

## 収量と衛星画像 NDVI を活用した土壌肥沃度診断と追肥指標策定の試み

今野智寛・酒井博幸・櫻田史彦・吉田修一・庄子一郎

(宮城県古川農業試験場)

Diagnosis of soil fertility and top-dressing using yield combine and remote sensing

Tomohiro KONNO, Hiroyuki SAKAI, Fumihiko SAKURADA, Shuichi YOSHIDA and Ichiro SHOJI

(Miyagi Prefectural Furukawa Agricultural Experiment Station)

### 1 はじめに

水稻栽培において、土壌診断に基づく肥培管理は収量・品質の向上のために重要であるが、土壌分析には労力と時間を要するという課題がある。

近年、普及が進んでいるスマート農機やリモートセンシングデータからは様々な圃場・生育情報が得られ、取得データを利用した栽培管理技術の研究が進められている。丹羽ら<sup>2)</sup>は空撮用無人ヘリコプタで撮影した赤域の反射データを用いて熱水抽出性 N を推定し肥培管理に繋げる技術を報告した。しかし、赤域の反射データと相関が高いとされる土壌腐植含量と熱水抽出性 N との関係は圃場別に異なるため、圃場毎に回帰式を作成する必要性も述べている。

よって本研究では、スマート農機やリモートセンシングのデータを利用して、異なる圃場間でも汎用可能な土壌 N 肥沃度の推定式を作成し追肥指標へ活用する技術を示すことを目的とした。

### 2 試験方法

本研究では、2019 年に宮城県東松島市の 11 圃場から得られたデータを解析した。対象品種は「ひとめぼれ」であり、移植日は 5 月 6～9 日、出穂期は 8 月 3～4 日、収穫日は 9 月 14～28 日だった。各圃場の基肥量は N 成分で 0～3.9kg/10a であり、シグモイド型 (40 日及び 60 日タイプ) を 23% 含有する肥料を側条施肥した。なお、追肥は行わなかった。リモートセンシングデータは「Sentinel-2B」衛星から band5 (Red)、band6 (NIR) を取得し、NDVI ((NIR-Red) / (NIR+Red)) を算出した。衛星データの取得日は 6/14 (最高分けつ期)、7/29 (出穂期)、8/6 (穂揃期)、8/18 (出穂 2 週間後)、8/31 (出穂 4 週間後) とした。収量コンバインは「WRH1200A-2.6W (クボタ社製)」を使用し、収量データを取得した。なお、本研究の目標収量は 550kg/10a とした。土壌 N 肥沃度は、11/7 に採取した土壌を「COD パックテストを利用した可給態 N 簡易分析法<sup>1)</sup>」にて診断した。取得したデータは JMP14 (SAS 社製) によって統計解析した。

### 3 試験結果及び考察

#### (1) NDVI、収量、可給態 N の実測値

NDVI は穂揃期頃が最も高い傾向であり、変動係数は最高分けつ期が 0.32 と最も大きかった (表 1)。各圃場の収量は 502～631kg/10a であり、可給態 N は 13.8～53.1mg/kg 乾土だった。

#### (2) 衛星・収量データを用いた可給態 N の推定

衛星から取得した NDVI 及び収量を利用した可給態 N の重回帰式①を示した。 $y$  は可給態 N、 $x_1$  は出穂 2～4 週後の NDVI 変化量、 $x_2$  は収量を示す。

$$y = 129 + 84.1x_1 - 0.18x_2 + \{(x_1 + 0.04) * (x_2 - 552)\} * 18.1 \quad \text{①}$$

この重回帰式の RMSE は 4.92 であり、概ね可給態 N を推定できることが示された (図 1)。標準偏回帰係数は、出穂 2～4 週後の NDVI 変化量と収量の交互作用が最も高かった。

#### (3) 目標収量を達成するための生育診断基準

収量と各生育時期の NDVI との散布図を作成したところ、出穂期の NDVI が 0.49 以上で目標収量を達成できることが示された (図 2)。

#### (4) 出穂期の NDVI が目標値に達するかの予測

図 2 より、出穂期の NDVI で目標収量の達成・未達成を診断できることが示されたが、追肥診断のためには出穂期のデータ取得では遅く、事前に出穂期の NDVI が目標値の 0.49 に達するかどうかを予測できることが望ましい。そこで、出穂期の NDVI について 0.49 以上、未満で区分した判別関数②を作成した。 $z$  は判別スコア、 $x_3$  は最高分けつ期の NDVI、 $x_4$  は式①で推定した可給態 N を示す。

$$z = (31.1 * x_3) + (0.08 * x_4) - 7.35 \quad \text{②}$$

$z < 0$  の場合は NDVI  $\geq 0.49$  に判別されるため慣行追肥で可、 $z > 0$  の場合は NDVI  $< 0.49$  に判別されるため例年よりも追肥量を増やす必要ありと診断できるものとした (表 2)。この判別関数では、11 圃場中 10 圃場において判別が的中 (判別の中率 91%) した。

#### (5) 衛星・収量データを利用した追肥診断

各種データを利用した追肥診断の流れを以下に示す (図 3)。

- 1) 前年「ひとめぼれ」における出穂 2～4 週後の NDVI 変化量と収量データを取得する。
- 2) 式①より当該圃場の可給態 N を推定する。
- 3) 栽培年の当該圃場における最高分けつ期頃の NDVI を取得する。
- 4) 式②より、当該圃場の減数分裂期～出穂期の NDVI を予測し、「慣行追肥」か「例年より追肥を増やす」を診断する。

#### (6) 考察

本研究では、出穂後の NDVI 変化量と収量によって可給態 N を推定した。推定式は「NDVI の低下程度が小さい」かつ「収量が高い」場合に可給態 N が高くなるモデルとなっており、可給態 N が高ければ生育後期まで葉色が維持され登熟が良好になり収量が高くなるという因果関係を示したものと考えられた。佐々木ら<sup>3)</sup>は幼穂形成期から穂揃期にかけての N 吸収量の増加速度は年次差が無く、土壌 N 肥沃度を反映していると報

告しており、本研究の生育後半の NDVI を利用した可給態N 推定との関連が高かった。この可給態N 推定方法は水稻N 吸収量を反映した推定方法であることから、施肥体系の影響を受けるものと考えられる。また、佐々木らは<sup>3)</sup>幼穂形成期から穂揃期のN 吸収量とm<sup>2</sup> 粒数に高い相関があることも示しており、減数分裂期頃のNDVI を目標収量の達成基準とした本研究の追肥診断技術の有用性が裏付けられた。一方、本追肥指標は実証圃場で得られたデータのみで作成したことから適応範囲を広げるためには、様々な栽培条件や地域条件のデータを加えモデルを改良する必要があると考える。

#### 4 まとめ

可給態N は、出穂2~4 週後の NDVI の変化量と収量から推定できた。また、目標収量の達成・未達成には減数分裂期~出穂期の NDVI が大きく関与していることが明らかとなった。そこで、減数分裂期~出穂期の NDVI が目標収量を達成する値になるか否かを予測し、追肥診断に繋げるために判別関数を作成したところ91%の精度で減数分裂期~出穂期の NDVI を判別できることが示された。

【本研究は、農林水産省「スマート農業技術の開発・実証プロジェクト」により実施した。】

#### 引用文献

- 1) 阿部倫則, 佐々木次郎, 金澤健二, 駒田充生, 高橋茂. 2018. デジタル画像解析による COD 簡易比色キット測定値の定量とそれをを用いた絶乾土水振とう抽出法による水田土壌可給態窒素含量の推定. 土肥誌 89 (4) : 317-320.
- 2) 丹羽勝久, 横堀 潤, 米山 晶, 品川浩一. 2016. 低層リモートセンシングによる圃場の土壌情報モニタリング. 水土の知 84 (9) : 3-6.
- 3) 佐々木次郎, 阿部倫則, 小山かがみ, 今野智寛. 2016. 2013 年から 2015 年における水稻「ひとめぼれ」の窒素吸収パターンの特徴とその年次間差異. 東北農業研究 69 : 21-22.

表 1 各調査圃場のNDVI, 収量, 可給態N

|      | NDVI |      |      |      |      | NDVI変化量       |              |              |               | 収量<br>(kg/<br>10a) | 可給態N<br>(mg/<br>kg乾土) |
|------|------|------|------|------|------|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------------|-----------------------|
|      | 6/14 | 7/29 | 8/6  | 8/18 | 8/31 | 6/14<br>~7/29 | 7/29<br>~8/6 | 8/6<br>~8/18 | 8/18<br>~8/31 |                    |                       |
| 圃場A  | 0.13 | 0.51 | 0.54 | 0.45 | 0.41 | 0.38          | 0.02         | -0.09        | -0.04         | 588                | 13.8                  |
| 圃場B  | 0.07 | 0.49 | 0.54 | 0.46 | 0.44 | 0.43          | 0.05         | -0.09        | -0.02         | 584                | 34.9                  |
| 圃場C  | 0.13 | 0.53 | 0.56 | 0.46 | 0.43 | 0.40          | 0.03         | -0.10        | -0.03         | 605                | 30.4                  |
| 圃場D  | 0.10 | 0.50 | 0.52 | 0.44 | 0.42 | 0.40          | 0.02         | -0.08        | -0.03         | 588                | 29.7                  |
| 圃場E  | 0.11 | 0.51 | 0.53 | 0.44 | 0.42 | 0.40          | 0.01         | -0.09        | -0.02         | 631                | 44.8                  |
| 圃場F  | 0.17 | 0.49 | 0.52 | 0.44 | 0.38 | 0.32          | 0.04         | -0.09        | -0.06         | 530                | 41.0                  |
| 圃場G  | 0.14 | 0.47 | 0.50 | 0.43 | 0.37 | 0.33          | 0.04         | -0.07        | -0.06         | 502                | 44.0                  |
| 圃場H  | 0.22 | 0.46 | 0.45 | 0.41 | 0.36 | 0.25          | -0.02        | -0.03        | -0.05         | 502                | 41.0                  |
| 圃場I  | 0.24 | 0.48 | 0.46 | 0.42 | 0.39 | 0.24          | -0.02        | -0.04        | -0.03         | 503                | 25.9                  |
| 圃場J  | 0.16 | 0.49 | 0.50 | 0.40 | 0.35 | 0.32          | 0.02         | -0.10        | -0.06         | 538                | 23.6                  |
| 圃場K  | 0.15 | 0.46 | 0.49 | 0.41 | 0.35 | 0.32          | 0.03         | -0.08        | -0.06         | 503                | 53.1                  |
| 平均   | 0.15 | 0.49 | 0.51 | 0.43 | 0.39 | 0.34          | 0.02         | -0.08        | -0.04         | 552                | 34.7                  |
| 標準偏差 | 0.05 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.06          | 0.02         | 0.02         | 0.02          | 45.8               | 10.8                  |
| 変動係数 | 0.32 | 0.04 | 0.06 | 0.04 | 0.08 | 0.18          | 0.99         | 0.28         | 0.38          | 0.08               | 0.31                  |

注) NDVIは衛星 (Sentinel-2B) のNIR, Red画像から算出した。収量は収量コンバインから取得した。

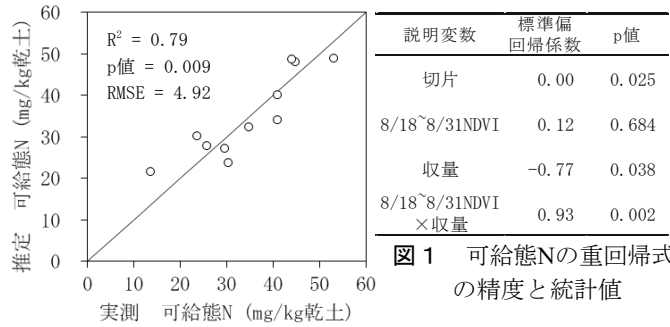


図 1 可給態Nの重回帰式の精度と統計値

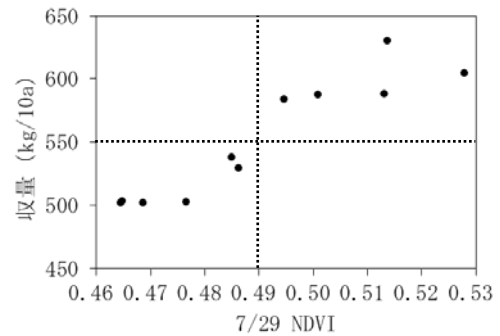


図 2 収量と7/29NDVIの散布図

注) 収量550kg/10aのラインは目標収量を示す。

表 2 出穂期のNDVIが目標値 (0.49以上) に達するか否かの判別分析

|     | 判別関数<br>説明変数          |                                   |                                 | 判別<br>スコア<br>(Z) | 判別<br>結果 | 判別<br>正誤 |
|-----|-----------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------|----------|----------|
|     | 7/29NDVI<br>実測値<br>区分 | 6/14<br>NDVI<br>(x <sub>3</sub> ) | 推定<br>可給態N<br>(x <sub>2</sub> ) |                  |          |          |
| 圃場A | ≥ 0.49                | 0.13                              | 21.6                            | -1.55            | ≥ 0.49   | 正解       |
| 圃場B | ≥ 0.49                | 0.07                              | 32.2                            | -2.72            | ≥ 0.49   | 正解       |
| 圃場C | ≥ 0.49                | 0.13                              | 23.6                            | -1.41            | ≥ 0.49   | 正解       |
| 圃場D | ≥ 0.49                | 0.10                              | 27.2                            | -2.05            | ≥ 0.49   | 正解       |
| 圃場E | ≥ 0.49                | 0.11                              | 48.0                            | 0.04             | < 0.49   | 誤判別      |
| 圃場F | < 0.49                | 0.17                              | 34.0                            | 0.67             | < 0.49   | 正解       |
| 圃場G | < 0.49                | 0.14                              | 48.6                            | 0.96             | < 0.49   | 正解       |
| 圃場H | < 0.49                | 0.22                              | 40.0                            | 2.58             | < 0.49   | 正解       |
| 圃場I | < 0.49                | 0.24                              | 27.9                            | 2.35             | < 0.49   | 正解       |
| 圃場J | < 0.49                | 0.16                              | 30.1                            | 0.06             | < 0.49   | 正解       |
| 圃場K | < 0.49                | 0.15                              | 48.9                            | 1.06             | < 0.49   | 正解       |

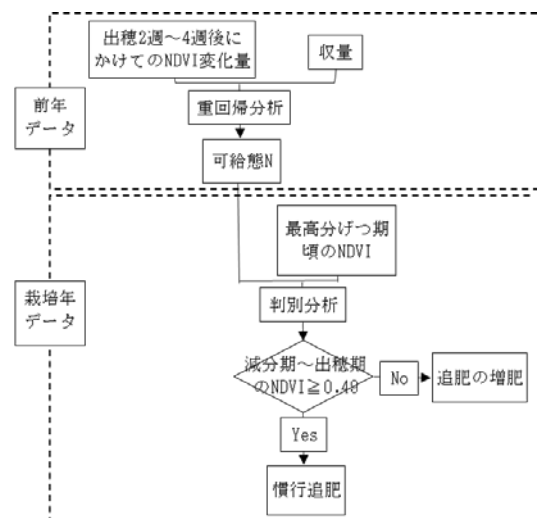


図 3 追肥診断のフローチャート