

令和 2 年 5 月 22 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K08025

研究課題名(和文) 気象タイムラグ相関と作業イノベーションの解析に基づく生産量評価

研究課題名(英文) Evaluating crop production based on analysis of the lagged time series correlation to climate and the agricultural systems

研究代表者

下田 星児 (Shimoda, Seiji)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・北海道農業研究センター・上級研究員

研究者番号：80425587

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、気象の年変動の観点から、北海道の春と夏の天候に焦点を当て、作物収量への影響に焦点を当てた。2000年以降の春と夏の気温の負の相関は、太平洋10年数年規模変動(IPO)に関連する暖かい春/涼しい夏または涼しい春/暑い夏のパターンから生じた。涼しい春は植栽と発芽を遅らせるが、暑い夏は生育期間を短縮する。北海道の2010年は著しい高温影響の代表例である。十勝地方の小麦収量は、日射の影響を強く受けた。4年間の遮光試験の結果をまとめ、主要品種「きたほなみ」は、登熟期間前半の日射の影響をより強く受けた。気候変動が作物収量に及ぼす影響は、地球規模と地域の両方の気候から評価する必要がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

気候変動は農業生産量に大きな影響を与え、適応するための農作業の改変や品種の改良の重要性が増している。本研究の結果は、日本の代表的な農業地帯である、北海道東部において、パレイショの長期収量や小麦の多年次試験の結果をとりまとめ、春と夏の気象変動特性が農業生産に与える影響を明らかにした。総観気象と農業を結び付けた知見として学術的意義がある。本研究は、今後起こり得る気象変動下における、適切な農地利用や品種改良の方向性を示しており、次世代農業の発展に寄与すると考えられる。

研究成果の概要(英文)：From the viewpoint of inter-annual variation, our study have focused on spring and summer weather in Hokkaido influences the crop yields. The negative correlation between spring/summer temperatures after 2000 resulted from patterns of warm spring/cool summer or cool spring/hot summer, linked to the Inter-decadal Pacific Oscillation (IPO). A cool spring delayed crop management in Hokkaido, whereas a hot summer shortened the growth period, causing the lowest potato yield in the year 2010. The annual wheat yield in the Tokachi region in Hokkaido, depended strongly on adequate solar radiation. We conducted a 4 year shading experiment. Wheat yield was determined by solar radiation at the beginning of the grain filling period. Moreover, main cultivar 'Kitahonami' showed a significantly slow increase in the grain filling after shading. To assess the climate change on crop yields, additional aspects of both global and regional climates should be considered.

研究分野：農業生態

キーワード：気候変動 北海道 小麦 ばれいしょ エルニーニョ 開花期 遮光

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

北海道で生産量の変動が大きい冷涼な気象に適した作物である、ジャガイモ・小麦の生産量の変動機構が明らかになっていない。地理的な気候特性に基づく地域的な気象と生産量の関わりを明らかにすると同時に、アジア地域の気候変動を捉え、総観気象に着眼して生産量変動を考察する必要がある。

30年前には、日本のジャガイモの単位面積当たり収量は、世界最高水準であった。近年は、世界の主産国の単位面積当たり収量は増加傾向にあるのに対し、日本の収量はやや減少傾向にある。ジャガイモの主産地は、北海道東部の十勝地域とオホーツク地域で、全国のジャガイモ生産量の8割を占める。そこで、最近の気候変動がジャガイモの収量に与えた影響を示し、この収量が横ばいになる原因を理解する必要がある。

湿度の高い気候の日本では、開花期および登熟期の長時間の降雨または日射量の不足は、小麦の収穫量を減少させる主要素である。北日本太平洋側の地上レベルの日射量は、梅雨前線に起因する雲量の増加により、6月下旬にしばしば減少しており、この期間が小麦の登熟期と一致することが、北海道の小麦生産量の大きな変動の要因と考えられる。統計データから言える、日射量の低下に対する生産量の応答を、小麦の栽培試験で再現し、日射への依存性を明らかにする必要がある。

### 2. 研究の目的

気象のタイムラグ解析と作業イノベーションの評価により、ジャガイモ・小麦の生産量を評価する。気象と生産量の関係を変化させる鍵となった作業技術のイノベーションを探索する。暖候期にリンクした冬季の気候特性の把握およびそれに対応した農作業スケジュールの評価も重要な研究テーマである。

### 3. 研究の方法

北海道東部の畑輪作地帯をモデルケースとして、タイムラグ相関のある気象要素によるジャガイモ・小麦の生産量を評価する。過去30年以上の1kmメッシュ気象データと生産量データから気象と生産量の関係を解析し、早期予測の精緻化を図る。グローバル気象解析、地域タイムラグの抽出、観測と圃場実験に基づく気象解析を行い、環境データと作物生産の統合解析を行う。

### 4. 研究成果

(1) 近年の国内のばれいしょ(ジャガイモ)収量の停滞は、温暖化の季節的偏りが原因であることを明らかにした

1986年から2014年の収量について変化点の検出を行ったところ、十勝地域・オホーツク地域共通で、2009年に減少の変化点があった(図1)。そこでまず、農作業イノベーションの影響として、品種変更に着目した。オホーツク地域は、澱粉原料用ジャガイモの栽培が多い地域で、高収量型品種の「紅丸」から高澱粉型品種の「コナフブキ」へ変更された1990年代後半に、収量減少の変化点が生じた。品種の転換が収量の気象変動影響を変化させる要素のひとつであることを明らかにした。

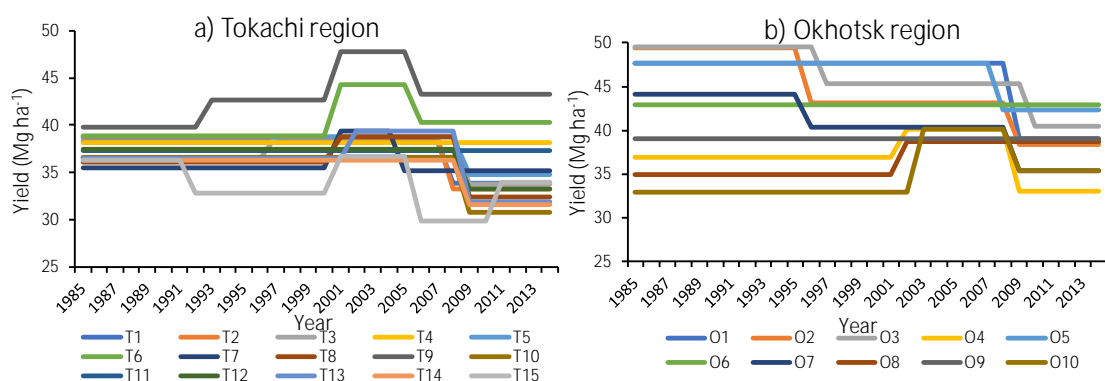


図1 .1986年から2014年のa)十勝地域、b)オホーツク地域の市町村ごとのジャガイモの収量の経年変化の変化点の検出結果。T1～T15は十勝地域、O1～10はオホーツク地域の市町村を示す。

夏の気温は、2010年に上昇の変化点があり、2000年代後半から春の気温が変化せずに、夏の気温が上昇したことは、収量の減少傾向を顕在化させた可能性が高い。また、ジャガイモの収量は、植物の成長中の温度だけでなく、植付け作業の前の気温に対しても高い相関を示した。涼しい春は植え付けと発芽を遅らせるが、暑い夏は成長期間を短くした。2000～2014年の春と夏の気温の負の相関は、10年に1回の太平洋海水面温度(SST)変動に関連する暖かい春/涼しい夏または涼しい春/暑い夏のパターンから生じた。2010年は涼しい春/暑い夏の傾向が顕著で、過去最低の収穫量をもたらした。夏の高温は、日本の農家に早植えなどの適応戦略の実施を促した。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

初期のプランテーションは必ずしも発芽までの時間を短縮するわけではなく、より長い成長期間を促進するものでもないため、最近の気候の傾向により、夏の気温上昇によりジャガイモの収量が低下した。

赤道太平洋の東風の影響は大きくなる傾向にあり、これが1990年代後半からの春と夏のタイムラグ相関の理由を説明している。北海道東部の2000～2014年の平均気温偏差は、4月と8月の間に非常に有意な負の相関を示す。つまり、2000年から2014年の期間中、涼しい春はしばしば暑い夏と一致した。特に収量の低下が激しかった2010年は、4月と8月の気温の間に有意な負の相関があった。北海道東部の月別気温は、日本の他のレポートと同様に、2000年代以降、4月と8月の温度コントラストが高まっていることを示している(Kanno, 2013; Urabe & Maeda, 2014)。これは、ラニーニャモードのSSTパターンが2000年のIP0のマイナスの期間に太平洋の貿易風を強めているためと考えられる(England et al., 2014)。総観気象が地域的な生産量変動に与える影響を明らかにできた。また、気候変動適応策としての10年スケールの気候変動の検出は、多雨時の収量減少を示唆する。よって、圃場規模の対策としての排水性の強化は、気候変動の拡大時においても、地域のジャガイモの収量を効果的に改善する可能性がある。

(2) 総観気象の解析により作物の生産性に対する気候変動の影響を明らかにした

1998年以降2019年までの4月と8月の月平均気温の相関係数は0.76、決定係数は0.58と高い値を維持している(図2)。2015年以降、地球温暖化の停滞(hiatus)が終わり、全球気温の上昇期に入ったが、まだそれ以前の作用メカニズムが働いている可能性がある。一方、北日本の各月ごとの相関係数を計算したところ、7月が他のどの月とも有意な相関を示さなかった(図3)。特に北日本のイネにとって7月は重要な時期であるだけに、その変動特性が明らかになったのは重要な成果である。

全球客観解析データJRA55を用い、200hPa高度とSSTに対して1958年から2019年の春季と夏季についてSVD解析を行った結果、NINO.3(エルニーニョ監視海域)付近のSSTが北半球中高緯度200hPa高度の変動にリンクしていることが示され、北日本4月8月気温の負の相関関係をもたらす日本付近のジェット気流の変動を説明する要因として抽出することができた。図4では、NINO.3海域上と日本付近の200hPa高度場が、4月では正の、8月では負の相関を示している。

NINO.3のSSTについては、北日本の気温変動に対する全球規模の役割のほかに、熱帯島嶼国であるキリバス共和国の降水量変動に直接的に影響していることが明らかとなり、その多面的な役割が明らかになった。今後、継続的な観測網の確保が必要となる。

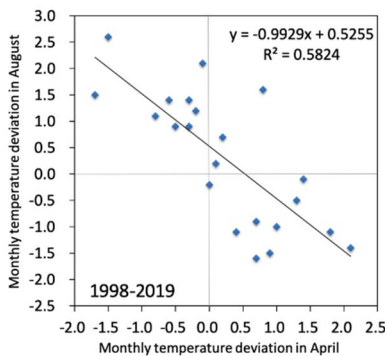


図2 北日本における4月平均気温(横軸)と8月平均気温(縦軸)の散布図(1998-2019年)

	Jan																					
Feb	0.59																					
Mar	0.27	0.439																				
Apr	-0.03	0.12	0.64																			
May	0.28	0.34	0.529	0.42																		
Jun	0.39	0.05	-0.39	-0.52	-0.28																	
Jul	0.01	-0.03	0.03	-0.09	0.11	0.12																
Aug	0.14	-0.06	-0.39	-0.76	-0.26	0.48	0.28															
Sep	-0.15	-0.19	-0.25	-0.35	-0.16	0.07	0.15	0.66														
Oct	-0.31	-0.39	0.01	-0.09	-0.34	-0.04	0.02	0.13	0.49													
Nov	-0.08	-0.12	-0.31	-0.38	-0.28	0.49	0.08	0.08	-0.07	0.06												
Dec	0.21	0.25	0.35	-0.13	0.16	0.18	-0.10	0.09	-0.01	-0.01	0.30											
D-J	0.31																					

図3 北日本における各月ごとの相関係数(1998-2019年)。黄色ボックスは危険率5%以下で、赤字は1%以下で統計的に有意。

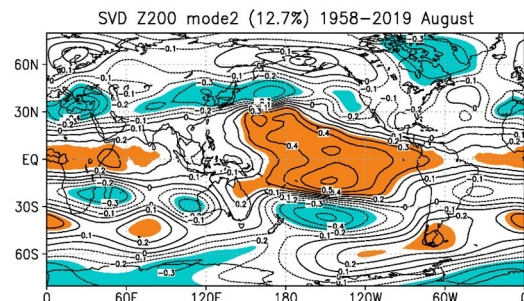
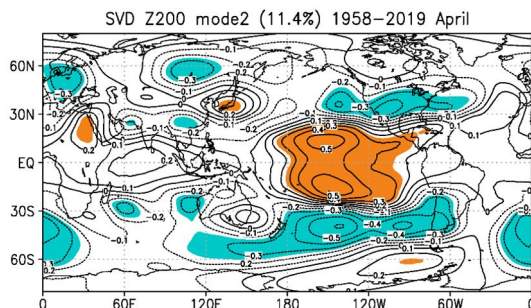


図4 4月(左)と8月(右)の200hPa高度とSSTのSVD解析結果(1958-2019年)のうち、200hPa高度の第2成分。オレンジは正の、青は負の相関が危険率5%以下で統計的に有意。

(3) 栽培試験から小麦収量の長期気象変動傾向に対する曇天の影響を明らかにした

登熟期の曇天傾向が秋播き小麦の葉の老化と収量に及ぼす影響を評価した。北海道農業研究センター芽室研究拠点の4年間の登熟期遮光実験の結果をまとめた(Shimoda and Sugikawa, 2020)。6月中旬に遮光を行った。この期間は、調査地域で太平洋高気圧の北上に伴い曇天が長期化する可能性が高い時期に相当する。収量は、乾季であった2015年を除いて、登熟期の初めの遮光程度によって決定された(図5)。2016年と2017年の後半の開花では、遮光処理で子実の粒数と粒重が大幅に減少した。また、開花後の「きたほなみ」は、「ゆめちから」よりも遮光後の登熟過程における粒重増加が有意に遅かった(図6)。開花後と遮光処理までの期間が短い場合、遮光は粒数と粒重を大幅に減少させ、その後の光レベルの低下に遭遇する可能性が高まり、結果として粒数と粒重が低下した。子実タンパク質含有量の増加は粒重の減少と同期しており、遮光により変化した。遮光により弱光環境において、老化が早まる作物もあるが、遮光程度が強まるほど老化が遅れる傾向があった。一般に、子実充実期間の老化の遅れは、子実重を増加させるが、弱光条件による同化産物生産の生産が生育期間の延長の効果を打ち消すため、遮光による生産量向上効果は無かった。

この結果は、子実収量の減少を回避できる適切な開花期の品種を開発するために、曇天の季節パターンを考慮することの必要性を示す。初期の子実充填の不十分さは、粒数と粒重の両方を制限した。穂数あたりの小花数が多いことは、「きたほなみ」が高収量を達成するためのよく知られた特性である。遮光によって「きたほなみ」で特に大きな粒重減少を及ぼす。子実の充実期間の光の不足を克服する方法として、好天に開花しやすい適切な開花期の品種が望ましく、気候の季節パターンを考慮した品種選択が必要である。本研究の結果は、小麦の日照不足に対する耐性を高めることを目的とした品種改良が必要であることを示唆する。また、冬期環境に関し、土壌凍結が小麦の越冬後の生育に与える影響に関する4年間の栽培試験をまとめ、生育の遅れが生じるが収量を減少させる程度は小さいことが分かった(Shimoda and Hirota, 2018)。

本課題の結果に基づく可能な気象変動適応策は、北海道東北部や北西部などの日当たりの良い他の地域に小麦の生産地域を移すことになる。北海道のフェーンに由来する日射特性の地域差(Shimoda et al., 2015)により、北海道東南部は開花期から登熟期にかけて、低日射条件下で秋播き小麦を栽培することになる。さらに、十勝地方などの曇り地域においては、曇天期間を避けるための早期に開花することが可能な品種の開発が、小麦生産の安定に貢献することを示した。

(4) まとめ

北海道の冷涼地域に適した作物であるジャガイモと小麦を対象に、多年次の生産量変化と気象要因の関係を明らかにした。総観気象の解析は、作物の気候変動の影響を説明することができ、品種を含めた農作業体系も気象変化の影響を受けることを示唆する結果を示すことができた。

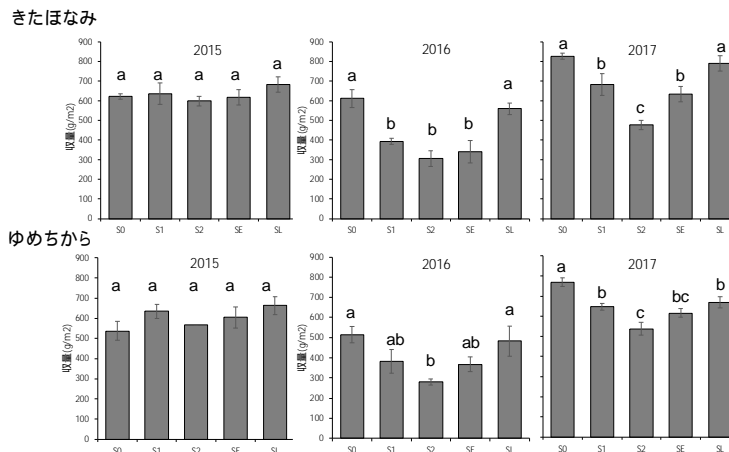


図5.小麦品種「きたほなみ」「ゆめちから」の遮光処理ごとの収量。S0は遮光なし、S1は30%、S2は50%、SEは前半のみ50%遮光、SLは後半のみ50%遮光。異なるアルファベットは有意(p<0.05)な処理区間差あり。

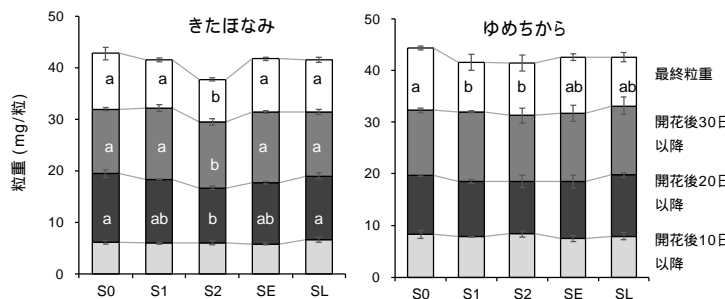


図6.小麦品種「きたほなみ」「ゆめちから」の開花後から約10日ごとの子実の充実程度。S0は遮光なし、S1は30%、S2は50%、SEは前半のみ50%遮光、SLは後半のみ50%遮光。異なるアルファベットは有意(p<0.05)な処理区間差あり。2017年の結果。

様 式 C - 1 9、F - 1 9 - 1、Z - 1 9 ( 共通 )

[引用文献]

- England M. H. et al., 2014: Recent intensification of wind-driven circulation in the Pacific and the ongoing warming hiatus, *Nature Climate Change*, 4, 222-227.
- Kanno, H. 2013: Strongly negative correlation between monthly mean temperatures in April and August since 1998 in Northern Japan. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 91, 355-373.
- Urabe, Y. and Maeda S., 2014: The Relationship between Japan's Recent Temperature and Decadal Variability. *SOLA*, 10, 176-179.
- Shimoda, S., T. Hamasaki, T. Hirota, H. Kanno, and Z. Nishio, 2015: Sensitivity of wheat yield to temperature changes with regional sunlit features within eastern Hokkaido. *Int. J. Clim.*, 35, 4176-4185.
- Shimoda, S. and Hirota, T. 2018. Planned snow compaction approach (yuki-fumi) contributes toward balancing wheat yield and the frost-kill of unharvested potato tubers. *Agricultural and Forest Meteorology*, 262, 361-369.
- Shimoda, S. and Sugikawa, Y., 2020: Grain-filling response of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) to post-anthesis shading in a humid climate. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 206, 90-100.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Shimoda Seiji, Kanno Hiromitsu, Hirota Tomoyoshi	4. 巻 263
2. 論文標題 Time series analysis of temperature and rainfall-based weather aggregation reveals significant correlations between climate turning points and potato ( <i>Solanum tuberosum</i> L) yield trend in Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Agricultural and Forest Meteorology	6. 最初と最後の頁 147-155
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.agrformet.2018.08.005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shimoda Seiji, Hirota Tomoyoshi	4. 巻 262
2. 論文標題 Planned snow compaction approach (yuki-fumi) contributes toward balancing wheat yield and frost-kill of unharvested volunteer potato tubers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Agricultural and Forest Meteorology	6. 最初と最後の頁 361-369
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.agrformet.2018.07.030	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shimoda Seiji, Sugikawa Youichi	4. 巻 206
2. 論文標題 Grain filling response of winter wheat ( <i>Triticum aestivum</i> L.) to post anthesis shading in a humid climate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Agronomy and Crop Science	6. 最初と最後の頁 90-100
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） DOI: 10.1111/jac.12370	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 大久保さゆり、菅野洋光	4. 巻 587
2. 論文標題 誰でも全体を見られる東北地域での栽培支援情報 水稲冷害対策から「気象の見える化」まで	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 グリーンレポート	6. 最初と最後の頁 2-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 下田星児	4. 巻 70
2. 論文標題 北海道と全国の麦類の生産量変動から見る新品種の必要性	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 北海道の農業気象	6. 最初と最後の頁 22-26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 菅野洋光
2. 発表標題 北日本の気候変動の現状およびその背景
3. 学会等名 日本農業気象学会北海道支部2018年大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菅野洋光、西森基貴、野中章久、山下義道、Takuia Uakeia
2. 発表標題 キリバス共和国におけるENSOと同期した降水量変動について
3. 学会等名 2018年日本地理学会秋季学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菅野洋光
2. 発表標題 キリバス共和国におけるNINO.3SSTを利用した降水量予測
3. 学会等名 第15回ヤマセ研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下田星児、杉川陽一
2. 発表標題 登熟期間の日照不足が北海道の秋まき小麦収量低下に与える影響-統計データと遮光試験による検証-
3. 学会等名 日本農業気象学会2019年全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅野洋光、遠藤洋和
2. 発表標題 北日本の近年の気候変動とIP0ステージ
3. 学会等名 2019年日本地理学会春季学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 下田星児
2. 発表標題 小麦生産地の気象の長期予報と今後の国内小麦育種の方向性
3. 学会等名 第9回グルテン研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菅野洋光、西森基貴、遠藤洋和、吉田龍平、Bayu Dwi Apri Nugroho
2. 発表標題 インドネシアにおける作物生産性とIP0に関連した気候ステージとの関係
3. 学会等名 2017年日本地理学会秋季学術大会
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 下田星児、菅野洋光、廣田知良
2. 発表標題 北海道の小麦とばれいしょの収量減少傾向の気象的要因
3. 学会等名 第14回ヤマセ研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菅野洋光、西森基貴、飯泉仁之直、下田星児、遠藤洋和、吉田龍平、Bayu Dwi Apri Nugroho
2. 発表標題 インドネシアにおけるイネ・トウモロコシ・ダイズの作物生産性の変動とPDOインデックスとの関係について
3. 学会等名 日本農業気象学会2018年全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下田星児、菅野洋光
2. 発表標題 近年の北海道の小麦とばれいしょの収量変動要因となる気象現象
3. 学会等名 日本気象学会2019年春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 下田星児、菅野洋光、広田知良
2. 発表標題 道東の農業生産量の変化と影響を与える気象傾向
3. 学会等名 2019年度日本気象学会北海道支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 下田星児、杉川陽一
2. 発表標題 出穂期以降の日射低下が「きたほなみ」の子実充実に与える影響
3. 学会等名 日本作物学会249回講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 菅野洋光	4. 発行年 2017年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 472
3. 書名 気候変動の事典：温暖化進行のなかの冷夏	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>本研究成果は高く評価され、研究代表者（下田星児）は2020年3月に日本農業気象学会学会賞（学術賞）を受賞するに至った。</p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	菅野 洋光  (Kanno Hiromitsu)  (30355276)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境変動研究センター・再雇用職員   (82111)	