

令和4年度 成績概要書

課題コード（研究区分）： 7101-722111 （受託研究（民間））

1. 研究課題名と成果の要約

- 1) 研究成果名：衛星画像を用いた秋まき小麦「きたほなみ」の起生期茎数と止葉期窒素吸収量の推定技術（研究課題名：リモートセンシングを活用した秋まき小麦の広域的生育診断法の開発）
- 2) キーワード：衛星画像、正規化植生指数（NDVI）、正規化レッドエッジ指数（NDRE）
- 3) 成果の要約：「きたほなみ」の越冬前もしくは起生期において、対象地域内の衛星NDVIと4筆の茎数測定値から圃場毎に茎数を推定することで、生育旺盛で起生期に無追肥とする圃場を判定できる。また、止葉期窒素吸収量は衛星NDREにより15 kg/10aまで推定可能である。これらによって、追肥判断が圃場毎で迅速に可能となる。

2. 研究機関名

- 1) 代表機関・部・グループ・役職・担当者名：十勝農業試験場・研究部・農業システムグループ・研究職員・木村智之
- 2) 共同研究機関（協力機関）：十勝農業試験場・研究部・生産技術グループ（十勝農業改良普及センター、各農協、ホクレン、ホクレン農総研、スペースアグリ、十勝農協連、ズコーシャ）

3. 研究期間：令和元～3年度（2019～2021年度）

4. 研究概要

1) 研究の背景

「きたほなみ」の追肥判断の指標となる起生期茎数と止葉期窒素吸収量の測定は、時間を要するとともに、定点情報のため大区画圃場での代表値の把握に課題がある。衛星画像は広範囲を一度に撮影して地点毎にデータを取得できるため、圃場毎に代表値を簡易に把握できる。衛星画像と定点の生育情報を併用することで、生育情報を広域的に把握して追肥等の意思決定に活用することが期待される。

2) 研究の目的

衛星画像を用いた秋まき小麦の起生期茎数および止葉期窒素吸収量の推定手法を開発する。

5. 研究内容

1) 起生期における茎数推定および無追肥判定手法の確立（R1～3年度）

・ねらい：衛星画像により茎数推定および起生期無追肥判定手法を確立するとともに精度を検証する。

・試験項目等：

供試圃場：十勝農試験場内および現地の小麦圃場（十勝管内）

検討項目：越冬前と起生期のNDVIと茎数の関係、NDVIに影響を及ぼす条件（局所的な生育不良、表面の凍結）、中央化と標準化、茎数推定と無追肥判定の手順、茎数推定誤差、無追肥判定の適合率

2) 止葉期における窒素吸収量推定手法の確立（R1～3年度）

・ねらい：衛星画像により広範囲で止葉期窒素吸収量の推定を可能とする手法を確立する。

・試験項目等：

供試圃場：十勝農試験場内および現地の小麦調査圃場（十勝、オホーツク管内）

検討項目：止葉期の正規化指数と窒素吸収量の関係、止葉期と撮影日の日数差、窒素吸収量推定範囲

6. 研究成果

- 1) ①PlanetDove衛星群とSentinel-2衛星において、越冬前および起生期の茎数2000本/m²未満の範囲で茎数とNDVIの間に有意な相関が認められ、全画像でRMSEは300本/m²未満となったものの、回帰係数は撮影日毎で異なった（データ略）。これは、NDVIの標準偏差および平均値が撮影日毎で異なるためである。
②同一年次・対象地域内の小麦圃場ではNDVIの標準化（sNDVI）により、異なる撮影日の画像でも、越冬前茎数推定の回帰式は同じになった（データ略）。一方、sNDVIから起生期茎数を推定する際は撮影日毎に推定する必要がある（データ略）。
③異なる年次・地域の比較では、茎数とsNDVIによる回帰式の傾きおよび切片は異なった（データ略）。そのため、対象地域内の茎数の標準偏差および平均値を考慮して茎数を推定することとし、本手法では茎数の標準偏差から推定式の傾きを決定した（図1）。茎数の実測調査で対象地域内における茎数の標準偏差および平均値を算出し、推定式の傾きおよび切片を決定した（図2）。冬損等の障害がなく越冬前から起生期にかけて茎数は減少しないと仮定すると、茎数推定と起生期無追肥判定は越冬前に可能であり、越冬前に追肥要否を判断できなかった圃場のみで起生期にも実施する。
④局所的な生育不良地点（葉色薄い、動物の食害など）および葉や土壌が凍結している地点は外れ値となるため（データ略）、茎数調査地点に生育不良地点を選定しない。
⑤2021年越冬前、2022年起生期に現地圃場（A町、B町）で茎数を推定すると、RMSEは越冬前で286本/m²、起生期で300本/m²となった（データ略）。無追肥判定すると、300本/m²の誤差を許容した際の適合率は90%であった（図3）。
- 2) 止葉期窒素吸収量はSentinel-2衛星画像から、NDRE2、止葉期と撮影日の日数差、NDRE1とNDRE3の差を用いて、年次・地帯・土壌型を問わず、15 kg N/10aまでの範囲で推定可能である（図4、推定誤差2.8 kg N/10a）。止葉期とその前後の窒素吸収量との比較から、止葉期の10日以内の衛星画像であれば止葉期窒素吸収量を推定可能であるため、追肥判断に活用できる（データ略）。

< 具体的なデータ >

$$\text{適合率} = \frac{\text{推定値 } 1300 \text{ 本/m}^2 \text{ 以上かつ実測値 } 1000 \text{ 本/m}^2 \text{ 以上の圃場数}}{\text{推定値 } 1300 \text{ 本/m}^2 \text{ 以上の圃場数}} \times 100$$

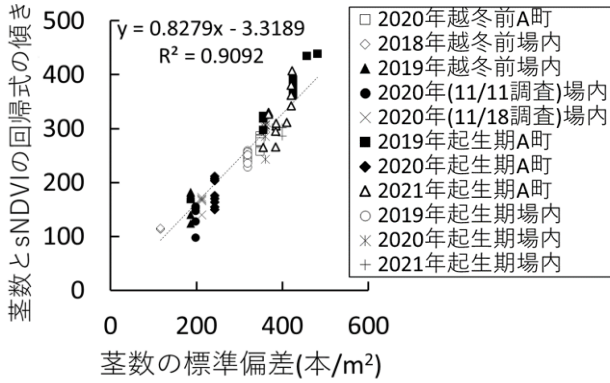


図1 茎数と sNDVI の回帰式の傾きと茎数の標準偏差の関係

$$sNDVI = \frac{\text{各圃場の NDVI} - \text{全圃場の NDVI 平均値}}{\text{全圃場の NDVI 標準偏差}}$$

sNDVI ≃ 1 および -1 となる地点で茎数を実測 (H1,H2 および L1,L2)

$$\text{茎数の標準偏差} = \frac{1}{2} \times \left(\frac{H1 + H2}{2} - \frac{L1 + L2}{2} \right)$$

傾き = 0.8279 × 茎数の標準偏差 - 3.3189

$$\text{切片} = \frac{H1 + H2 + L1 + L2}{4}$$

茎数推定値 = 傾き × sNDVI + 切片

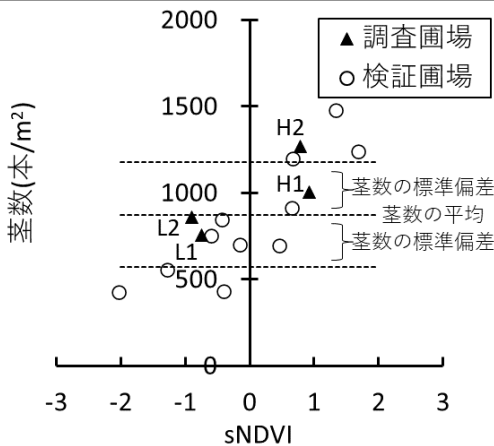


図2 茎数推定手法

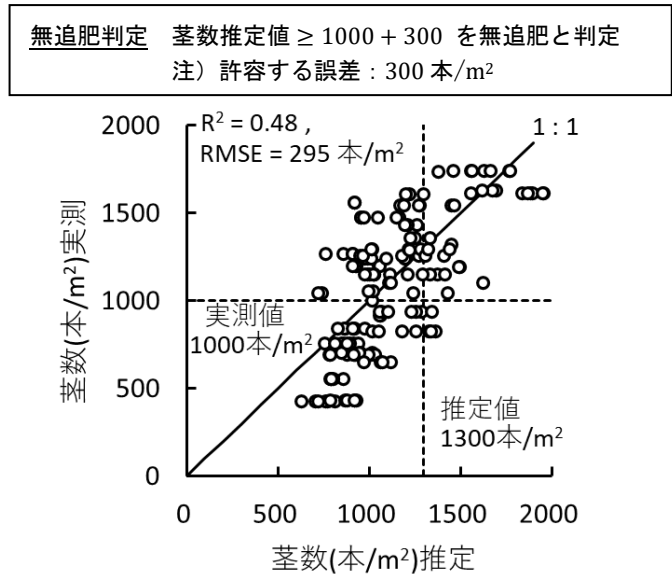


図3 茎数推定結果および無追肥判定の適合率

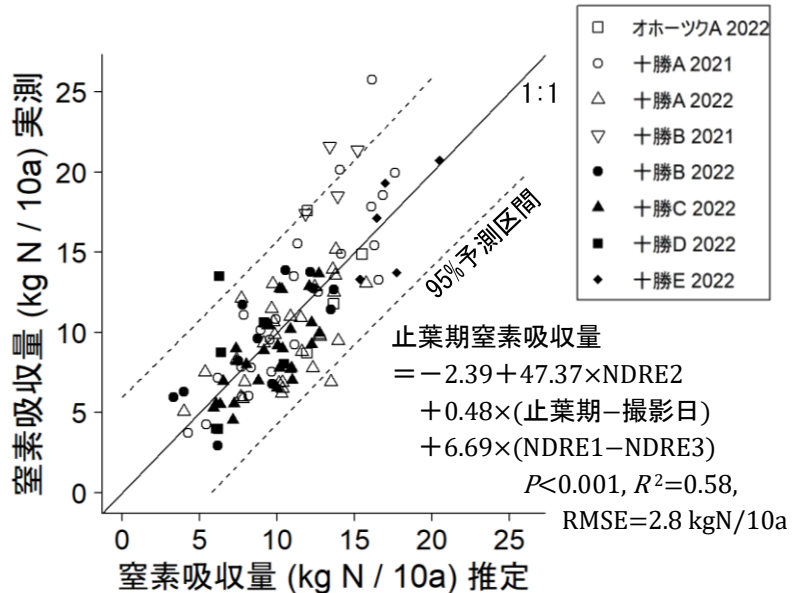


図4 窒素吸収量の推定値と実測値の関係

$$NDRE1 = \frac{R_{835} - R_{704}}{R_{835} + R_{704}} \quad NDRE2 = \frac{R_{835} - R_{740}}{R_{835} + R_{740}} \quad NDRE3 = \frac{R_{835} - R_{782}}{R_{835} + R_{782}}$$

R_{xyz} は波長 xyz nm の地表面反射率

7. 成果の活用策

1) 成果の活用面と留意点

- (1) 茎数推定および起生期無追肥判定は、農業改良普及センター、農業協同組合、生産者などが地域の衛星利用状況や生育調査実施状況に応じて役割分担を決めて活用できる。
- (2) 茎数推定は、20 km × 20 km 程度の範囲で実施し、最低気温 0°C 以下の時期の早朝撮影画像を除いた上で、11 月に撮影もしくは 3 月下旬 (融雪後) から 4 月中下旬 (起生期追肥前) までに撮影された NDVI 画像を使用する。
- (3) 止葉期窒素吸収量の推定は、SPAD 計がない等の理由で、止葉期窒素吸収量を推定する手段が他にない状況の代替手段として、追肥判断に活用できる。また、止葉期窒素吸収量を広域で推定する際に活用できる。
- (4) 茎数推定および無追肥判定の具体的な手順を道総研のウェブページ (農業技術情報広場) で公開予定である (令和 5 年 3 月頃)。

2) 残された問題とその対応 なし

8. 研究成果の発表等

- 石倉ら (2021) 日本土壌肥料学会 2021 年北海道大会 講演要旨集 p. 98
 石倉ら (2022) 日本土壌肥料学会北海道支部秋季大会 講演要旨集 p. 6