象地域

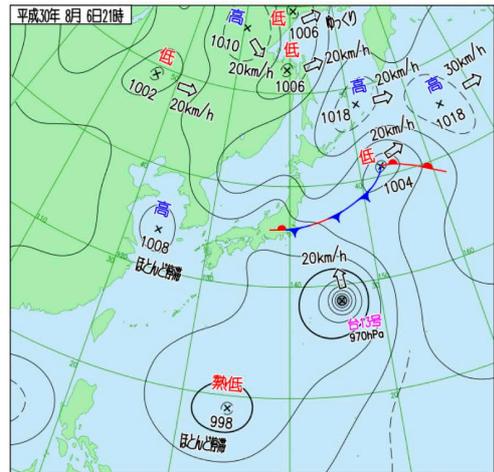


図2 2018/8/6 21時の地上天気図 (気象庁)

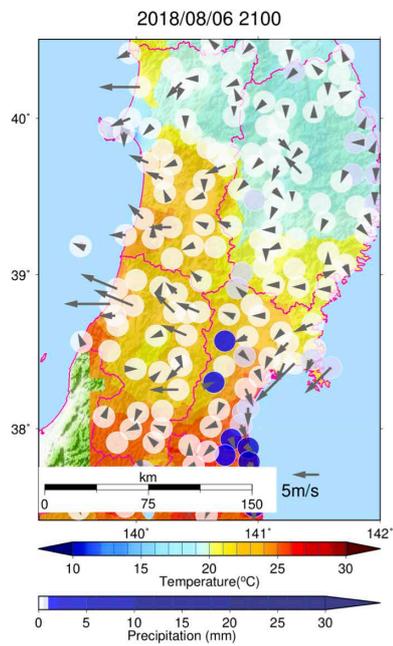


図3 アメダス観測値による風向風速 (矢印)、降水量 (円)、気温 (メッシュ) 2018/8/6 21時

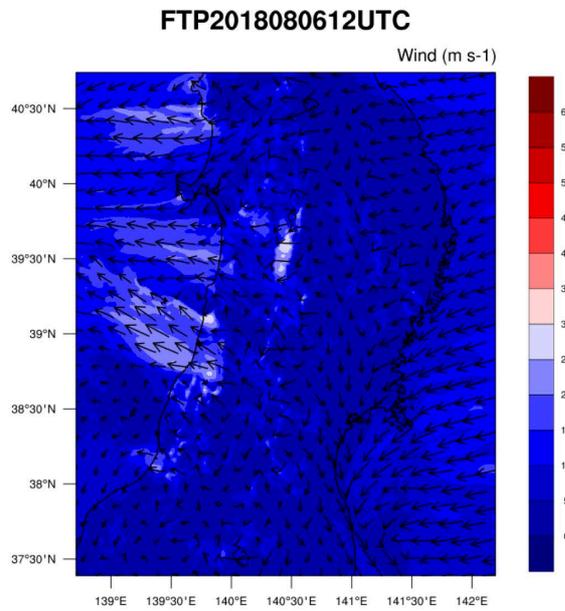


図4 数値モデルによる風系と FTP (蒸散強制力) 2018/8/6 21時
風系は地上 10m, FTP は地上 2m の値。

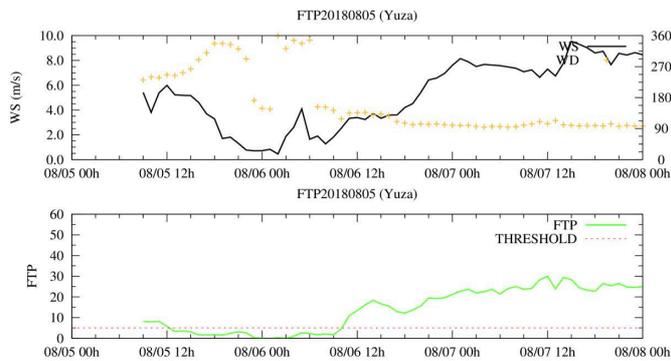


図5 数値モデルによる遊佐付近の風向風速 (上)・FTP (蒸散強制力、下) の時系列
図中の日付は日本時間

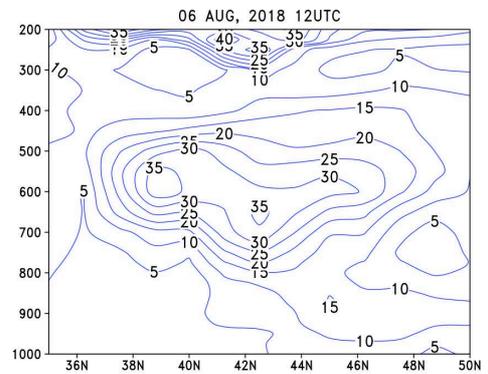


図6 再解析データによる湿数の南北断面図 (2018/8/6 21時, 140° E)
断面位置は図1を参照

北上川水系のダム貯水池上流域における堆積流木量の推定

東北大学大学院工学研究科 正 会 員 ○小森 大輔
 大成建設株式会社 非 会 員 助川 友斗
 東北大学大学院環境科学研究科 非 会 員 Thapthai Chaithong

1. はじめに

川における流木は主に、枯死、風倒、河岸侵食、斜面崩壊、土石流及び森林施業といった生物的・物理的・人為的要因が複合的に作用し流出する¹⁾。例えば、流木の発生源である日本の山林は、森林量は年々増加しており着実に樹木が生育している一方、林業従事者の減少により十分な手入れがなされず荒廃が進み²⁾、従来山林が有していた洪水抑制機能の低下、土砂災害防止機能や、水源涵養機能などの低下による被害が報告されている。さらに、地球温暖化に伴う時空間的に集中した豪雨の頻発が重なり、例えば、2014年広島土砂災害、2016年北海道・東北豪雨災害や、2017年九州豪雨災害にて大規模な流木流出が発生したことは記憶に新しい。

発生した流木は山林内や沢の狭窄部で塞ぎ止められ、流木天然ダムを形成（堆積）し段階的に流出する³⁾ことより、流木の発生-堆積-再移動-流出という一連のプロセスの理解が重要である。しかし、流木流出メカニズムを理解するために、これまでにモデル実験研究や事例研究が多く行われてきたが、流木流出の一連のプロセスに基づく物理モデルは未だ開発されていない。

そこで本研究は、北上川水系のダム貯水池上流域を対象に、斜面崩壊物理モデル（Thapthai and Komori, 2017）⁴⁾を応用して発生流木量を推定し、流木流出の早い流出特性と遅い流出特性を表現するタンクモデルを開発して、堆積流木の状況を推定することを試みた。

2. 対象地域

北上川水系に位置する四十四田ダム（流域面積：1196km²）、御所ダム（流域面積：635km²）、湯田ダム（流域面積：583km²）、石淵ダム（現・胆沢ダム、流域面積：154km²）、田瀬ダム（流域面積：740km²）の5つのダム貯水池上流域を対象とした。使用した1996年から2013年までの各ダム貯水池で計測された捕捉流木量は国土交通省より提供頂いた。

3. 手法

3.1 発生流木量の推計

Thapthai and Komori et al. (2018)⁵⁾に倣い（図-1）、斜面崩壊発生箇所を特定し、現地踏査で測定した森林密度を用いて流木発生量を算出した。流木が発生する時の降雨イベントは各ダム流域内での年最大降雨イベントであると仮定した。各ダムに隣接する複数の AMeDAS 観測所より得た毎時の時間降水量を平均し、流域平均時間降水量を用いた24時間降水量を作成した。流域平均時間降水量を用いた最大の24時間降水量を記録した降雨イベント時の各観測所の時間降水量を用いて算出した各地点の24時間降水量をGIS（Geographic Information System）によりIDW（逆距離加重法）で内挿した値を採用した。土砂パラメータは小本川流域の現地踏査から得た。

3.2 タンクモデルの開発

用いたタンクモデルの概念図を図-2に示す。q1を用いてイベント発生時の流木のピーク量を表現し、q2で平常年における流木流出量を表現する。q1はS1とZの差より算出し、q2は一価非線形の貯留関数式より算出する。流木発生量を入力値として、タンクモデルのパラメータの最適化を行い、算出された流出流木量と各ダムにおいて観測された1996年から2013年までの18年間の流出流木量と比較解析し、各流域における堆積流木量の評価を行った。

4. 結果・考察

例として、御所ダムにおける計算結果を図-3に示す。1段目のタンク高さに対する空隙率の変化を図-4に示す。算出結果はNS=0.852（NS：Nash-Sutcliffe係数）である。なお、他のダムでの検証結果は、湯田ダム：

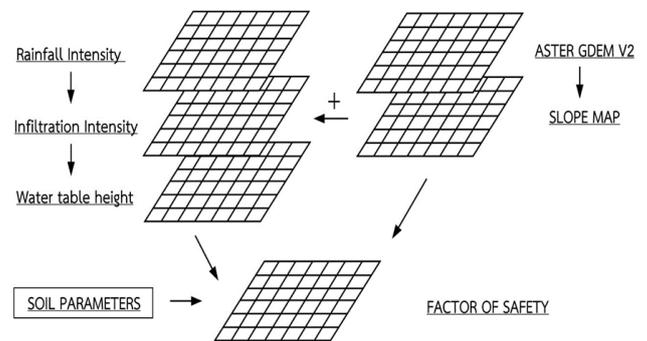


図-1 斜面崩壊発生モデルの概念
 (Thapthai and Komori et al.⁷⁾より抜粋)

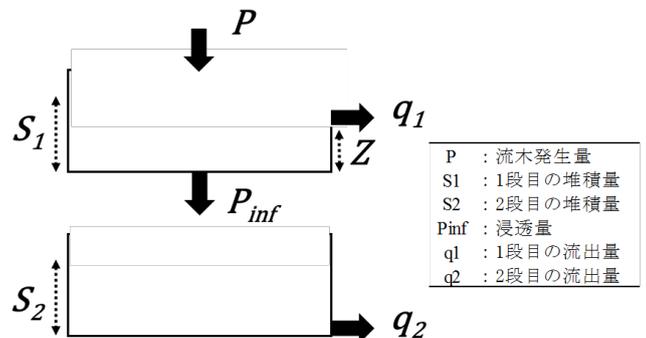


図-2 タンクモデル概念図

0.715, 石淵ダム:0.828, 田瀬ダム:0.785, 四十四田ダム:-0.046であった。四十四田ダム以外の4つのダム貯水池上流域で、早い流出特性と遅い流出特性の2つの異なる流出特性を表現するタンクモデルで、流出流量に関する高い再現性が得られた。2002年に流出流量観測値は増加しており、それと同時に発生流量増加し、空隙率の減少が確認された。また、2007年についても流木発生量と空隙率に同様の傾向が示されている。2013年に流出流量が観測値最大を記録しているが、発生流量が2002年や2007年と比較して半分程度であった。2012年の空隙率が2001年や2006年と比較して小さかったことから、少ない発生流量でも多くの流出流量を記録したと推察された。

表-2に各流域の単位面積当たりの発生流量(以下、単位発生流量)と流域内の傾斜度の割合、貯留量 S_2 を流出量 q_2 で除した2段目における平均流出貯留比(以下、平均流出貯留比)を示す。単位発生流量において石淵ダム、御所ダム、湯田ダムと田瀬ダムに大きな差が存在することが示された。この要因として、単位発生流量に寄与する流域内の傾斜度の割合の違いが影響していると考えられる。御所ダムと湯田ダムにおける平均流出貯留比は、石淵ダムと田瀬ダムと比較して小さいことが示された。以上より、御所ダムと湯田ダムは相対的に流木が堆積しやすい流域であること、石淵ダムと田瀬ダムは相対的に流木が堆積しにくい流域であることが推察された。

5. 結論

1. 四十四田ダム以外の4つのダム貯水池上流域(御所ダム、湯田ダム、石淵ダム、田瀬ダム)において、開発したモデルは流出流量に関する高い再現性が得られた。
2. 対象としたダム貯水池流域において、御所ダムと湯田ダムは相対的に流木が堆積しており、石淵ダムと田瀬ダムは相対的に流木が堆積していないことが推察された。

開発したモデルが他の流域でも適用できるか検証・高度化するとともに、モデルおよびパラメータの物理的意味を明らかにし、流木流出の一連のプロセスの理解を深化することが今後の課題である。

謝辞

本研究の一部は、公益財団法人河川財団 河川基金、一般財団法人建設工学研究振興会、気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)の援助を受けた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 芳賀弘和, 坂本康, 小川滋: 森林流域からの倒木や流木の流出, 日本水環境学会, Vol.29, No.4, pp.207-213, 2006.
- 2) 今井久: わが国の森林・林業の現状に関する調査研究, ハザマ研究年報, 2006.
- 3) 清水収: 山地流域における流木天然ダムの形成・破壊と流木の流出過程, 砂防学会誌, Vol.62, No.3, p.3-13, 2009.
- 4) Thaipthai Chaithong, Daisuke Komori: Hydrological-Geotechnical Model to Assess the Extreme Rainfall-Induced Shallow Landslides, 土木学会論文集 G (環境), 73(5), 223-228, 2017.
- 5) Thaipthai Chaithong, Daisuke Komori, Yoshiya Touge, Yuta Mitobe, Yuto Sukegawa, Satoshi Anzai: Landslides and precipitation characteristics during the typhoon Lionrock in Iwate prefecture, Japan, Journal of GEOMATE, 14(44), 109-114, 2018.

キーワード: 流木 (woody debris), 斜面崩壊 (slope failure), タンクモデル (tank model)

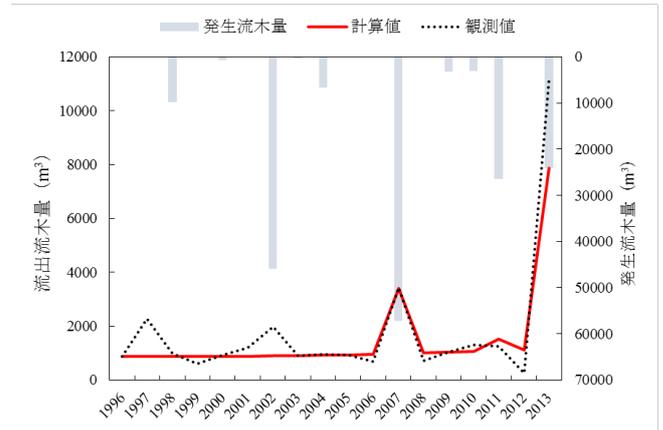


図-3 御所ダムの計算結果

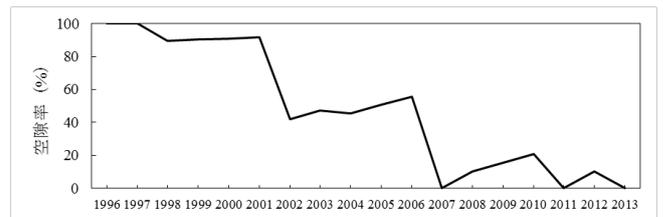


図-4 御所ダムの1段目の空隙率変化

表-2 各流域の単位森林面積当たりの発生流量, 流域内の傾斜度の割合, タンク2段目における平均流出貯留比. 平均値降順により示す.

ダム名	単位面積当たりの発生流量 (m³)		流域内の傾斜度の割合 (%)		2段目における平均流出貯留比 (%)
	最大値	平均値	10-40度	20-40度	
石淵ダム	2278.25	425.23	64.6	30.5	3.02
御所ダム	1739.78	299.70	65.7	27.4	0.60
湯田ダム	931.04	274.15	66.1	31.3	0.13
田瀬ダム	1388.35	163.25	58.0	23.7	4.60
四十四田ダム (参考)	859.01	101.01	56.6	21.8	370.80

>>>支 部 だ よ り<<<

1. 2018（平成 30）年度支部大会

2018 年度支部大会は、東北大学大学院環境科学研究科エコラボ（宮城県荒巻字青葉468-1）において、9月18日に開催されました。特別講演「気候変動と東北の農業気象」および 10 題の一般研究発表があり、活発な討議が行われました。2018年度は功労賞受賞候補者、奨励賞受賞候補者の推薦がありませんでした。今号には特別講演および一般研究発表の要旨を掲載しました。

2. 会員動静(2018 年 4 月 4 日)

[入会] 大場 誠、近 将史、辻本克斗

[退会] 木村善明、若松正夫、池田祐樹、野田正浩、松田裕之

会員数（2018 年 4 月 4 日）：118 名

名誉会員： 1 名

会 員：104 名（内支部のみ 43 名、本部 48 名、本部（管外）13 名）

図書館等： 13 名（内支部 6 名、本部のみ 7 名）

3. 寄贈図書

日本農業気象学会北海道支部から会誌の寄贈がありました。ご利用の節は支部事務局までご連絡ください。

4. 2019 年度功労賞受賞候補者推薦のお願い

日本農業気象学会東北支部功労賞規程に基づき、2019 年度の候補者をご推薦ください。締め切りは 2019 年 7 月 30 日です。手続きの詳細については事務局までお問い合わせください。

5. 2019 年度奨励賞受賞候補者推薦のお願い

日本農業気象学会東北支部奨励賞規程に基づき、2019 年度の候補者をご推薦ください。締め切りは 2019 年 7 月 30 日です。手続きの詳細については事務局までお問い合わせください。

6. 決算報告および予算

(1) 2017年度決算報告 (2017.4.1～2018.3.31)

収入			支出		
項目	予算	決算	項目	予算	決算
個人会費	20,000	3,000	印刷費	5,000	2,211
支部補助費	33,600	30,800	通信費	20,000	2,373
雑収	0	2	事務費	20,000	4,523
大会費(本部)	0	0	大会費	50,000	18,256
全国大会余剰金	0	318,000	雑費	5,000	160
繰越金	666,555	666,555	予備費	620,155	0
合計	720,155	1,018,357	合計	720,155	27,523

余剰金の算出
 収入 1,018,357 円
 支出 27,523 円
 余剰金 990,834 円

(2) 2018年度予算 (2018.4.1～2019.3.31)

収入		支出	
項目	予算	項目	予算
個人会費	43,000	印刷費	5,000
支部補助費	33,600	通信費	20,000
雑収	0	事務費	20,000
大会費(本部)	0	大会費	50,000
繰越金	990,834	雑費	5,000
		予備費	967,434
合計	1,067,434	合計	1,067,434

7. 2019年度支部大会のお知らせ

2019年度支部大会は岩手県にて開催予定です。後日案内をお送りしますので、多くの方の研究発表をお願いします。

日本農業気象学会東北支部会則

昭和30年	4月	1日	実 施
昭和31年	12月	19日	一部改正
昭和35年	12月	22日	同
昭和37年	12月	4日	同
昭和39年	1月	31日	改 正
昭和42年	1月	27日	一部改正
昭和45年	12月	19日	同
昭和49年	9月	13日	同
昭和53年	10月	28日	同
昭和59年	9月	27日	同
平成 2年	8月	28日	同
平成 8年	10月	7日	同
平成12年	7月	27日	同
平成14年	7月	31日	同
平成19年	11月	8日	改 正
平成22年	8月	20日	改 正
平成23年	11月	7日	改 正
平成24年	11月	1日	改 正

第1章 総 則

第1条（名称）：本会は、日本農業気象学会会則（以下、本部会則）第3章第7条に基づき、日本農業気象学会東北支部とする。

第2条（目的）：本会は日本農業気象学会の趣旨に則り、東北における農業気象学の進歩、知識の向上並びに農業気象学を活用した農林水産業の振興と発展をはかることを目的とする。

第3条（事務局）：独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター生産環境研究領域（農業気象グループ）内におく。

第2章 事 業

第4条（事業）：本会は第2条の目的を達成するために次の事業を行う。

- (1) 農業気象についての研究発表会、講演会、談話会などの開催。
- (2) 機関誌「東北の農業気象」の発行。
- (3) その他必要と認める事業。

第5条（事業年度）：本会の事業年度は毎年4月1日に始まり翌年3月31日に終わる。

第3章 会 員

第6条（会員）：本会の会員は、本部会則に基づき東北支部に所属する日本農業気象学会会員（以下、本部会員）ならびに支部会員、賛助会員、名誉会員とする。

- (1) 支部会員は本会の趣旨に賛同し、入会した者。

- (2) 賛助会員は本会の目的に賛同する個人または団体に別に定めるところによる。
- (3) 本会の発展に著しい貢献をした者のうち評議員会が推薦し総会が承認した者を名誉会員とする。

第4章 役員

第7条（役員）：本会に次の役員をおく。

支部長 1名 評議員 若干名 監査 2名 幹事 若干名

第8条（任務）：

- (1) 支部長は支部の会務を総理し支部を代表する。
- (2) 評議員は評議員会を構成し重要な会務を評議決定する。
- (3) 監査は本会の会計を監査する。
- (4) 幹事は支部長の命を受け本会の事務を執行する。

第9条（選出）：

- (1) 支部長は評議員会が選出し、総会に報告する。
- (2) 評議員は本部会員ならびに東北地方在住の支部会員のうちから選挙により各県ごとに決める。東北地方に在住しない支部会員は評議員選挙権および被選挙権を有しない。各県ごとの評議員定数は、選挙年の前年度末における各県の会員数に依り、以下のとおりとする。

- 1) 会員10名未満：定数1
- 2) 会員10名以上20名未満：定数2
- 3) 会員20名以上30名未満：定数3
- 4) 会員30名以上：定数4

選出された評議員のうちから本部会則に基づく本部理事ならびに本部評議員を互選する。

- (3) 監査は支部長が会員の中から2名を委嘱する。
- (4) 幹事は支部長が会員の中から委嘱する。

第10条（任期）：役員任期は2年とし、重任を妨げない。

第11条（解任）：役員または顧問が東北地方を離れた場合には自然解任となる。

第5章 顧問

第12条（顧問）：本会に顧問をおくことができる。顧問は支部長が委嘱する。

第6章 会議

第13条（会議）：本会には総会と評議員会をおく。

- (1)（総会）：年1回開催し支部長が招集する。但し臨時に招集することができる。
- (2)（評議員会）：必要に応じ支部長が招集する。幹事は評議員会に出席し発言することができる。

第7章 会計

第14条（会計年度）：本会の会計年度は事業年度と同じである。

第15条（経費）：本会の経費は支部補助費（本部経費）、支部会員ならびに賛助会

員の会費および寄付金などによる。

第16条（会費）：本部に所属しない会員の年会費は次のとおりとし、役員選出時に2年分を納入する。

支部会員 500円／年（2014年以降、2012年・2013年は750円／年）

賛助会員については別に定める。

第17条（決算）：会計の決算は会計年度終了後速やかに監査を経てその後最初に行われる総会に報告しなければならない。

第18条 その他は本部会則に従う。

第19条（会則の改正）：この会則の改正は総会の決議により行う。

（付則）本会則は平成22年度から適用する。

日本農業気象学会東北支部功労賞規程

平成2年4月1日 制定

1. 会則第2章第4条(3)に基づき本規程を設ける。
 2. 功労賞は支部の活動、運営等に永年貢献のあった会員に贈る。
 3. 功労賞受賞者には賞状と賞牌を贈る。
 4. 功労賞は原則として毎年贈る。
 5. 功労賞受賞者を次の手続きで決定する。
 - (1) 功労賞受賞候補者の推薦は会員が行う。推薦者は5名以上の推薦人(役員1名以上を含む)と推薦理由を本会誌閉じ込みの推薦書に記入し、事務局へ届け出る。
 - (2) 推薦書の届けは事業年度内に開催される東北支部会の2ヶ月前までとする。
 - (3) 支部長は受賞候補者を評議員会にはかり受賞者を決定する。
 6. 授賞式は総会で行う。
 - (1) 15年以上の会員で、原則として役員を務めた会員。
 - (2) 支部長がとくに功績を認め推薦した会員。
- (付則) 本規程は平成2年度から適用する。

日本農業気象学会東北支部奨励賞規程

平成15年4月1日 制定

1. 会則第2章第4条(3)に基づき本規程を設ける。
 2. 奨励賞は原則として前年度の支部会誌に論文を表し、東北の農業気象研究の進展に功績のあった会員若干名に贈る。
 3. 奨励賞受賞者には賞状と金一封を贈る。
 4. 奨励賞は原則として毎年贈る。
 5. 奨励賞受賞者を次の手続きで決定する。
 - (1) 奨励賞受賞候補者の推薦は評議員および幹事が行う。
 - (2) 支部長は受賞候補者を評議員会にはかり受賞者を決定する。
 6. 授与式は総会で行う。
- (付則) 本規程は平成15年度から適用する。

日本農業気象学会東北支部編集委員会規程

当編集委員会は、以下の手順で「東北の農業気象」の編集作業にあたる。この作業は、投稿論文の内容を読者に理解しやすくすることを目的とする。

1. 大会で口頭発表されたすべての課題の投稿を依頼する。
2. 編集委員会は、投稿規程に基づいて投稿された原稿のうち、「論文」ならびに「短報」を審査する。
3. 編集幹事は、投稿原稿の内容に応じて編集委員1名に査読を依頼する。
4. 適切な査読者が編集委員にいない場合、編集委員以外に査読を依頼できる。
5. 査読者は、査読結果を編集幹事に報告する。
6. 査読結果を吟味したうえで、編集幹事は投稿者に原稿の修正を依頼することもある。
7. 「進む研究」、「ぐるっと東北」、「研究レビュー」、「トピックス」、「小講座」などの記事を企画し、評議委員会の承諾を得て、編集にあたる。

最終改正：平成24年11月1日

日本農業気象学会東北支部 Web ジャーナル 「東北の農業気象」利用規程

平成21年4月1日制定

1. 日本農業気象学会東北支部会誌「東北の農業気象」はPDFファイルによって刊行する。
 2. 支部会員への配布は、日本農業気象学会東北支部ホームページ上において、各会員が会誌PDFファイルを開覧あるいは保存することを基本とする。但し、ホームページを参照できない会員や、特別に求めのある会員については、会誌PDFファイルの電子メールによる送付、もしくは印刷物の郵送を行うものとする。
 3. 日本農業気象学会東北支部ホームページは一般にも公開し、会誌PDFファイルを開覧および保存可能とする。ファイルの取り扱いについては、次のような権限付与によって、支部会員（本部会員および支部単独会員）と非支部会員とに差を設ける。
 - (1) 支部会員についてはパスワードを配布し、閲覧、保存および印刷可能とする。図表およびテキストのコピーは不可とする。
 - (2) 非支部会員についてはパスワード不要で、ホームページでの閲覧および保存のみ可能とする。印刷、図表およびテキストのコピーは不可とする。
 4. 図書館等は、支部会員と同等の扱いとし、支部会費は徴収しない。図書資料の保存を目的とする場合に限り、刊行物の全部を印刷、または媒体に複写することができる。また利用者の求めに応じ、調査研究のため、刊行物の一部を印刷することができる。他図書館から求めがあった場合、刊行物の一部を印刷して提供することができる。
- (付則) 本規程は平成21年4月1日から施行する。

3.3 本文

3.3.1 本文には数字で見出しをつけて、「1. はじめに」「2. 材料および方法」などとする。これらを細分するには、1. 1, 1. 2を、さらに細分するには1. 1. 1, 1. 1. 2を用いる。ただし、要約、謝辞には見出しはつけない。

3.3.2 本文は原則として以下の順に構成する。

要約

本論の内容を簡潔にわかりやすく、和文か英文で書く。和文は350字以内、英文は150語以内とする。文頭に「要約」とせず、直接書き始める。末尾に改行して和英キーワード5語程度を、それぞれ五十音順、アルファベット順につける（例参照）。

(例) 畜産廃棄物の中でも特に廃棄処理にコストがかかる豚尿を、培養液として利用し、サラダナ、コマツナ、セルリの生育に及ぼす影響を解析した。その結果、サラダナ、コマツナで生育は劣ったものの、セルリの生育に市販の培養液との差は認められなかった。このことから、作物の種類によっては、豚尿を浄化しながら作物生産に利用する水耕栽培システムの開発が可能といえた。

キーワード：浄化、水耕栽培、セルリ、豚尿

Keywords: Celery, Pig-urine, Purify, Solution-culture.

はじめに(緒言、まえがき)

研究の背景(問題の性質・範囲)、これまでの研究の大要との関係、研究を開始した動機、研究の目的・意義などを説明する。特に、著者自身の過去の成果を踏まえて進めた研究の場合、これまでに解明した点と未解明の点を整理した、研究に至った経緯等を説明する。

材料および方法

実験や測定に使った作物や機材、処理方法・測定方法や分析方法を説明する。

結果

実験結果を、主観的判断を交えずに、図表を用いて忠実に表現する。考察の材料となる結果の説明は省かない。逆に、考察材料にならない結果には、特別な理由がないかぎり、ふれない方が望ましい。

考察

実験結果を、引用文献などを用いて、様々な角度から理論的に解析する。また、この最後に「実験結果から何がいえるのか」を結論づける。

まとめ(摘要)

要約で英文を書く場合のみ必要(和文で書く)。研究の背景等を簡単に書き、結果と考察を箇条書きにする(例参照)。

(例) 米の粒厚が食味に及ぼす影響はこれまで明らかにされていない。そこで、収穫1ヶ月後の1992年産と1993年産ササニシキを用いて、粒厚別の食味官能試験を実施した。なお、1992年は豊作、1993年は凶作であった。

(1) 1992年産米の粒厚は平均2.09mm、標準偏差0.14mmであった。また、1993年産米の粒厚は平均1.79mm、標準偏差0.26mmであった。

(2) 1992年産では、粒厚が1.65mm以下に低下すると食味が急激に低下した。一方、1993年産では、粒厚の低下に伴い食味は直接的に低下した。

(3) 1993年産の食味は1992年産に比べて著しく低く、50%以上の人がまずいと感じる米の粒厚は、1992年産で1.52mm以下、1993年産で1.71mm以下であった。

(4) これらのことから、粒厚の低下により食味が低下することが明らかになった。しかし、同じ粒厚でも、1993年産が1992年産の食味より劣ったことから、凶作だった1993年産米の食味の悪さは、粒の小ささだけでは解明できないといえた。

謝辞

必要に応じて書く。

3.3.3 数式の上下には1行づつスペースをとる。

- 3.3.4 文章中の式は、 a/b 、 $\exp(t/r)$ のように書く。
- 3.3.5 単位はSI単位を原則とする。ただし、非SI単位での表現が妥当であることが明らかな場合はこの限りでない(例:分、時、日、リットル、トン)。
- 3.4 図表
 - 3.4.1 図・表は、要約に合わせて和文か英文にする。写真は図として扱い、図1、Fig.1のように表現する。
 - 3.4.2 図・表のタイトルと説明は、要約に合わせて和文か英文にする。本文中での引用は「図1、表1によれば」あるいは「Fig.1、Table1によれば」とする。
 - 3.4.3 図は本文とは別のA4サイズの紙に1つずつ、タイトルや説明文とともに書き、引用文献の後に添付する。ワープロを用いた投稿では、原稿ファイルに電子化して貼り付ける。その際、不鮮明になるなど品質が低下しないように気をつける。刷上がりの図の幅は8cm程度か16cm程度が望ましい。
 - 3.4.4 表は、本文とは別のA4サイズの紙に1つずつ、タイトルや説明文とともに書き、図の後に添付する。刷上がりの表の幅は8cm程度か16cm程度が望ましい。
 - 3.4.5 迅速に理解できない表は使わない。複雑な表は、簡略化あるいは図形化に努める。例えば、考察に利用しない数値は、その数値自体が特別な意味を持たないかぎり削除する。
 - 3.4.6 本文中の図・表の挿入箇所は原稿の右側余白に赤字で示し、これを赤線で囲む。
- 3.5 引用文献
 - 3.5.1 著者名のABC順に本文の末尾に一括する。
 - 3.5.2 「著者, 年: 題目名, 誌名 (略), 巻, ページ。」の順に従って書く。

(例)

ト蔵建治, 1991: 冷害と宮沢賢治「グスコーブドリの伝記」の背景, 農業気象, 35, 35-41.

小林和彦, 1994: 影響評価モデル. 日本農業気象学会編「新しい農業気象・環境の科学」pp190-206. 養賢堂.
 - 3.5.3 本文中での引用は番号でなく、「菅野(1994)によれば」、「これらの報告は多い(井上; 1994)。」などとする。
4. 「進む研究」などの記事の執筆要領
 - 4.1 「論文」と同様、表紙に表題・著者名・所属を和文で書く。投稿を希望するジャンルを選択または記述する。英文で併記してもよい。
 - 4.2 本文の構成は著者の自由とする。内容に適した理解しやすい構成をとること。
 - 4.3 仮名使い、数式の記述、単位、図表の書き方は、「論文」、「短報」の執筆要領に従う。
 - 4.4 「引用文献」と「参考文献」の使い分けを明確にし、書き方は、「論文」、「短報」の執筆要領に従う。
5. 講演要旨
 - 5.1 A4用紙を縦置き横書きに使い、上下左右に25mm程度の余白をとって原稿を作成する。冒頭には演題名を14ポイント程度の文字で書き、続けて著者名・所属を書く。
 - 5.2 本文の構成は著者の自由とする。ただし、原則としてそのまま掲載されるので、体裁や図表の品質に気をつける。文字サイズは10.5ポイントが望ましい。
6. 著者校正
 - 6.1 著者は初稿を校正する。再校以後は事務局で校正する。校正の際の加除筆は原則として認めない。

最終改正：平成24年11月1日

東北の農業気象 第63号

2019年3月発行

編集・発行 日本農業気象学会東北支部
〒020-0198 盛岡市下厨川字赤平4
東北農業研究センター内
電話 019-643-3462
振替口座 02270-7-4882
