J. Jpn. Soc. Soil Phys.
土壌の物理性
No. 147 p.11 ～ 16 (2021)



# センシング技術を活用した黒ボク土畑の圃場特性の評価

丹羽勝久 [1]

# Evaluation of upland field characteristics in Andosols using sensing technology

Katsuhisa NIWA[1]

## 1. はじめに

黒ボク土の土壌腐植含量は微地形等により，その集積が大きく変異する．そのため，北海道のような圃場面積が数 ha にも及ぶ畑圃場では，圃場内の土壌腐植含量の集積に大きなばらつきが見られることが多い（Photo 1）．このような畑においては，表層の土壌腐植含量のばらつきが作物生産にどのように影響しているのかを特定した上で，対策を検討することが重要である．

一方，既往の研究では畑地の表層の土壌腐植含量は可視域の反射と高い負の相関関係があり，光学センサを利用したリモートセンシング技術により，簡易に面的評価を行うことが可能である（畠中ら, 1989）．

そこで本稿では，大規模畑作経営が行われている北海道十勝地域を対象とし，ドローンや衛星画像等のセンシング技術から把握した圃場内の土壌腐植含量のばらつきに基づいて，黒ボク土の圃場特性を評価した事例を紹介する．

## 2. 黒ボク土の土壌腐植含量が相対的に示す情報

丹羽ら（2016）は表層の土壌腐植含量と窒素肥沃度の関係に着目し，十勝地域の複数の畑地で両者の関係を評価した．北海道では熱水抽出性窒素の値が畑地の窒素施肥の指標として活用されているため，窒素肥沃度を表す値としてその値を用いた．その結果，圃場を区別せずにプロットした場合には両者の関係は不明瞭であったが，圃場単位で見た場合に，全ての圃場で両者の間には高い正の相関関係が見られた（Fig. 1）．

一方，十勝地域の黒ボク土地帯で，丹羽ら（2004）は複数の土壌断面調査を実施し，表層の土壌腐植含量と土壌タイプの関係を検討した．その結果，表層の土壌腐植含量が 100 g kg$^{-1}$ 未満の調査地点では土壌タイプは乾性の黒ボク土に区分されたが，表層の土壌腐植含量が 150

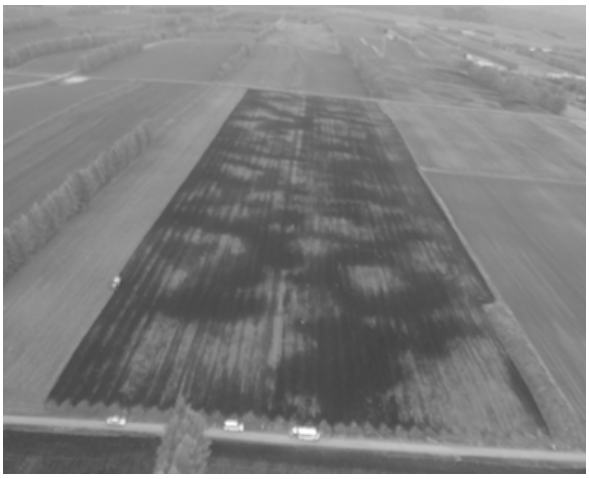


**Photo 1**　黒ボク土の圃場内の土壌腐植含量のばらつきの例（北海道十勝地域）．

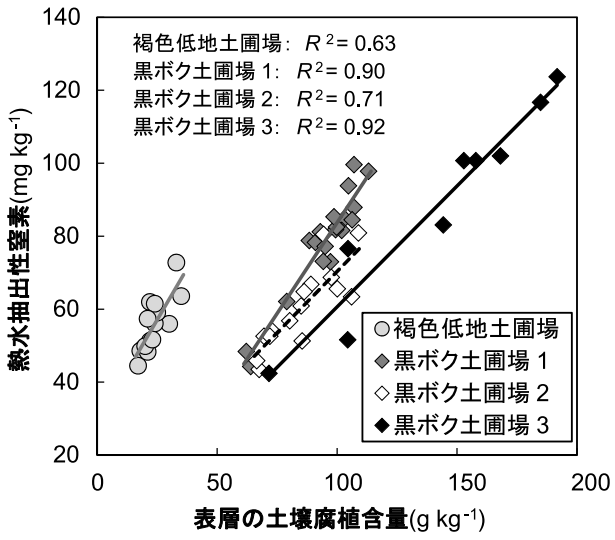



**Fig. 1**　北海道十勝地域の様々な圃場における表層の土壌腐植含量と熱水抽出性窒素の関係（丹羽ら（2016）を一部改変）．

[1]Zukosha Co., Ltd., Obihiro, Japan. Corresponding author: 丹羽勝久，株式会社ズコーシャ．
2020 年 11 月 26 日受稿　2020 年 12 月 25 日受理

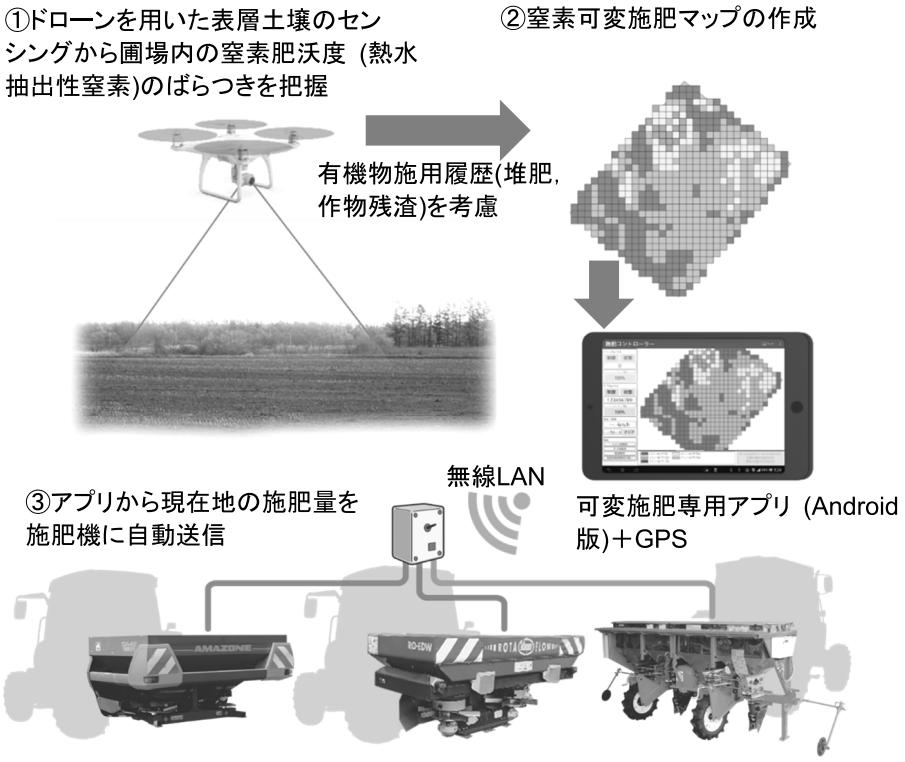



**Fig. 2** 窒素肥沃度ベースの可変施肥システム．

g $kg^{-1}$ 以上の全ての調査地点で湿性の多湿黒ボク土が出現した．

このように，黒ボク土において表層の土壌腐植含量が高いということは，窒素肥沃度が高いという作物生育にプラスの側面も持つ一方，土壌条件が湿であり，多雨時に排水不良の危険性を持つというマイナスの側面も併せ持つ．

## 3. 窒素肥沃度に基づく可変施肥とその効果

### 3.1 窒素肥沃度に基づく可変施肥の概要

北海道の畑作地帯では窒素肥沃度ベースの可変施肥システムが導入されつつある（丹羽ら, 2016）．このシステムは，上述の土壌腐植含量が相対的に圃場内の熱水抽出性窒素のばらつきを表現すること，リモートセンシング技術から表層の土壌腐植含量が精度良く推定できること，に着目し構築されたものである．可変施肥に必要な機材は施肥量を自動制御できる施肥機（可変施肥機），GPS，施肥量通信用アプリ（㈱ズコーシャ開発），無線 LAN アクセスポイントである．システムの概要は下記の通りである（Fig. 2）．

① 光学センサを搭載したドローンで畑の表層土を撮影し，その可視データと数点の熱水抽出性窒素の実測値との関係に基づいて熱水抽出性窒素の圃場マップを作成する．
②「北海道施肥ガイド 2015（北海道農政部, 2015)」に示されているテンサイやバレイショの熱水抽出性窒素の窒素施肥対応方法や，前作の作物残渣すき込み，堆肥施用等の有機物施用履歴等を考慮して，熱水抽出性窒素マップを窒素可変施肥マップに変換する．その際，配合肥料を利用する場合には，窒素の増減に伴って，リン酸およびカリウム等，他の成分の施用量も変動するので，例えばリン酸およびカリウムが施肥標準量を下回らない範囲で窒素施肥量を可変させる等，最終的な窒素可変の程度は生産者との協議の上決定する．
③ 施肥量通信用アプリに予め可変施肥マップを入力し，GPS で把握した現在地の施肥量を読み取る．さらに読み取った施肥量はアプリ上で，利用する可変施肥機のメーカー独自のファイル形式と通信規格に自動変換し，無線 LAN アクセスポイントを介して，施肥機の操作端末に送信する．

これら一連の作業により，生産者はこれまで通りの施肥作業を行っているだけで，自動的に施肥量を可変させることができる．なお可変施肥機は，全面施肥機を中心に複数のメーカーから販売されている．さらに現状では，ISOBUS（農業機械間で情報をやりとりするために定められた国際規格）対応の施肥機の導入が進みつつある．この施肥機は施肥制御に必要なファイル形式が ISO-XML 形式であり，通信規格も統一されている．つまり ISOBUS 対応施肥機では，メーカーに依存せず ISO-XML 形式の施肥データを直接，操作端末に入力す

ることで自動的に可変施肥を実施することができる．このことから，ISOBUS 対応の施肥機を利用する場合には上述のアプリと無線 LAN アクセスポイントは不要となる．

### 3.2 窒素肥沃度ベースの可変施肥効果

Fig. 2 のシステムの有効性について，黒ボク土を対象とし，2015 年にはテンサイ 3 圃場，2017 年にはバレイショ 1 圃場で試験を行った．具体的には各圃場で可変施肥区と農家慣行区を ha 規模で設け，両区の施肥量と収量を比較した．

Table 1 にテンサイの，Table 2 にはバレイショの結果を示す．両表中の圃場 C はテンサイとバレイショの両作物で試験を実施しており，2014 年に作成した熱水抽出性窒素マップを，テンサイとバレイショの可変施肥マップ作成に利用した．

テンサイの各圃場では，可変施肥区の農家慣行区に対する窒素施肥量の減肥率は平均 25 % であり，最終収穫物である糖量の増収率が平均で約 9 % であった．特に圃場 B では 55 % もの減肥率となった上に，ビートハーベスタによる試験区ごとの収量調査の結果，約 10 % の増収率を示した．一方，バレイショについても可変施肥区では農家慣行区に比べて 18 % の窒素肥料の減肥率となった上に，規格内収量の増収率が約 15 % 等，テンサイと同様の窒素施肥反応を示した．

以上のように，窒素肥沃度ベースの可変施肥は黒ボク土で有効であり，その基になる熱水抽出性窒素マップを一度作成しておけば，圃場 C のように他年次，他作物への可変施肥の展開等，効果的な活用が期待される．

**Table 1** 2015 年のテンサイを対象とした窒素肥沃度ベースの可変施肥試験結果（丹羽ら（2016）を一部改変）．

| 圃場 | 窒素施肥量 （kgN ha$^{-1}$） | | | 糖量 （t ha$^{-1}$）* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 可変施肥区 | 農家慣行区 | 減肥率（%） | 可変施肥区 | 農家慣行区 | 増収率（%） |
| A | 158 | 184 | 14.1 | 13.3±0.7 | 12.2±1.1 | 9.0 |
| B | 68 | 151 | 55.0 | 14.6 | 13.2 | 10.3 |
| C | 108 | 114 | 5.3 | 12.5±0.6 | 11.7±0.5 | 6.7 |
| 平均 | 111 | 150 | 24.8 | 13.5 | 12.4 | 8.7 |

* 圃場 A，C は 5 反復の坪堀から算出（平均値 ± 標準偏差）. 圃場 B はハーベスタによる測定結果.

**Table 2** 2017 年のバレイショを対象とした窒素肥沃度ベースの可変施肥試験結果.

| 圃場 | 窒素施肥量 （kgN ha$^{-1}$） | | | 規格内収量 （t ha$^{-1}$）* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 可変施肥区 | 農家慣行区 | 減肥率（%） | 可変施肥区 | 農家慣行区 | 増収率（%） |
| C | 76 | 93 | 18.0 | 38.3±1.6 | 33.4±3.7 | 14.7 |

*5 反復の坪堀から算出（平均値 ± 標準偏差）.

## 4. 表層の土壌腐植含量と作物生育に基づく黒ボク土地帯の圃場特性の把握

### 4.1 窒素可変施肥の有効な圃場の特性

先に述べたように黒ボク土における表層の土壌腐植含量（熱水抽出性窒素）が高い区域では，出現する土壌は湿性条件となる．そのため，多量降雨時等では，圃場内の表層の土壌腐植含量が高い区域において，局所的に作物生育が排水不良の影響を受ける危険性があり，このような場合には窒素可変施肥は必ずしも効果的な対策とは言えない．

そこで，窒素可変施肥の効果が高い圃場がどのような特徴を持つのかを検討した．具体的には Table 1，2 で可変施肥効果が高いことが実証された圃場 C を対象とし，CropSpec（Topcon 社）というトラクタ搭載型の作物生育センサを利用して秋まきコムギの出穂期の生育マップを作成し，Fig. 2 の方法に基づいて作成した熱水抽出性窒素マップと比較した（Fig. 3）．なお，作物生育センサ値は値が高いほど地上部生育量が大きく，その活性が高いことを示す．

比較の結果，熱水抽出性窒素が高い区域で作物生育センサ値が明らかに高い値を示した（黒枠）．また，両者の関係について線形回帰を行った結果，1% 水準で有意な正の相関関係が見られた．

以上のように，窒素可変施肥が効果的な圃場では熱水抽出性窒素と作物生育が正の相関関係にあり，窒素可変施肥をより効果的にするためには，予め，導入予定圃場の熱水抽出性窒素（土壌腐植含量）と作物生育が正の相関関係を持つことを確認することが重要である．

### 4.2 衛星画像を活用した窒素可変施肥が有効な圃場の選定

前節の結果を踏まえ，北海道十勝地域の黒ボク土地帯のテンサイおよびバレイショ圃場，合計 123 筆を対象として，衛星画像から窒素可変施肥が効果的な圃場か否かの判定を試みた（丹羽ら, 2021）．

利用した衛星画像は AIRBUS Defence & Space 社 の SPOT6 号が撮影した 2 時期（2016 年 4 月，2016 年 7 月）の画像である．各調査圃場では，表層土壌が映る 2016 年 4 月の衛星画像から表層の土壌腐植含量マップの作成を行い，2016 年 7 月の衛星画像からテンサイおよびバレイショの生育を正規化植生指数（NDVI）により評価した．なお，解析を行った 2016 年は多雨年で衛星画像撮影時の 7 月には一部で湿害が発生する等，排水不良の危険性が高い年次として位置づけられた．

表層土の土壌腐植含量と NDVI の関係を各圃場で検討した結果，両者の間に 1 % 水準で有意な正の相関関係が

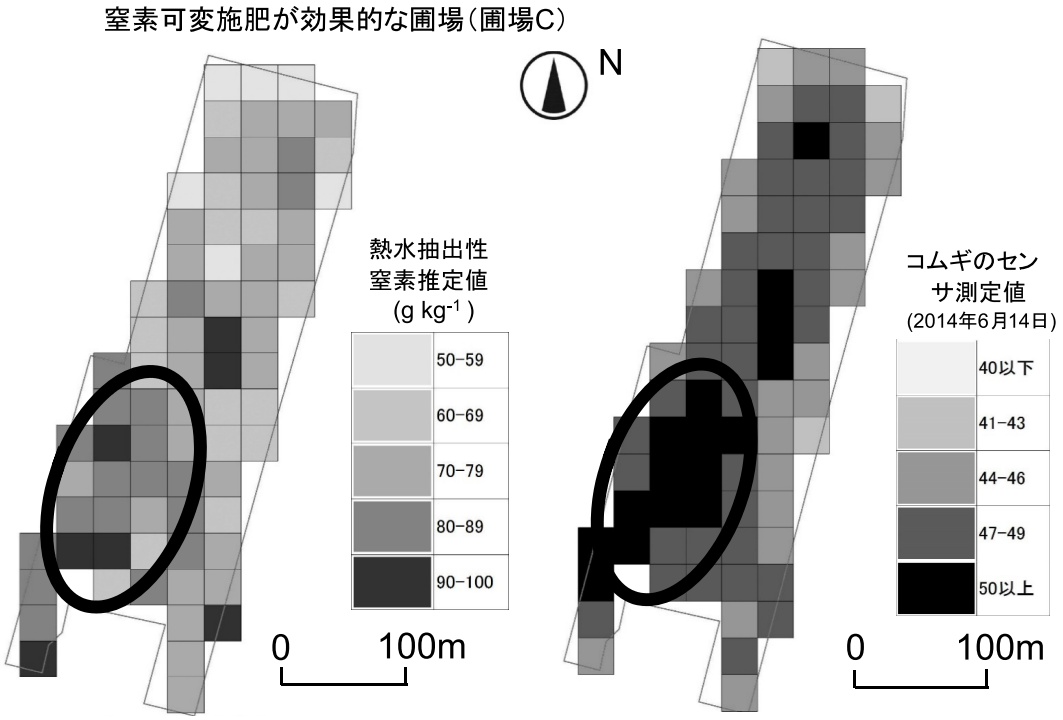



**Fig. 3** 窒素可変施肥が有効な圃場の熱水抽出性窒素と作物生育のマップ（丹羽ら（2018）を一部改変）.

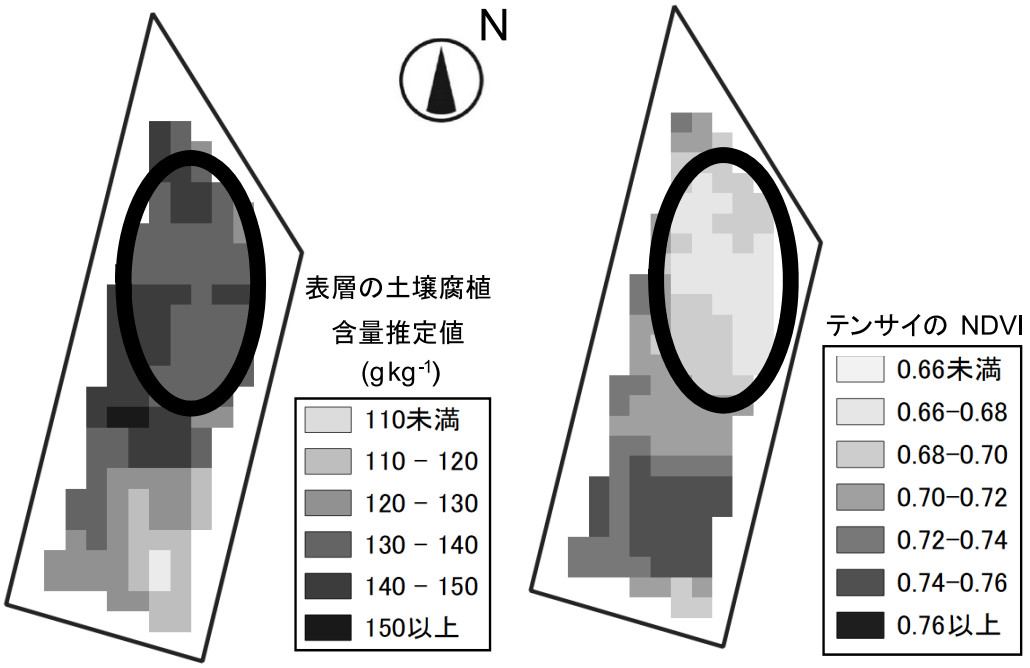



**Fig. 4** 衛星画像から推定した表層の土壌腐植含量とテンサイの 7 月の NDVI.

見られ，窒素可変施肥が効果的であろうと判断された圃場は，テンサイで 20 圃場（34.5 %），バレイショで 31 圃場（47.7 %）であった．

それに対して Fig. 4 に示すように，相対的に表層土の腐植含量の高い区域（黒枠）で明らかに NDVI が低く，線形回帰より両者の間に 1 % 水準で負の相関関係が見られる圃場も認められた．その圃場数はテンサイで全体の 24.1 % に該当する 14 圃場，バレイショでは全体の 15.4 % に該当する 10 圃場に及んだ．圃場の相対的な高腐植域で生育が劣る要因の一つには，圃場内で酸性矯正のために石灰を均一に施用した際，高腐植含量区域の pH は低いまま維持される場合があり，その影響を受けている可能性が挙げられた．ただし，調査年が多雨で排水不良の危険性が高いこと，相対的に高腐植域の区域に出現する土壌が湿性条件であることを踏まえると，NDVI が低い区域では局所的に排水不良の影響を受けている可能性が高いと考えられた．

## 5. おわりに

リモートセンシング技術は地上部の作物生育や表層の土壌の情報を捉えることができる．その中でも土壌情報については，光学センサ画像から土色の違いを評価することができるので，画像から直接的に表層の土壌腐植含量等，土色に関係の深い項目を把握することができる．一般的には土壌腐植含量が高いことは土壌の肥沃度が高いことを連想させるため，リモートセンシングにより把握した高腐植域の区域は「良い土壌条件」と判断される．しかし，十勝地域の黒ボク土においては高腐植域が間接的に土壌条件の乾湿も示しており，Fig. 4 のように，一般的に連想することとは異なる現象が実際の営農現場では発生している．

したがって表層土壌をリモートセンシングにより評価する際には，画像から直接的に分かること，間接的に分かることを予め整理しておくことが重要である．特に間接的なことには，今回のケースのように地下の土壌の状況が影響する場合があり，下層の正確な診断が重要になる．このような観点からリモートセンシング技術を活用した土壌情報の有効活用には，下層の土壌現象を把握するのが得意な土壌物理学の貢献が必要不可欠と考えられる．

## 謝辞

本発表の一部は農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センターが実施する「攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業（うち産学の英知を結集した革新的な技術体系の確立）」「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）」，内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「スマートフードチェーン」（管理法人農研機構生研支援センター）で取り組んだ．

## 引用文献

畠中哲哉, 塩崎尚朗, 福原道一, 宮地直道, 斉藤元也 (1989): ランドサット TM データによる畑地表土の腐植含量評価. 土肥誌, 60: 426–431.

北海道農政部 (2015): 北海道施肥ガイド 2015. http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/shs/clean/sehiguide2015.htm (2020.11.18)

丹羽勝久, 清野伸孝, 明石憲宗, 菊地晃二 (2004): 北海道十勝管内の火山性土地帯における大縮尺土壌図の作成. 土肥誌, 75: 69–78.

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. 農業農村工学会誌, 84(9): 749–752.

丹羽勝久, 横堀 潤, 原 圭祐, 笛木伸彦, 若林勝史 (2018): リモートセンシングにより推定した土壌窒素可給度と小麦生育の圃場内分布図に基づく小麦生育規定要因の解析. 土肥誌, 89: 544–551.

丹羽勝久, 横堀 潤, 石倉 究, 原 圭祐, 笛木伸彦, 今田伸二 (2021): 衛星画像から推定した表層土壌・作物生育に基づく黒ボク土畑作地帯における可変施肥導入の可能性. 土肥誌, 92（掲載予定）.

## 要　　旨

黒ボク土の表層の土壌腐植含量は圃場内の窒素肥沃度のばらつきを相対的に反映する．また，光学センサにより撮影した表層土壌の画像から精度良く推定することが可能である．これらの点に着目し，北海道の大規模畑作地帯では，ドローン画像より作成した窒素肥沃度（熱水抽出性窒素）マップが，窒素可変施肥に実利用されつつある．しかし，窒素可変施肥の効果を発揮するには，導入圃場の窒素肥沃度と作物生育に高い正の相関関係を持つことが必要であり，全ての圃場で窒素可変施肥が有効な訳ではない．実際，スケールメリットのある衛星画像を用いて，123 圃場で表層の土壌腐植含量マップと多雨年の作物生育マップを作成し，両者の関係を検討した結果，必ずしも両者は全ての圃場で正の相関関係を持つ訳ではなく，一部の圃場においてはむしろ負の相関関係が確認された．黒ボク土では表層の土壌腐植含量は土壌の乾湿も相対的に反映することから，負の相関関係を持つ圃場では，作物生育が窒素肥沃度よりも排水不良に影響を受けていると考えられた．

**キーワード**：黒ボク土，窒素肥沃度，リモートセンシング，排水不良，土壌腐植含量