

千葉県の水田転換畑における コムギ「さとのそら」の栽培技術の評価 —収量・品質の不安定性に及ぼす要因の解析—

澤田寛子^{*1}・岡村夏海^{*1}・深山大介^{*1}・木村秀也^{*2}・
小島 誠^{*1}・金澤健二^{*1}・松崎守夫^{*1}・大下泰生^{*1}

目 次

I はしがき	11	V 摘要	29
II 材料および方法	12	VI 謝辞	29
III 結果	14	引用文献	29
IV 考察	23	Summary	32

I はしがき

千葉県におけるコムギの作付面積は 801ha (平成 30 年産)であるが, その約 68%が水田転換畑で栽培されている(農林水産省大臣官房統計部 2018)。コムギは湿害に弱い作物であり, 排水が不良になりやすい水田作においてはその発生が顕著である(小柳 2010)。近年開発された地下水位制御システム(FOEAS)は, 従来型暗渠より高い排水機能と地下からの灌漑機能を有し, 農家圃場レベルで水田の地下水位管理が可能であるため, 水田における畑作物の生産安定化に貢献することが期待されている(藤森 2007)。Shimadaら(2012)は, FOEASを施工した重粘土壌の圃場において, 本システムで地下水位を制御することによってダイズの湿害と干ばつを回避し, 窒素固定や光合成能力が高く維持されて, 収量が増加したことを報告している。また, コムギについても, 島田ら(2010)はFOEASによる地下

水位の制御によって, 湿害が解消され, 収量・品質を有意に向上させることを報告している。

一方で, 転作畑利用頻度の高い水田では, 土壌中に蓄積していた有機物の分解が促進されて, 可給態窒素量が低下することが明らかになり, 土壌肥沃度が低下することが示唆されている(新良ら 2009)。新潟県では, 水稻-ダイズの田畑輪換を 25 年以上繰り返している圃場において, ダイズの収量が過去 25 年間で 10aあたり約 63kg低下する傾向が見られ, 作土の可給態窒素量が水稻連作圃場と比較して少ないことが報告された(服部ら 2013)。コムギにおいても, 畑作物の栽培期間が長期化することに伴う地力の消耗が収量の低下を引き起こすことが懸念されている。

千葉県山武郡横芝光町では, FOEASによる基盤整備が行われた大規模営農組合によって, 耐倒伏性

で多収のコムギ品種「さとのそら」(高橋ら 2010)を用いた収量向上の取り組みが行われているが、FOEAS導入により排水性が向上しているにも関わらず、年次によって収量・品質の変動が大きく、不安定である。

そこで本報では、FOEAS導入によって排水性

が向上した圃場におけるコムギ収量と品質の不安定性の要因を解明するため、播種期や施肥方法などの栽培方法および気象条件や圃場条件などの要因がコムギの収量・品質に及ぼす影響について解析し、どのような輪作体系が本地域に適しているかを考察した。

II 材料と方法

1. 調査対象農家

千葉県山武郡横芝光町篠本新井土地改良区にあるA営農組合(経営面積約80ha, 圃場筆数159, 1圃場の平均面積62a, 図1)の協力を得て、2013-14年(2014年産), 2014-15年(2015年産), 2015-16年(2016年産), 2016-17年(2017年産)および2017-18年(2018年産)の5作期における圃場別のコムギの全刈り収量, 播種期, 収穫期, 窒素施用量のデータを収集した。

本営農組合では、調査を行った2014年度には全圃場にFOEASが施工済みであった。FOEASは、地下から灌漑水を供給し、地下水位を地表+20cm~-30cmの範囲で制御できるシステムである(藤森2007)。地下の暗渠管(幹線パイプ, 支線パイプ)と、これに直角する補助孔を組み合わせることにより、多量の降雨時でも圃場全体の表面水の迅速な集積と排水が可能である。本営農組合は、コムギ栽培時にはFOEASの水位制御装置を取り外して、暗渠管の埋設深さ(-60cm)まで地下水位を下げるように設定し、FOEASの排水機能のみ利用している。

2. 栽培の概要

本営農組合では5年7作(水稲3年-ムギダイズ2年)の輪作体系で作付けを行っており、コムギの前作が水稲の圃場とダイズの圃場に分かれる。前作物残渣はすき込み、播種前に苦土石灰を20kg/10a施用した。播種はロータリーシーダ(条間20cm, NIPLO, 松山株式会社, 上田)によって播種量7~8kg/10aで行ったが、一部、不耕起播種機(条間20cm, NSV600, 松山株式会社, 上田)を使用した

圃場もあった。

品種は「さとのそら」のみを解析の対象とした。本営農組合の「さとのそら」栽培面積は、2014年産は22.3ha, 2015年産は24.8ha, 2016年産は25.6ha, 2017年産は23.8ha, 2018年産は23.9haであった。

対照圃場の土壌型は斑鉄型グライ低地土または還元型グライ低地土であった。

3. 調査項目

気象観測データは、試験地から南に約5.3km離れたアメダス横芝光(北緯35°39.4', 東経140°28.8')の日平均気温, 日最低・最高気温, 日別降水量を使用した。横芝光町との比較として、茨城県のアメダス下妻(北緯36°10.1', 東経139°56.7')の日最低・最高気温も使用した。

播種期, 収穫期, 窒素施用量は作業日誌から求めた。2015年産からは、子実の一部を採取し、子実タンパク質含有率を近赤外線分析(Infratec 1241 Grain Analyzer, FOSS NIRSystems Inc., Laurel, MD, USA)を用いて測定した。

土壌の腐植含量の推定には、2014年2月7日に撮影された衛星画像(衛星: WorldView-2, マルチスペクトルセンサー, 解像度: 1.84 km, バンド数: 8)を利用した。画像解析にはArcGISを用いた。幾何・大気補正後に畦畔から2mを除いた圃場全体から反射率を抽出し、圃場平均の反射率を求めた。同時に地上調査を20圃場で行い、各圃場から5地点の土壌を採取して、土壌分析から腐植含量を測定した。

Ⅲ 結果

1. 対象期間のコムギ収量の推移

篠本新井土地改良区では、2008年度からの圃場の大区画化・農地の集約による労働生産性の向上・FOEASの導入等の取り組みによって、生産性向上が図られている。本試験で調査を行ったA営農組合でも、5年間のコムギの10a当たり収量（製品出荷量から算出）は県平均単収より常に30～40%高くなっており（図2）、重粘土壌で地力が高いことに加え、FOEAS整備の効果も考えられる。さらに、2013年産収量が384 kg/10aであったのが、2014年産では483 kg/10aに大きく向上し、2015年産以降も暖冬の影響が大きかった2016年産を除いては400 kg/10a以上を達成していた。2014年産以降の収量向上の要因として、品種を倒伏しやすくコムギ縮萎病に弱い「農林61号」から、耐倒伏性でコムギ縮萎病抵抗性に優れる「さとのそら」（高橋2010）に置き換えたことが挙げられる。「さとのそら」については、2014年産から千葉県奨励品種にも採用されているため、千葉県全体の収量も向上している。しかしながら、2014年収穫以降2015年、2016年収穫と年々収量は低下し、これは千葉県平均の変動傾向と同様であった。2017年収穫では茎立期の追肥量を大幅に増やし、高い水準になったものの、翌2018年収穫では同じ追肥量でありながら、2015年産よりも収量が低下した（図2）。

各年の圃場ごとの10a当たり収量（荷受け量）を付表1に示した。2014年産の42、43ブロックの顕著に高い収量は、前作ダイズが湿害で生育不良であったため、青刈りですき込みを行ったことも要因と考えられる。また、71～73ブロックの圃場と94-1.2圃場は山際に立地し、排水性が悪いことが観察されており、収量も72-1、73-1圃場を除いては、5カ年平均で240 kg/10aを下回っていた。営農組合からの聞き取りでも、畑作に向かないことから今後は水田に固定する方針であるため、これ以降の解析からは除いた（付表1下線データ）。

2. 播種時期と気象要因がコムギ収量に及ぼす影響

横芝光町は夏涼しく冬暖かい海洋性気候であり、2014-15年、2016-17年の最高気温・最低気温の平均値を茨城県の小麦産地である県西部（下妻アメダス）と比較すると、秋から春先にかけての最低気温が高い傾向にあった（図3）。横芝光町の調査対象期間の平均気温については、2015-16年が暖冬であり、11月中旬、12月中旬、1月上旬の気温が他4カ年より高かった（図4）。積算降水量は2016-17年において、播種適期の11月中旬に降雨・降雪が多く、播種期が最も遅い圃場で1月上旬にまで遅れた。2013-14年は、登熟期間に当たる4月下旬から5月の積算降水量が少なく登熟に良好な気象条件であった。栽培期間（最初の播種日から最後の収穫日まで）の平均気温は2013-14年が10.7℃、2014-15年が10.7℃、2015-16年が11.6℃、2016-17年が10.9℃、2017-18年が11.0℃であった。

各年次の圃場ごとの播種日は図5の横軸で示した期間である。収穫はいずれの年も6月4日-15日の間に行われていた。圃場ごとの播種日と収量との間には、2014年産、2017年産、2018年産において有意な負の相関があり、播種期が遅いほど収量が低かったが、2017年産は1月播種の圃場を除けば相関はなかった（図5）。

播種期が遅れると生育初期が低温になり、生育が遅れることから、生育初期の気温が収量に与える影響を明らかにするため、圃場ごとの播種後1ヶ月間の最低気温の平均値と収量との関係を解析した（図6）。その結果、播種日と同様に2014年産、2017年産、2018年産において有意な正の相関があり、播種から1ヶ月間の最低気温の平均値が0.3℃以下になった時に収量が400 kg/10aを下回る圃場が頻繁に見られた。

一方、栽培期間の平均気温が高かった2016年産が低収であったことから、圃場ごとの播種日から収

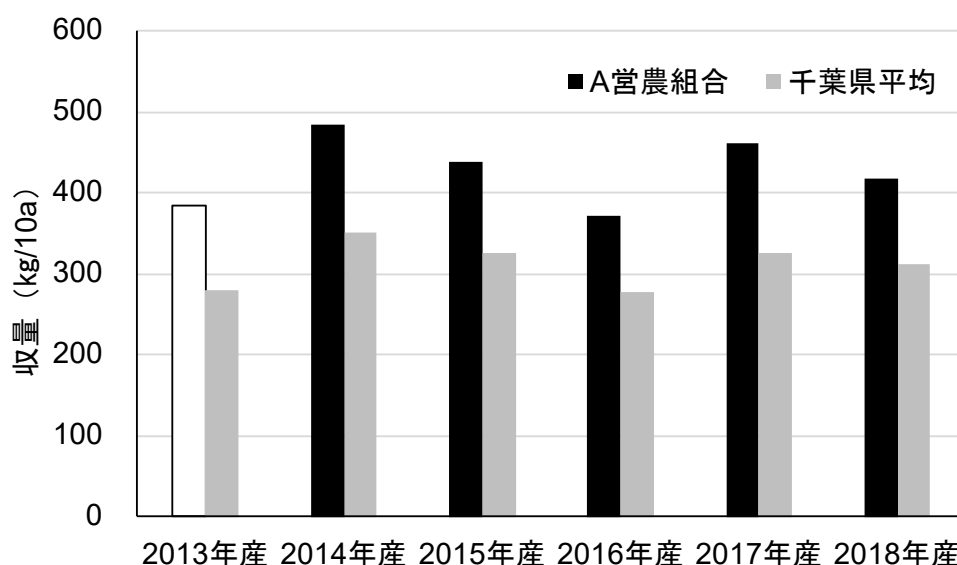


図2 A営農組合のコムギ収量（製品出荷量）と千葉県の平均単収の推移
2013年産の白抜きは「農林61号」、2014年産以降は「さとのそら」についての値。

穫日までの平均気温と収量との関係を解析したが、一部圃場で播種が極端に遅くなった2017年産を除くと栽培期間の平均気温と収量との間には有意な相関はなく、同様に、圃場ごとの播種日から収穫日までの積算降水量と10a当たり収量との関係も、2017年産を除くと有意な相関はなかった（図省略）。

3. 施肥条件がコムギ収量および子実タンパク質に及ぼす影響

各年次の圃場ごとの窒素施用量を付表2に示した。標準施用量は、2014年産は窒素成分で5.6 - 2.8 - 1.4 kg/10a（基肥 - 茎立期 - 出穂期）で総量9.8 kg/10aであったが、2015年産は茎立期追肥量を増やして分けつ期に分施し、総量14.0 kg/10aであった。また、一部の圃場では出穂期追肥を施用しなかった。2016年産も2015年産と同様の施肥であり、一部の圃場で出穂期追肥を0 kgあるいは4.1 kg N/10aに設定した。2017年産からは分けつ期追肥を省略し、基本設計は5.6 - 7.0 - 2.1 kg N/10aで総量14.7 kg N/10aとしたが、一部の圃場で茎立期追肥量を生育量に応じて4.2, 5.6 kg N/10aに減肥した。2018年産も1圃場（分

げつ期に2.8 kg N/10a増肥）を除いて5.6 - 7.0 - 2.1 kg N/10a（基肥 - 茎立期 - 出穂期）で施肥を行った。

異なる栽培年における追肥窒素量の違いが収量に与える影響について解析を試みたが、その他の要因の関与が強いためか、特定の傾向は見いだせなかった（図省略）。ただし、2017年産は生育に応じて追肥量を調節した圃場があり、同一栽培年においては茎立期追肥窒素量が多いほど、収量は増加する傾向にあった（図7a）。また、出穂期追肥量と子実タンパク質含有率との関係においては、2016年産コムギで、追肥窒素量を2.1 kg/10aから4.1 kg/10aに増やした場合でも、タンパク質の増加は見られなかった（図7b）。

図8aに各栽培年の窒素施用1 kg/10aあたりの平均収量を算出した。窒素施用1 kg/10aあたりの収量は2014年産が高く、その後有意に低下した。特に、2018年産の窒素施用1 kgあたりの収量は、暖冬で越冬前に過繁茂し、その後凋落した2016年産と同等の水準で低く、追肥の増量によって窒素利用効率が低下していることが示唆された。一方、窒素施用1 kg/10aあたりの子実タンパク質含有率については、分けつ期追肥を省略し、

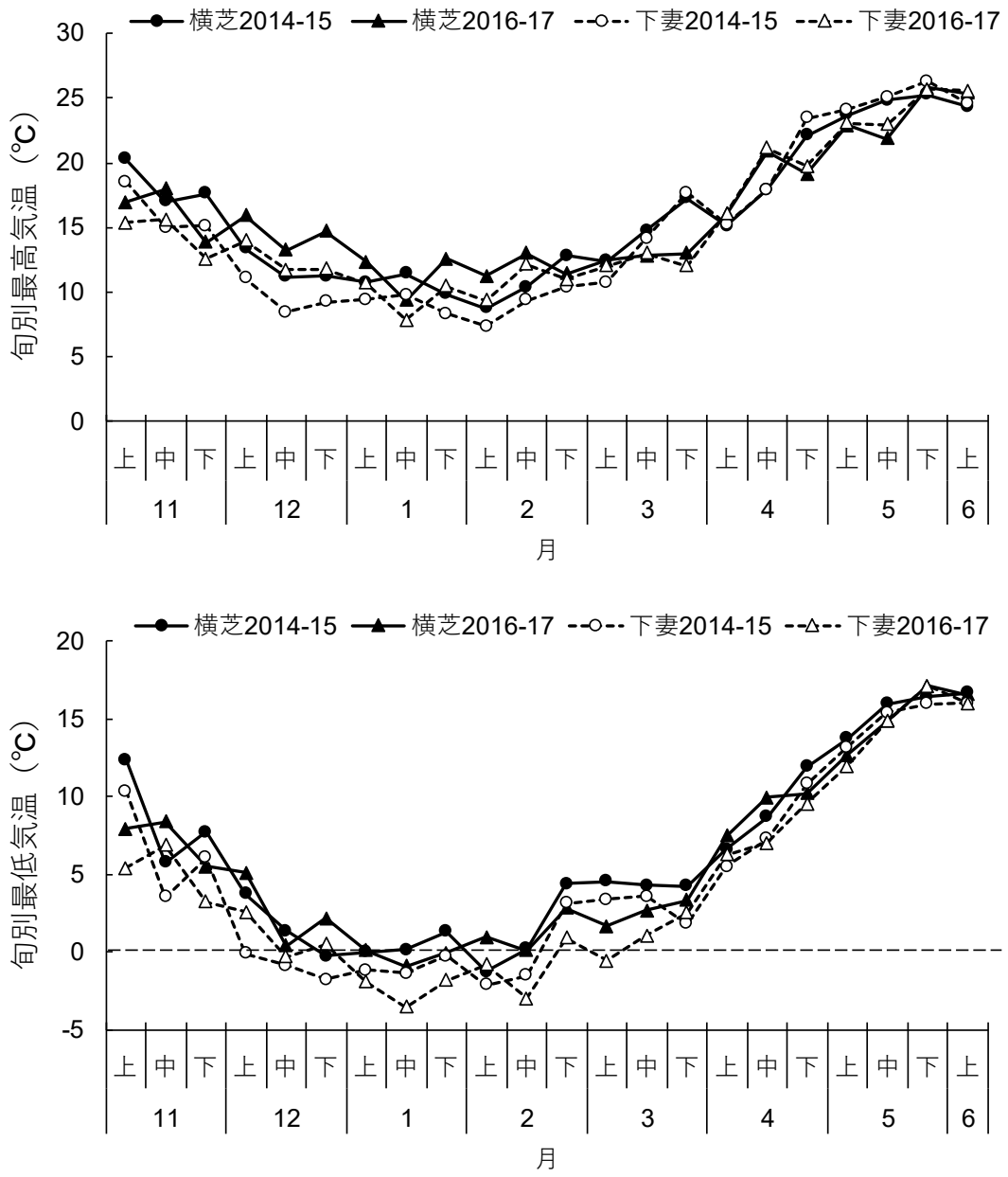


図3 横芝光町と下妻市の旬別最高・最低気温の推移 (2014 -15, 2016 -17 年)

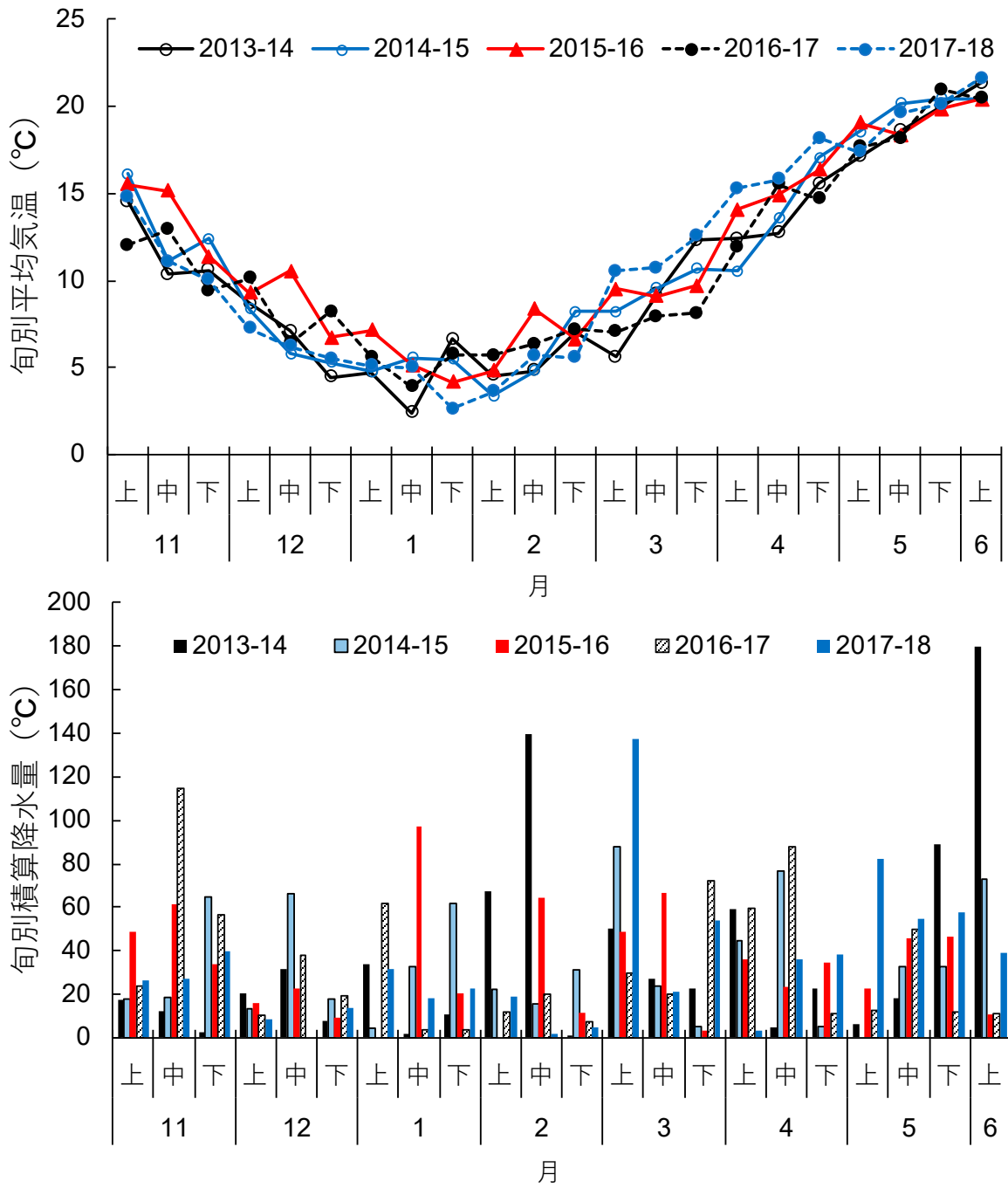


図4 横芝光町の5カ年の旬別平均気温および旬別積算降水量の推移

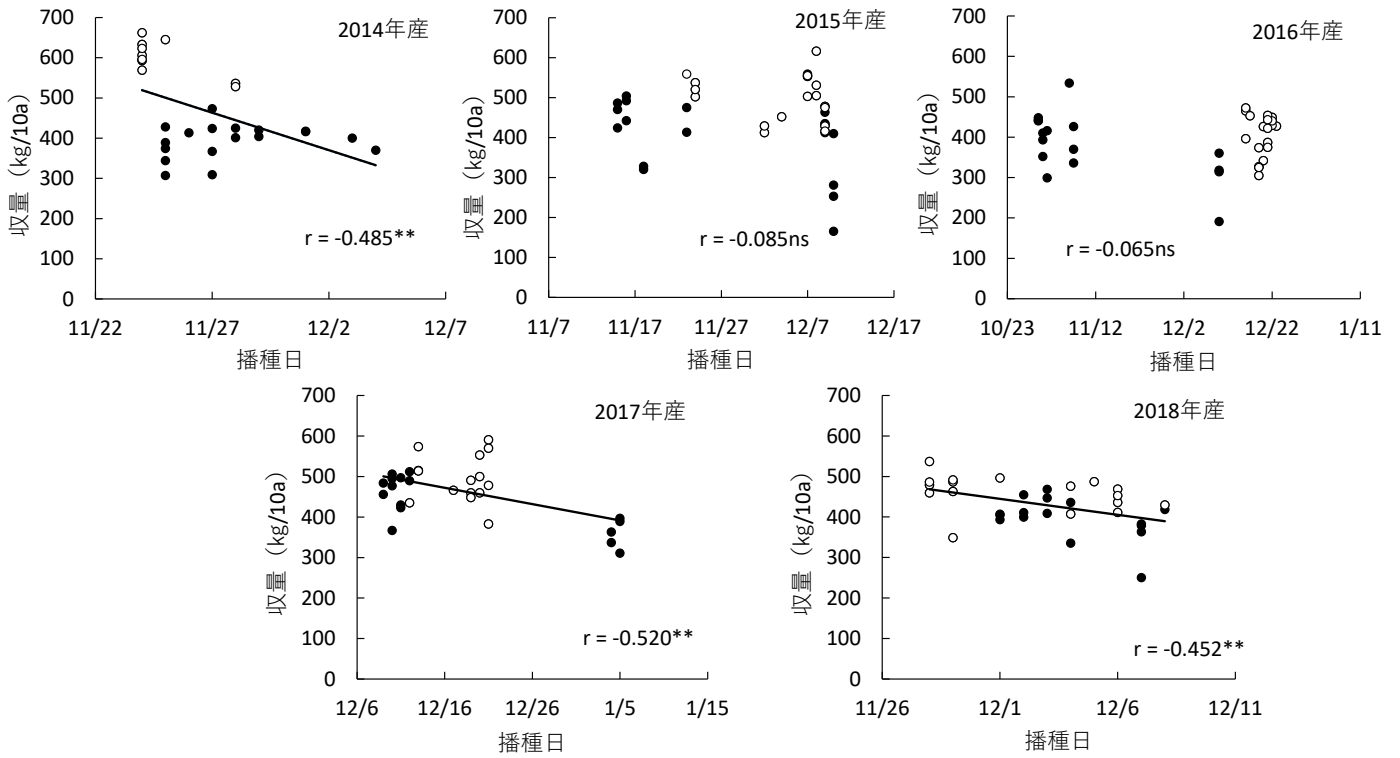


図5 5カ年の圃場ごとの播種日と収量との関係

●: 転換初年目, ○: 転換2年目圃場.

** : 1%水準で有意な相関がある, ns: 5%水準で有意な相関はないことを示す.

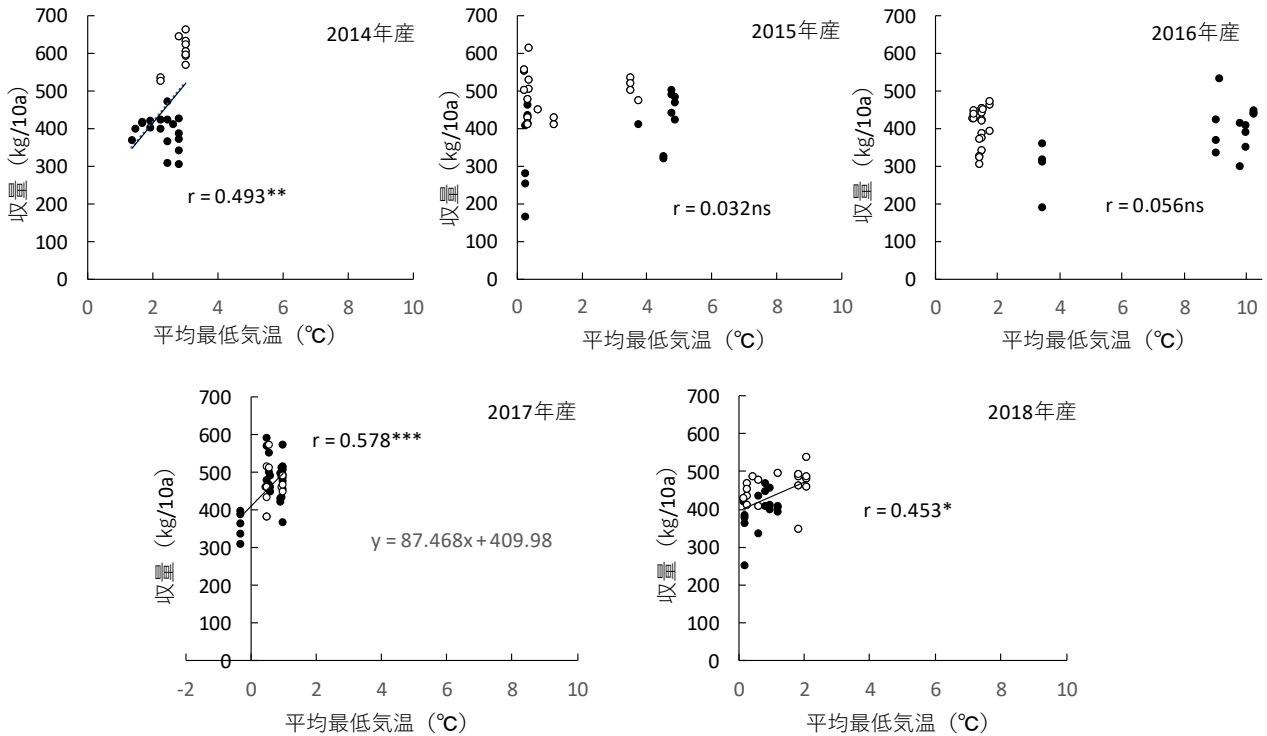


図6 5カ年の圃場ごとの播種から1ヶ月間の最低気温の平均値と収量との関係.

●: 転換初年目, ○: 転換2年目圃場.

*, **, ***: 5%, 1%, 0.1%水準で有意な相関がある, ns: 5%水準で有意な相関はないことを示す.

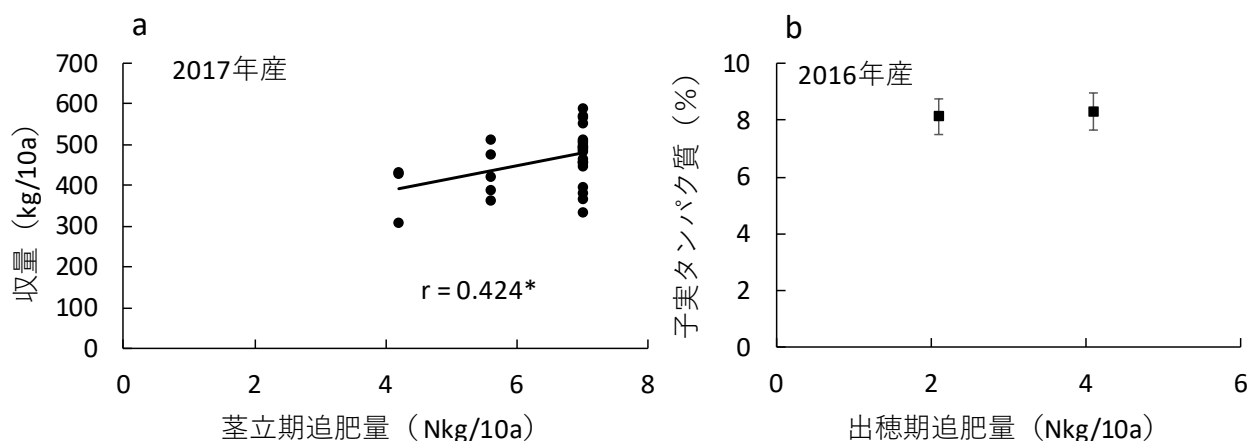


図7 追肥量と収量・子実タンパク質含有率との関係

a: 2017年産の圃場ごとの茎立期追肥量と収量との関係

b: 2016年産の出穂期追肥量と子実タンパク質含有率との関係

*: 有意な相関がある ($p < 0.05$).

*, **, ***: 5%, 1%, 0.1%水準で有意な相関がある, ns: 5%水準で有意な相関はないことを示す.

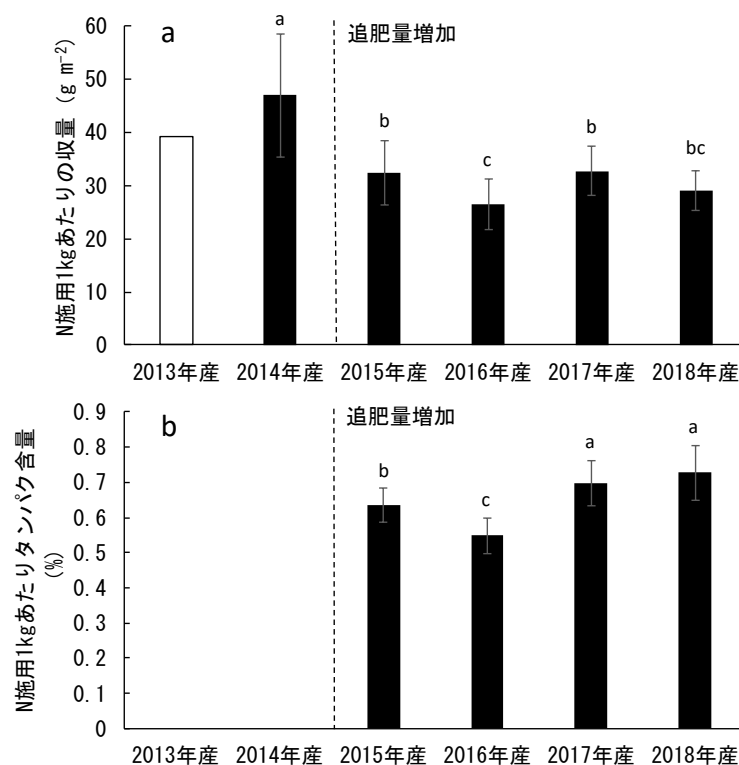


図8 5ヶ年の窒素施用1kgあたりの平均収量 (a) とタンパク質含量 (b)

2013年産は「農林61号」の出荷量と聞き取り施肥量から算出した参考値。

エラーバーは標準偏差を, 異なるアルファベットは年次間にTukey法で有意差があることを示す ($p < 0.05$).

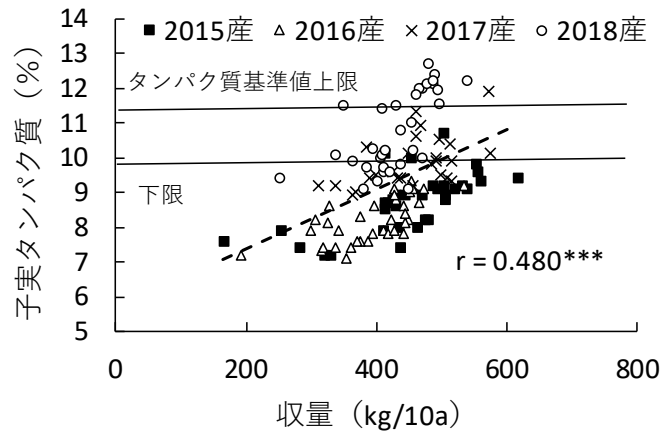


図9 圃場ごとの収量と子実タンパク質含有率との関係（2015－18年産）
***:0.1%水準で有意な相関がある

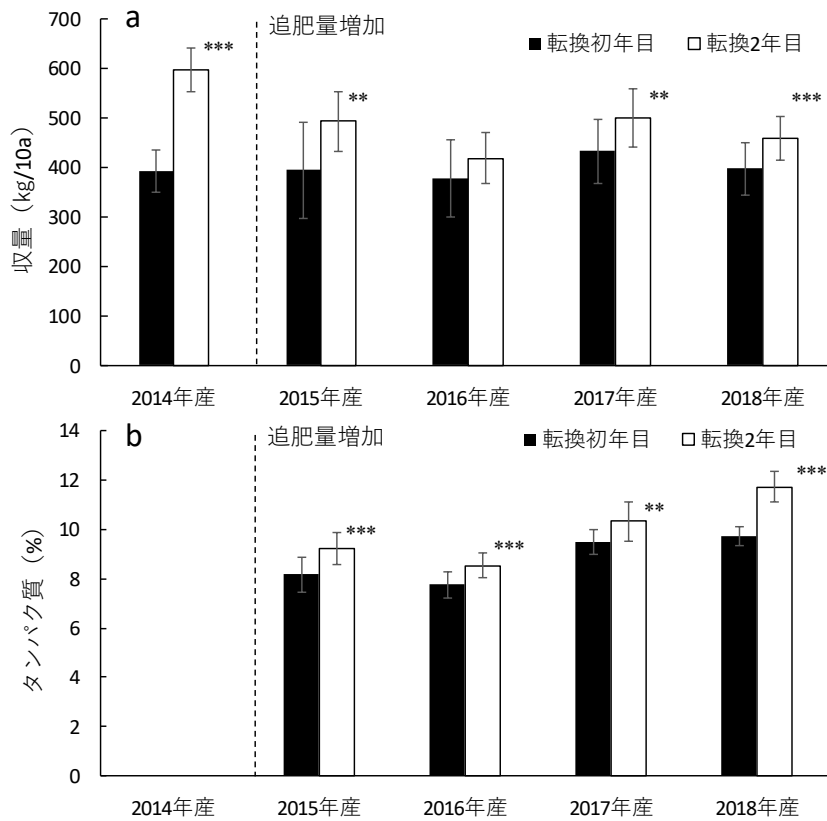


図10 畑転換初年目圃場と2年目圃場における収量・子実タンパク質含有率の比較
, *: 転換初年目と2年目間に1%, 0.1%水準で有意差がある。エラーバーは標準偏差を示す。

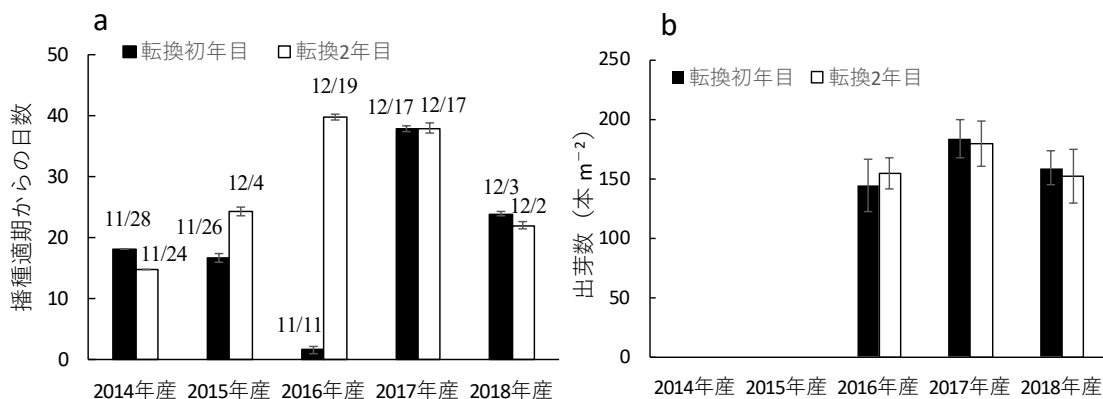


図11 畑転換初年目圃場と2年目圃場におけるコムギ播種日の比較 (a) と出芽数 (b)
 (a) は播種適期 (11/10 に設定) からの日数で表し、数字は播種日の平均値。
 ns: 転換初年目と2年目間に5%水準で有意差がない。エラーバーは標準偏差を示す。

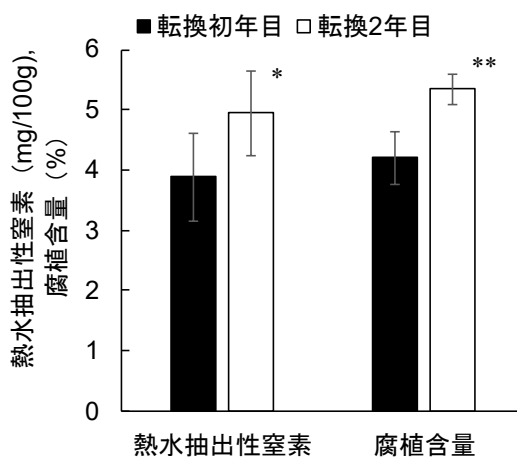


図12 畑転換初年目圃場と2年目圃場における土壌中熱水抽出性窒素含量と腐植含量の比較
 *, **: 転換初年目と2年目間に5%, 1%水準で有意差がある。エラーバーは標準偏差を示す。

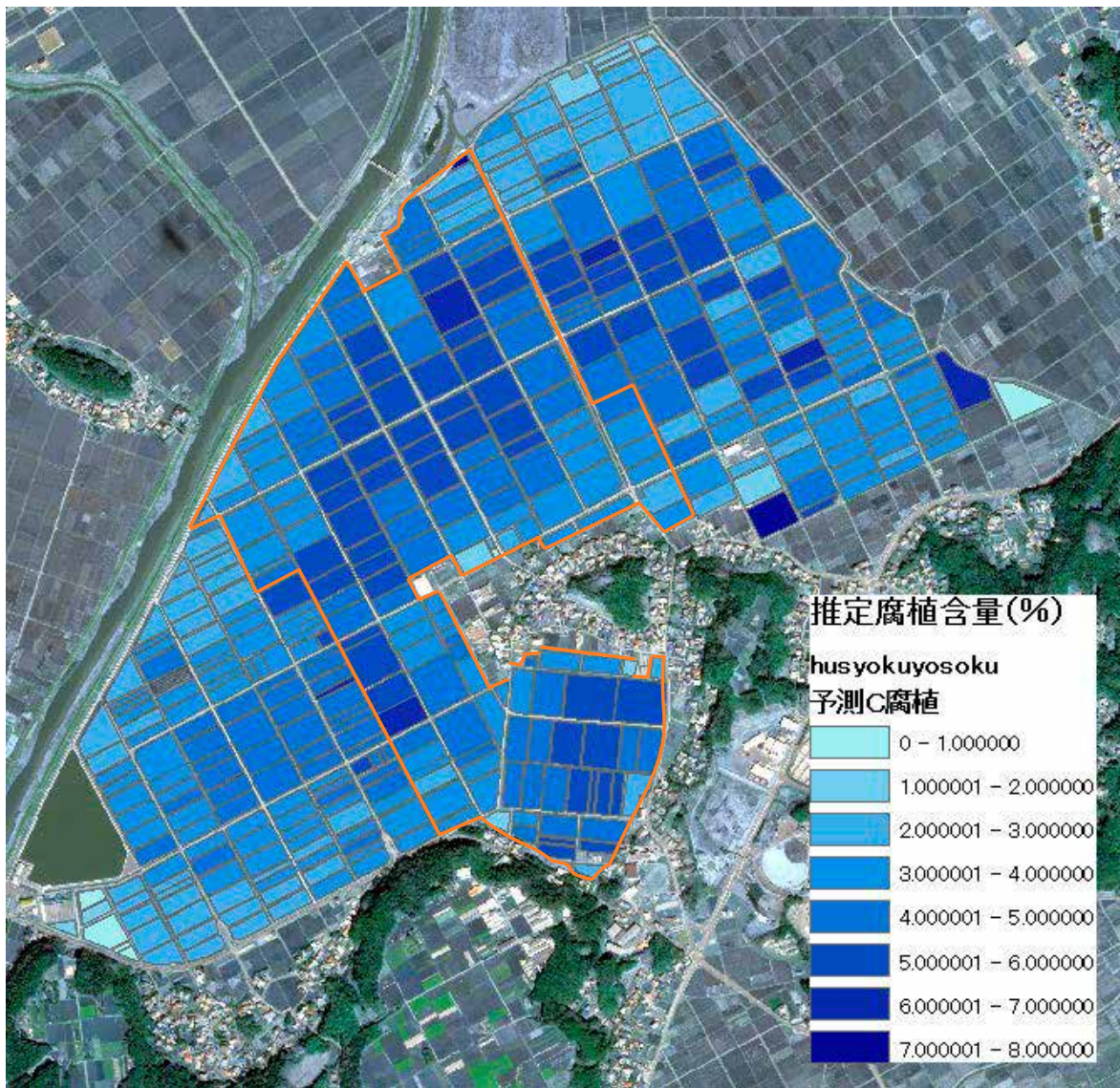


図13 推定腐植含量マップ
オレンジ線で囲まれた部分がA営農組合の圃場

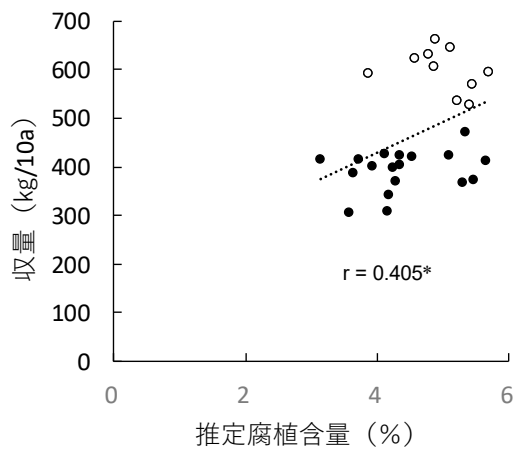


図14 圃場ごとの土壌中腐植含量の推定値と収量との関係 (2014年産).
●: 転換初年目, ○: 転換2年目圃場.

茎立期に 7kg N/10a を行う設計に変更した 2017 年産、2018 年産と増加しており、収量と逆の傾向を示した (図 8b)。図 9 に圃場ごとのコムギ収量と子実タンパク質含有率との関係を解析したところ、収量と子実タンパク質の関係は正の相関を示した。また、2015 年産、2016 年産は収量が高くて、タンパク質が日本めん用の基準値に達していない圃場が多く、一方、2018 年産では基準値を上回る圃場が多かった。

4. 作付け体系がコムギ収量に及ぼす影響

調査した営農組合では水稲後に麦一大豆を 2 年作付ける体系を取り入れている。そこで、前作が水稲である転換初年目圃場と前作がダイズである転換 2 年目圃場における収量・子実タンパク質含有率について解析した (図 10)。2016 年産のみ有意差はなかったが、その他のすべての調査年において転換 2 年目圃場で有意に収量が高かった。転換 2 年目圃場の収量は初年目と比べて、5 年平均で約 24% 高かった。また、子実のタンパク質含有率も調査したすべての年において転換 2 年目圃場の方が有意に高かった。

ダイズ作後のコムギ作ではダイズの登熟の遅れなどにより、播種期が適期より遅れやすい。千葉県では「さとのそら」の播種適期を 11 月上旬としているため、図 11a に転換初年目圃場 (水稲後作) と転換 2 年目圃場 (ダイズ後作) の平均

播種日と播種適期 (11/10 に設定) からの日数について示した。2016 年産の転換 2 年目圃場において、播種期が転換初年目圃場よりも大きく遅れ、2015 年産でもやや遅れたが、その他の年では同程度かやや早かった。また、本営農組合では、播種が遅れた場合は播種量を増やして出芽数の確保を図っており、播種が大幅に遅れた 2016 年産の 2 年目圃場においても出芽数は初年目圃場と同等であった (図 11b)。

ダイズ作後は水稲作後より、窒素の供給量が多いことが知られていることから、2014 年のコムギ収穫後に転換初年目の 9 圃場、転換 2 年目の 4 圃場から土壌を採取し、熱水抽出性窒素量を分析した (図 12)。熱水抽出性窒素は転換 2 年目の圃場において有意に高かった。また、同様に調査した土壌の腐植含量も転換 2 年目圃場において、有意に高かった。

さらに、リモートセンシングを利用し、2014 年 2 月に撮影された衛星画像の複数バンドを用いた分光指数と実測値との関係を解析し、各圃場の腐植含量を推定した (図 13)。推定した各圃場の腐植含量と 10a 当たり収量 (2014 年産) との関係を解析した結果、有意な正の相関が見られた (図 14)。しかしながら、転換初年目と 2 年目を分けて解析した場合は有意な相関がなく、腐植含量が多い圃場ほど収量が高いとは必ずしも言えなかった。

IV 考察

本研究では、FOEAS の導入により湿害が軽減されている圃場におけるコムギ作の収量・品質の不安定性要因について解析した。

収量の不安定性の要因として、まず気象の影響が考えられた。A 営農組合では 2015 年産から施肥法の改善等の多収化に向けての取り組みが行われているにも関わらず、2015 年、2016 年と収量が低下し (図 2)、これは千葉県全体の変動傾向と同様であることから、気象条件が影響していると考えられる。箕田 (2010) は、同一圃場で 45 年間にわたり栽培されたコムギの収量に

及ぼす気象条件について、播種期から成熟期までの平均気温と収量が負の相関関係にあることを報告している。本研究では同一圃場のデータは数年分しか蓄積していないため、各年の圃場ごとの播種日から収穫日までの平均気温と 10a 当たり収量との関係を解析することで、播種時期の違いによる生育期間の気温差が収量に及ぼす影響を検討したが、2017 年産を除いては有意な相関関係はなかった (図省略)。2017 年産は播種が 1 月にまで遅れた圃場において冬季の生育期間が短くなった結果として、平均気温が高

くなり、収量が低くなったと考えられた。営農組合全体の収量としては最も低かった2016年産の栽培期間の平均気温が5カ年で最も高かったことから、箕田(2010)と同様に同一圃場でより長期間の調査を行った場合には、平均気温と収量とに関係が見られることも考えられる。

関東ではコムギの播種は11月頃から行われるため播種が遅れるほど生育初期の気温は低くなる。図5, 6に示したように播種期と収量との関係に気温と逆の相関が見られることから、播種期が遅い圃場ほど、生育初期の気温が低く、また収量が低いことがわかる。特に、図6の結果から、播種後1ヶ月間の最低気温の平均値が0.3℃以下になる時には収量が顕著に低くなる危険性が示唆された。Porter and Gawith(1999)は、約65報の文献の調査結果からコムギの播種から出芽期における基準温度は2.4 - 4.5℃の範囲であることを示した。中園ら(2014)は、国内コムギ3品種を用いた栽培試験の発育データから、出芽の基準温度を0.5℃と算出している。横芝光町は温暖な気候のため、最低気温が0℃を下回ることは少ないが、年によっては12月下旬から1月中旬にかけて0℃以下になっており(図3)、出芽がこの時期にあたると生育が遅延する可能性が考えられた。

しかし、2014産に見られるように実際には播種後それほど低温ではなくても、収量が低い圃場があり、その他の要因も収量に影響していることが示唆される。この要因として、圃場の地力や乾湿などの圃場条件の違いが考えられるが、図6で示したように畑転換初年目の圃場において収量が400kg/10a未満の圃場が多く、転換後年数が収量に大きな影響を与えていることが示唆された。

よって、播種時期の違いによる生育期間の気温差は、温暖な本地域では、極端な遅播きあるいは寒冬による生育初期の低温を除けば、収量に及ぼす影響は少ないと考えられた。降水量が収量に及ぼす影響については、全栽培期間の積算降水量についての解析しか行えなかったため、圃場ごとの出穂期データあるいはより長期間の収量データを解析する必要があると考える。

次に、窒素施用量が収量に与える影響について検討した。2017年産コムギを対象に、茎立期追肥窒

素量を数段階に設定して施用した結果、追肥量が多い圃場ほど収量が高くなる傾向が見られた(図7a)。このように、追肥量によって収量を制御できる可能性が示される一方で、2014年産は10aあたり窒素相当量で2.8kgであった茎立期追肥を2015年産以降は分けつ期追肥を含めて7.0kgに増やしているにもかかわらず、営農組合全体の収量は2014年産が最も多収であった(図2)。窒素施用1kgあたりの収量は2015年産以降、「農林61号」栽培時よりも低い水準にあることから(図8a)、気象の年次間差の影響も考えられるものの、増肥した窒素肥料を植物体が有効に利用できていない可能性が示唆された。一方、窒素施用1kgあたりの子実タンパク質含有率は、2017年産から増加しており(図8b)、茎立期追肥が収量の増加に有効利用されずに、残効した窒素が子実に吸収されている可能性が示唆された。コムギの子実タンパク質含有率は収量と負の相関があり、窒素が施用されても収量の増加が他の要因で制限される時にタンパク質含有率が増加することが知られているが(Asseng and Milroy 2006, 江口ら 1969)、本研究では収量と子実タンパク質含有率の間に正の相関が示された(図9)。水田ら(2017)は穂肥重点施肥(茎立開始期以降に窒素を増肥)によって、登熟期間中の窒素吸収量を増加させることで、収量が増加しても子実タンパク質含有率が低下しなかったことを報告している。本研究において、収量とタンパク質含有率が正の相関を示したのも、追肥あるいは地力窒素によって登熟期間中に十分な窒素供給があったためと考えられる。一方、追肥を分けつ期に分施していた2015年、2016年産コムギにおいて、多くの圃場でタンパク質含有率が日本めん用の基準値に達しておらず、2018年産では基準値を超過している圃場が多く見られた(図9)。これらのことから、2月の分けつ期追肥は収量・子実タンパク質の増加に効果的ではないこと、地力が比較的高い本地域では茎立期追肥量7kg N/10aは植物の窒素要求量よりも過剰であることが考えられた。収量・子実タンパク質の安定化には3月以降に適切な量の窒素肥料を与えることが必要であることが示唆された。

さらに、作付け体系が収量に与える影響について解析を行った。東北以南の太平洋側を中心とし

た水田地帯では、水稲・麦（冬）・大豆の2年3作の輪作体系が推奨されていたが、経営規模の拡大に伴って作物切替時に排水促進、漏水抑制対策などの作業集中を軽減するため、水稲不耕起乾田直播を組み込んだ4年6作体系（水稲2年-麦・大豆2年）が提案されている（農林水産省農林水産技術会議 2007）。本経営体においても、水稲3年-麦・大豆2年の輪作体系を取り入れているが、コムギは播種期が適期から遅れるほど減収する（飯田・石川 1986, 松村ら 1988）ことから、ダイズの収穫遅れに伴い2年目コムギの播種が遅れ、収量が低下することが懸念されていた。しかしながら、本研究の解析の結果、前作が水稲である転換初年目圃場よりも、前作がダイズである転換2年目圃場において、暖冬の影響で低収であった2016年産を除くすべての調査年で有意に収量が高かった（図10）。成熟期が遅いダイズ品種では11月中下旬まで収穫が遅れるため、ダイズ作後のコムギ作では水稲作後と比較して、コムギの播種が遅れることが懸念されたが、2016年産を除けば播種日に大幅な遅れはなかった（図11a）。2016年産の2年目圃場の収量が有意に増加しなかった要因に、播種期の大幅な遅れが関与している可能性は考えられた。播種期が遅れた場合は、播種量を増やすことによって出芽数を確保している（図11b）が、播種遅れによる生育の遅延は生じていると考えられる。

ダイズ作後の土壤では、窒素供給量が増えること、土壤物理性も改善することなどからコムギの生育が旺盛となることが知られている（原ら 2005, 大賀・平野 1989）。本研究でも、2014年に転換初年目圃場と2年目圃場の土壤中熱水抽出性窒素を調査した結果、転換2年目圃場において有意に窒素含量が高く、ダイズ作によって土壤中の窒素供給量が増加することが示唆された（図12）。また、土壤型によって傾きは異なるが、土壤の可給態窒素量は腐植含量と正の相関にあることが報告されている（宮城県農業センター 1992）。土壤の腐植含量（炭素含有率）は衛星画像等を用いたりリモートセンシングにより推定することが可能である（井上 2017）。リモートセンシングを用いて各圃場の土壤の腐植含量を推定した結果、その推定値と10aあたり収量との間には、有意な正の相関があった（図14）。しかしながら、転換

初年目圃場と2年目圃場を分けて解析した場合は相関がなく、転換2年目圃場は腐植含量が高く、多収であるが、腐植含量以外の要因も2年目圃場の収量の高さに関与していることが示唆された。一方で、本営農組合の一部の圃場（76ブロックなど）では、ムギーダイズを3年以上続けて作付けているが、それらの圃場の3作目のコムギ収量は低下しており（付表1）、ダイズ3作以上の作付けによるコムギの収量に及ぼす効果は不明である。

ダイズ作後の窒素供給が増加する要因として、畑地化によって土壤中の有機物の分解が促進されることがあげられるが、ダイズが他の畑作物と比較して特異的に土壤有機物の分解を助長することも示唆されている（新良 2013）。一方、その結果として、田畑輪換圃場におけるダイズ作の比率が増えるほど、有機物が減耗し、地力が低下することが報告されている（新良ら 2009）。本研究の結果からも示唆されたように、ダイズ作後の圃場では、可給態窒素量が増加し、コムギ収量は増加する。よって、本営農組合が取り入れている5年7作の輪作体系は、転換2年目コムギの収量を向上できる点で適切であると考えられる。渡邊・濱口（2013）も畑転換2年目のコムギ収量が、初年目と比較して大きく増加するため、2年3作体系（水稲1年-ムギダイズ1年）よりも4年6作体系（水稲2年-ムギダイズ2年）の方がコムギの増収を期待できると報告している。しかしながら、2018年産の2年目圃場における子実タンパク質含有率は日本めん用のタンパク質基準値（9.7~11.3%）を超過している（図10b）ため、ダイズ後のコムギについては生育後期の窒素残留を抑える施肥方法が必要であると考えられる。

水田輪作におけるダイズ作の拡大が地力を低下させることについては近年、大きな問題となってきた（新良 2013）が、麦作に対する地力低下の問題を報告している論文は見当たらず、影響はまだ顕在化していないようである。しかし、渡邊ら（2015）は、水田輪作の継続に伴って、土壤pHと陽イオン交換容量（CEC）が低下することを報告しており、三重県では土壤の酸性化によってコムギの初期生育が抑制されることが報告されている（大西ら 2011）。CECの低下については、土壤中の有機物の減耗が一因と考えられ、アルカリ資材や有機物の施

付表1 圃場ごとの10a当たり収量（荷受け量から算出）

圃場番号	2014年産 2015年産 2016年産 2017年産 2018年産				平均	
	収量(kg/10a)					
29-1					250	250
29-2					363	363
29-3					411	411
31-1					405	405
31-2					336	336
31-3					393	393
31-4					407	407
33-1	309	531				420
33-2.7	424	478				451
33-3	367	502				435
33-4	413	537				475
33-5.6	374	520				447
34-1.7	401	505			436	447
34-2	404	412			409	408
34-3	420	429			447	432
34-4	425	452			469	449
34-5.6	473	503			455	477
35-1	389	553			383	442
35-2	307	616			379	434
35-3	428	555			419	467
35-4	344	559			400	434
40-1				389	487	438
40-2.3				311	436	373
40-4				397	469	433
40-5				363	453	408
40-6				337	411	374
42-1	536			512	487	512
42-2	528			490	463	494
42-3	645			497	492	545
42-4.5	606			423	476	502
42-6	593			430	496	506
43-1	569		534	570		558
43-2	596		448	591		545
43-3	662		442	500		535
43-4	633		440	553		542
43-5.6	623		410	478		504
45-1					479	479
45-2				484	486	485
45-3				456	460	458
45-4				506	537	522

付表1 圃場ごとの10a当たり収量（荷受け量から算出）（続き）

圃場番号	2014年産	2015年産	2016年産	2017年産	2018年産	平均
	収量(kg/10a)					
61-1		413	427			420
61-2		463	449			456
61-3		435	429			432
61-4		434	440			437
68-1			352	435		394
68-2			393	515		454
68-3			416	574		495
68-4			299	514		407
69-1-1		328	426			377
69-1-2		320	454			387
69-2		281	443			362
69-3		410	422			416
69-4		253	387			320
69-5		165	375			270
70-1			360	383		372
70-2			336	460		398
70-3			426	491		459
70-4			370	448		409
70-5			314			314
70-6-1			191			191
70-6-3			318			318
<u>71-1</u>	<u>223</u>	<u>289</u>	<u>182</u>			<u>231</u>
<u>71-2</u>	<u>323</u>	<u>189</u>	<u>125</u>			<u>212</u>
<u>71-3</u>	<u>305</u>	<u>226</u>	<u>192</u>	<u>215</u>		<u>235</u>
<u>72-1</u>	<u>435</u>	<u>338</u>	<u>279</u>			<u>351</u>
<u>72-2</u>	<u>307</u>	<u>244</u>	<u>139</u>			<u>230</u>
<u>73-1</u>	<u>491</u>	<u>375</u>				<u>433</u>
76-1	400	475	374			416
76-2	370	429				400
76-3	416	416	305	466		401
76-4	417	412	342	460		408
77-1		424	465			445
77-2		486	472			479
77-3		470	396			433
77-4		504	453			479
77-5.6		492	327			410
77-7		442	325			384
<u>94-1.2</u>	<u>341</u>	<u>201</u>	<u>146</u>			<u>229</u>
平均値	442.8	416.2	361.5	455.8	429.7	413.8
標準偏差	115.0	112.5	100.4	80.7	56.6	80.3

付表2 各年の圃場ごとの窒素施用量

圃場番号	2014年産			2015年産			2016年産			2017年産			2018年産		
	基肥	基立期	出穂期	基肥	分けつ期	基立期	出穂期	基肥	分けつ期	基立期	出穂期	基肥	分けつ期	基立期	出穂期
29-1~3															
31-1~4				5.6	2.8	1.4	5.6	2.8	4.2				5.6	7.0	2.1
33-1~5.6	5.6	2.8	1.4	5.6	2.8	4.2	1.4						5.6	7.0	2.1
34-1~5.6	5.6	2.8	1.4	5.6	2.8	4.2	1.4						5.6	7.0	2.1
35-1~3	5.6	2.8	1.4	5.6	2.8	4.2	1.4						14.8	0	0.0
35-4	5.6	2.8	1.4	5.6	2.8	4.2	1.4						5.6	7.0	2.1
40-1										5.6	5.6	2.1	5.6	7.0	2.1
40-2.3										5.6	4.2	2.1	5.6	7.0	2.1
40-4										5.6	7.0	2.1	5.6	7.0	2.1
40-5										5.6	5.6	2.1	5.6	7.0	2.1
40-6										5.6	7.0	2.1	5.6	7.0	2.1
42-1	5.6	2.8	1.4							5.6	7.0	2.1	5.6	7.0	2.1
42-2	5.6	2.8	1.4							5.4	7.0	2.1	5.4	7.0	2.1
42-3	5.6	2.8	1.4							5.7	7.0	1.5	5.7	7.0	1.5
42-4.5	5.6	2.8	1.4							5.6	5.6	1.5	5.6	7.0	1.5
42-6	5.6	2.8	1.4							5.9	4.2	2.1	5.9	9.8	2.1
43-1	5.6	2.8	1.4							5.6	7.0	2.1	5.6	7.0	2.1
43-2~4	5.6	2.8	1.4							5.6	7.0	2.1	5.6	7.0	2.1
43-5.6	5.6	2.8	1.4							5.6	5.6	2.1	5.6	7.0	2.1
45-1				5.6	2.0	4.0	2.0						5.6	7.0	2.1
45-2				5.6	2.8	4.2	2.1						5.6	7.0	2.1
45-3										8.2	7.0	2.1	5.6	7.0	2.1
45-4										5.4	7.0	2.1	5.6	7.0	2.1
45-5										5.1	7.0	2.1	5.6	7.0	2.1
45-6										5.3	7.0	2.1	5.6	7.0	2.1
45-7										14.7	0.0	0.0	5.6	7.0	2.1
61-1~4				5.6	2.8	4.2	1.4						5.6	7.0	2.1
68-1										5.6	2.8	4.2	5.6	7.0	2.1
68-2										5.6	2.8	4.2	5.6	7.0	2.1
68-3										5.6	2.8	4.2	5.6	7.0	2.1
68-4										5.6	2.8	4.2	5.6	7.0	2.1
69-1~5										5.6	2.8	4.2	5.6	7.0	2.1
70-1~6-3										5.6	2.8	4.2	5.6	7.0	2.1
71-1~2	5.6	2.8	1.4	5.6	2.8	4.2	0.0								
71-3	5.6	2.8	1.4	5.6	2.8	4.2	0.0								
72-1~2	5.6	2.8	1.4	5.6	2.8	4.2	0.0								
73-1	5.6	2.8	1.4	5.6	2.8	4.2	0.0								
76-1	5.6	2.8	1.4	5.6	2.8	4.2	1.4								
76-2	5.6	2.8	1.4	5.6	2.8	4.2	1.4								
76-3~4	5.6	2.8	1.4	5.6	2.8	4.2	1.4								
77-1~7	5.6	2.8	1.4	5.6	2.8	4.2	1.4								
94-1.2	5.6	2.8	1.4	5.6	2.8	4.2	0.0								
平均値	5.6	2.8	1.4	5.6	2.8	4.2	0.8			6.0	6.1	1.9	6.0	6.8	2.0

a: 基立期追肥 (3月中旬), b: 出穂期追肥 (4月下旬), c: 分けつ期追肥 (2月中下旬)

用が必要と考察されている(渡邊ら 2015)。また、石丸ら(2016)はコムギの子実窒素含有量における窒素寄与率について、地力窒素の割合が最も高いことを報告しており、コムギの子実タン

パク質を高い水準で保つためにも、堆肥の投入等による地力の向上が重要であることが示唆された。

V 摘要

千葉県横芝光町の営農組合が保有するFOEAS施工後の水田転換畑圃場を対象に、気象条件、窒素施用量、作付体系がコムギ「さとのそら」の収量・品質に与える影響を解析した。結果は以下のとおりである。

- (1) 温暖な本地域においては、極端な遅播き(1月播種)による生育初期の低温を除けば、気温が収量に及ぼす影響はその他の要因より小さいと考えられた。一方、圃場条件に影響を及ぼす畑転換後年数が収量に影響を及ぼしている可能性が示唆された。
- (2) 茎立期追肥量を増やすことによって収量は増加傾向にあったが、収量は追肥量以外の要因にも影響されていた。また、窒素施用量の増加に対する収量の増加程度が小さく、施用した窒素を有効に利用できていない可能性が

示唆された。

- (3) コムギの収量・子実タンパク質含量は、転換2年目(ダイズ後作)で転換初年目(水稻後作)よりも高くなった。コムギの収量性向上のためには、麦-大豆作を2年続けて行う現行の5年7作体系は適切であると考えられた。ダイズ後作における収量の増加には、ダイズの土壌有機物分解能力による可給態窒素供給量の増加が関与していることが示唆された。しかし、ダイズ-コムギ作を3作続けた場合、必ずしも収量が増加しなかったことから、ダイズ作によって地力(土壌有機物)が減耗している可能性が考えられた。水田輪作における安定多収のためには、地力減耗を抑制する有機物施用(堆厩肥、作物残さ、緑肥等)が重要になると考えられた。

VI 謝辞

本研究の遂行にあたっては、現地圃場の利用、管理、調査等について横芝光町農事組合法人の土屋昇氏に多大なご協力を賜りました。また、作物の栽培管理・調査等には、農研機構・つくば技術支援センター・観音台業務第1科の職員

各位に多大なご尽力をいただきました。本研究の統計解析に農林水産研究情報総合センターのシステムを利用いたしました。ここに深く感謝の意を表します。

引用文献

- Asseng, S. and S.P. Milroy (2006) Simulation of environmental and genetic effects on grain protein concentration in wheat. *European Journal of Agronomy*, 25, 119-128.
- 江口久夫・平野寿助・吉田博哉(1969)暖地における小麦の良質化栽培に関する研究(第2報)3要素施用量および窒素の施用時期・施用法と品質との関係。中国農業試験場報

告, 17, 81 - 112.

藤森新作(2007)転換作物の安定多収をめざす地下水位調節システム。農業および園芸, 82, 570 - 576.

原嘉隆・古畑昌巳・山下浩・土屋一成・草佳那子(2005)輪作圃場の小麦生育における前作物(大豆/水稻)と稲麦藁処理の影響。九州沖縄農業研究センター研究資料, 91,

- 69 - 73.
- 服部誠・南雲芳文・佐藤徹・藤田与一・樋口泰浩・大山卓爾・高橋能彦 (2013) 新潟県における水田転換畑ダイズの収量低下要因. 日本作物学会紀事, 82, 11 - 17.
- 飯田幸彦・石川実 (1986) 播種期の遅れが麦類の茎別の収量に与える影響について. 日本作物学会関東支部報 1, 59-60.
- 井上吉雄 (2017) 高解像度光学衛星センサによる植物・土壌情報計測とスマート農業への応用. 日本リモートセンシング学会誌, 37, 213 - 223.
- 石丸知道・荒木将登・荒木拓哉・山本富三 (2016) 中華めん用コムギ品種「ちくしW2号」の子実タンパク質含有率における施肥窒素の利用効率と地力窒素の寄与率. 日本作物学会紀事, 85, 385 - 390.
- 松村修・北川壽・下坪訓次 (1988) 播種期の違いによる暖地小麦の物質生産と収量の変化. 日本作物学会九州支部会報, 55, 69 - 72.
- 箕田豊尚 (2010) 埼玉県の畑作試験圃場におけるコムギ「農林61号」の収量に対する気象条件の影響. 日本作物学会紀事, 79, 62 - 68.
- 宮城県農業センター (1992) 土壌腐植含量による可給態窒素量の推定. (オンライン), <http://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/seika/jyouhou/H04/tnaes92023.html>, (参照 17 Jan. 2019).
- 水田圭祐・荒木英樹・中村和弘・松中仁・丹野研一・高橋肇 (2017) パン用コムギ品種「ミナミノカオリ」における穂肥重点施肥が収量や子実タンパク質含有率におよぼす影響. 日本作物学会紀事, 86, 319 - 328.
- 中園江・大野宏之・吉田ひろえ・佐々木華織・中川博視 (2014) コムギの発育段階の推定モデル. 日本作物学会紀事, 83, 249-259.
- 新良力也・廣川智子・小池潤・稲原誠・小田原孝治・兼子明・福島裕助・荒木雅登・荒巻幸一郎・大野智史・木村秀也 (2009) 田畑輪換圃の窒素肥沃度の低下と有機物施用対策技術. (オンライン), <http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/narc/2009/narc09-02.html>, (参照 17 Jan. 2019).
- 新良力也 (2013) 水田輪作の新しいフレームワークと土壌学・植物栄養学の展開方向 4. 輪作体系下の地力の問題と維持管理. 日本土壌肥科学雑誌, 84, 487 - 492.
- 農林水産省農林水産技術会議 (2007) 水田・畑輪作体系を進める効率的な新技術. 農林水産研究レポート, 19, 1 - 17.
- 農林水産省大臣官房統計部 (2018) 平成30年産麦類(子実用)の作付面積(全国)及び収穫量(都府県). (オンライン), http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kome/attach/pdf/index-55.pdf, (参照 17 Jan. 2019).
- 大賀康之・平野幸二 (1989) 大豆後作小麦の栽培法 - 特に施肥法について -. 福岡県農業総合試験場研究報告, A-9, 63 - 66.
- 大西順平・中山幸則・北野順一・出岡裕哉・高川知也・中西憲二 (2011) 低pH土壌におけるリン酸、カリ基肥施用が小麦初期生育に与える影響. 日本作物学会第231回講演要旨集, 86 - 87.
- 小柳敦史 (2010) 小麦の湿害被害の実態と耐湿性研究の現状. 米麦改良, 2010 (5), 1 - 7.
- Porter, J.R. and M. Gawith (1999) Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *European Journal of Agronomy*, 10, 23-36.
- 島田信二・渡邊好昭・浜口秀生・藤森新作 (2010) 小麦に対する地下水位制御システム(FOEAS)の効果. 日本作物学会第230回講演要旨集, 302 - 303.
- Shimada, S., H. Hamaguchi, Y. Kim, K. Matsuura, M. Kato, T. Kokuryu, J. Tazawa, and S. Fujimori (2012) Effects of water table control by farm-oriented enhancing aquatic system on photosynthesis, nodule nitrogen fixation, and yield of soybeans. *Plant Production Science*, 15, 132-143.

- 高橋利和・大澤実・折茂佐重樹・成塚彰久・斎藤幸雄 (2010) 小麦新品種「さとのそら」の育成. 群馬県農業技術センター研究報告, 7, 1—12.
- 渡邊和洋・濱口秀生 (2013) 畑転換初年目の水稲後と2年目のダイズ後のコムギの生育と収量の比較. 日本作物学会第236回講演要旨集, 222 - 223.
- 渡邊和洋・松崎守夫・松尾和之・渡邊好昭 (2015) 不耕起播種を基軸とする水田輪作における減肥体系が収量性および土壌の化学性に及ぼす影響. 日本作物学会紀事, 84, 162 - 176.

Evaluation of Cultivation Method in Wheat Variety ‘Satonosora’ in Upland Fields Converted from Paddy in Chiba prefecture. —Analysis of the Factors of Instability for Grain Yield and Quality—

Hiroko Sawada^{*1}, Natsumi Okamura^{*1}, Daisuke Miyama^{*1}, Hideya Kimura^{*2},
Makoto Kojima^{*1}, Kenji Kanazawa^{*1}, Morio Matsuzaki^{*1} and Yasuo Ohshita^{*1}

Summary

We studied the effects of air temperature and precipitation, nitrogen fertilizer and cropping system on grain yield, and quality of wheat variety ‘Satonosora’ in upland fields converted from paddies with Farm-Oriented Enhancement for Aquatic System (FOEAS) in Chiba prefecture. The results are summarized as follows.

1. There was no significant correlation between yield and mean air temperature from sowing to maturity at each field, except for low temperature during the early growth of wheat caused by very late sowing (early in January). However, it was suggested that the grain yield affected by field conditions such as soil moisture and fertility, because the grain yields were lower in the first year than the second year after the field conversion.

2. The grain yield could increase with increased nitrogen top-dressing at jointing stage within the same year, while the other factor(s) could also influence the instability of grain yield. Moreover, the increase in applied nitrogen fertilizer had a low impact on the grain yield, suggested that the wheats harvested after 2015 in

these farmer’s field could not use nitrogen effectively.

3. The grain yields and protein contents of wheat in the second-year upland field, following soybean, were constantly higher than those in the first-year upland field converted from paddy, following rice. Rice-wheat-soybean crop rotation system of seven-crop per five-year was adequate for an enhancement of grain yield and protein content in wheat. It was suggested that the higher yield of wheat cultivated following soybean could be due to an increased supply of available nitrogen from soil organic matters decomposed by the soybean. However, in case of three-years soybean-wheat rotation, the grain yields of wheat decreased compared with those harvested the previous year. Therefore, it was considered that the soil nitrogen fertility in the fields was reduced by continuous soybean cultivation. We suggested that an application of organic matters, such as manure composts, crop residues, and green manure, is important to obtain stable high yields in paddy rice and upland crops rotation.