帯広地域土壤腐植区分図の作成方法

Mapping Method of Soil Organic Matter Content of Obihiro Area using Landsat TM Data

岡本 勝男*, 福原 道一*

畠中 哲哉**

Katsuo OKAMOTO, Michikazu FUKUHARA

Tetsuya HATANAKA

Abstract: We made the soil organic matter content (hereinafter referred to as O.M.) map of Obihiro Area, Hokkaido, using Landsat TM data. The aim of this paper is to present a making method of the map. The O.M. of each site is derived from the correlation between measured O.M. in the field and CCT count of TM band 3. The O.M. of vegetation-covered cropland is estimated from CCT count of TM band 3 on the soil line transformed by the soil index method (Fukuhara et al., 1979). The map consists of 18 sheets and covers whole cropland of Obihiro Area (1,083,000ha). The map is characterized by two points as follows; (i) grid cell size is 25m×25m, (ii) the O.M. is divided in to 7 classes and shown on 1: 50,000 topographical maps in 7 colors.

概要: ランドサット TM データ (バンド 3 : 630~690nm) の CCT 値と実測した土壤腐植含量 (%) との関係を用いて帯広地域 (十勝支庁全域) の畑地表土の腐植含量を推定し, 土壤腐植区分図を作成した。作成した腐植区分図は① 1 画素の大きさを 25m 四方にし, ②腐植含量の割合を縮尺 1 : 50,000 の地形図上に 7 色で表現・印刷した。本腐植区分図は, 土壤の特徴を圃場単位で把握し, 畑地灌漑や排水改良等土地基盤整備, 土壤改良, 作付け計画, 肥培管理等へ活用することを目的として作成したものである。

はじめに

腐植とは, 有機物が主として微生物の作用により分解生成した有機物質である。その量と質が土壤生成と密接に関係しているので, 土壤の窒素供給量や水分環境の指標として重要である。帯広地域では, 従来, 土地基盤整備・改良事業の基準的な土壤図として「十勝管内土壤分類図^①」が広く使われてきた。しかし, これは 500m 四方 (25ha) に 1 点の試坑に基づき地形を見ながら作られている。そのため, 区画された範囲の中には土壤名と異なった土壤が含まれることになる。したがって, 土地基盤整備事業や土壤診断事業の資料とし

て精密な腐植含量図が事業関係者から望まれてきた。一方, ランドサット TM データの利用により, 大縮尺土壤図の作成が可能になっている。畠中ら^②はランドサット TM バンド 3 (630~690nm : 赤色, 以下ランドサット TM バンド n を TMn のように略す) のデータを使って畑地表土の腐植含量を高い精度で推定し, 図化できることを示した。畠中らによると土壤腐植含量を縦軸, TM 3 の CCT 値を横軸にとって観測点をプロットすると, 各点は土壤型によらずほぼ直線上に並んで負の相関関係を示す。そこで, この関係を利用して土壤腐植含量を推定した。

ランドサット TM データから腐植含量を推定できることは志賀ら^③や真行寺ら^④によって確認されている。志賀らは北海道空知南部の水田および畑地の腐植含量区分図を作成した。真行寺らは千葉県北総火山灰台地の腐植含量区分図を作成した。

われわれは, 帯広地域 (十勝支庁全域) を対象に既

* 農林水産省農業環境技術研究所

** 農林水産省草地試験場

存の土壌腐植⁹⁾を補完するためにランドサット TM データから土壌腐植区分図を作成した^{4,9)}。本論文では、腐植区分図の具体的な作成方法および腐植含量推定方法の改良点について報告する。なお、ここで報告する推定方法は帯広地域に限ったものであるため、他地域で行うには推定式を作り直す必要がある。

1. 作成方法

(1) 対象地域と腐植含量データ

北海道十勝支庁内の全市町村108.3万 ha の畑地を対象とした。腐植含量値は地力保全基本調査試坑地点(30地点)における土層25cm の加重平均値を用いた。

(2) 使用したランドサット TM データ

使用した TM データはバスーロウが106-30と106-31で、以下の撮影日のものである。

1984年 5月21日：土壌腐植含量計算用

1985年 5月24日：土壌腐植含量計算用

1985年 7月27日：土地被覆分類補完用

1985年 10月15日：土地被覆分類用

帯広地域では例年5月は、土壌が乾燥し、かつ畑地が作付け前または作付け直後で裸地状態になっている。1984年5月21日は10日前から、1985年5月24日は8日前からそれぞれ降水量が観測されていない^{7,8)}。また、両日とも土壌水分(pF値)は2.16~2.82である。したがって、土壌表面は風乾状態であり、土壌水分の影響はないと考えてよいので、両日のデータから土壌腐植含量を計算した。また、1985年のデータでは植生が覆うため土壌腐植含量を推定できない部分について、1984年のデータでできるだけ補完した。土地被覆分類に際しては、1985年10月のデータでは対象地域の一部が欠けてしまうため、7月のデータで補完した。

(3) 土壌腐植含量区分値の推定方法

土壌腐植含量区分値の推定方法は概ね畠中らの手順⁹⁾に従ったが、以下の点を改良して用いた。

① TM3と腐植含量はリニアな関係よりも対数曲線の方がよく合うことから、腐植含量の推定にはTM3のCCT値の対数値(以下TMnのCCT値の対数値をlogTMnと略す)を使った。

② 畠中らは裸地のみを対象にしているため、1984年5月21日と1985年5月24日の2時期データを用

いても秋蒔小麦畑や牧草地は植生があるので腐植含量推定の対象からはずれてしまう。そこで、裸地はソイル・ラインから直接推定し、植生のある畑の場合にはlogTM3を裸地のlogTM3に変換し、この値から腐植含量を推定した。

まず、地力保全基本調査試坑地点のうち、1985年5月24日に裸地である30地点に対応する画素のlogTM3とlogTM4の回帰式(2-1)を求めた。

$$\begin{aligned}\log TM4 &= 0.902 \log TM3 + 0.171 \\ r &= 0.997 \quad (2-1)\end{aligned}$$

図1 1985年のソイル・ライン・グラフ
logTM3, logTM4はそれぞれTM3, TM4のCCT値の対数値である。

この回帰直線はソイル・ラインと呼ばれる。図1にこのソイル・ライン・グラフを示す。ソイル・ライン上の画素は裸地であるので植被率は0%である。植被率が大きくなるとその画素はソイル・ラインから離れた位置(上方)にプロットされる。

つぎに、主対象地域の1985年5月24日のlogTM3およびlogTM4の2次元ヒストグラムをかくと図2のようになる。ただし、図中では対数値を次式を用いて0~255のCCT値に変換してプロットしてある。

$$CCT3 = 345 \log TM3 - 432 \quad (2-2a)$$

$$CCT4 = 204 \log TM4 - 184 \quad (2-2b)$$

CCT3：各画素のTM3の値(CCT値)

CCT4：各画素のTM4の値(CCT値)

図2のグラフからソイル・ラインより最も離れた頂点の座標を読み取った((logTM3, logTM4) = (1.415, 2.286))。

CCT4 (CCT値)

図2 1985年5月24日のlogTM3とlogTM4の2次元ヒストグラム。ただし、logTM3とlogTM4の値(対数値)を0～255の値(CCT3とCCT4)に変換してある。頂点は植被率100%の点である。Sは植被のある任意の画素、S'はSから植被の影響を除去したものの。

この頂点は植被率が最大、つまり100%の点だと考えられる。頂点と各画素Sを通る直線を引くとその傾きは土壌指数と呼ばれ、この直線上の各点の土壌腐植含量は等しくなる²⁾。したがって、この直線とソイル・ラインの交点S'のlogTM3座標は、この直線上の画素から作物の影響を除去したものと理解して良い。この交点S'のlogTM3座標は、土壌指数とソイル・ラインから求めることができる。ある画素Sの座標を(x, y)、交点S'の座標を(logTM3, logTM4)とすると土壌指数は次式で表される。

$$\frac{y-2.286}{x-1.415} = \frac{\log TM4-2.286}{\log TM3-1.415}$$

これをlogTM4について解き、ソイル・ラインの式(2-1)に代入すると交点S'のlogTM3座標は次式のよ

うになる。

$$\log TM3 = \frac{2.115x - 1.415y + 0.242}{0.902x - y + 1.010} \quad (2-3)$$

式(2-2a)、(2-2b)をそれぞれlogTM3, logTM4について解き、(2-3)式に代入すると

$$\log TM3 = \frac{0.006CCT3 - 0.007CCT4 + 1.615}{0.003CCT3 - 0.005CCT4 + 1.237} \quad (2-4)$$

となる。(2-4)式で交点S'のlogTM3座標を求めた後、これを画像データとして扱うために(2-2a)式を再び適用して0～255のCCT値に変換した。この値を変換TM3と呼ぶことにする。

変換TM3から土壌腐植含量を推定するために地力保全基本調査試坑30地点の腐植含量データ(log(腐

変換TM3 (CCT値)

図3 log (腐植%)と変換 TM3との関係
変換 TM3は、各画素の logTM3から植被の影響を除去した値を 0～255の CCT 値に変換したものである。

植%)とその地点に対応する画素の変換 TM3との回帰式を求めた (図3)。

$$\text{変換 TM3}=247.772-125.540\log (\text{腐植}\%)$$
$$r=-0.977 \quad (2-5)$$

この式から腐植含量 2, 5, 8, 10, 12, 15%に対応する変換 TM3の値209, 160, 134, 122, 112, 100を求め、腐植区分値とした。

(4) 土壤腐植区分図の作成手順

ランドサット TM データからの土壤腐植区分図作成手順を図4に示す。まず、1984年5月21日と1985年5月24日のそれぞれの TM3と TM4データは、十勝管内土壤分類図6)の土壤図が描かれている範囲がパスローウ106-30と106-31にまたがっているため、両シーンで重複している部分の CCT 値の単回帰式を使ってパスローウ106-31の CCT 値をパスローウ106-30の CCT 値レベルに合わせた後、両シーンをつなぎ合わせた。また、1984年5月21日のデータと1985年5月24日のデータでは各画素の CCT 値のレベルが異なっているので、土壤腐植含量を推定する前に両データのレベルを合わせる必要がある。①1984年と1985年では腐植含量は変化しないと考えて良い、②裸地または植被率の小さい地点は logTM3と logTM4の散布図上でソイル・ライン付近にプロットされる、という2点に注目して、地力保全基本調査試坑地点 (ソイル・ライン上にプロットされている)の両年の logTM3, logTM4そ

れぞれの単回帰式を求めた。

$$\log \text{TM3}_{1985}=1.084 \log \text{TM3}_{1984}-0.156$$

$$\log \text{TM4}_{1985}=0.994 \log \text{TM4}_{1984}+0.048$$

1985年のデータとこの回帰式により変換した1984年のデータからそれぞれの年の土壤腐植含量を画素ごとに推定し、それを腐植含量と logTM3との単回帰式を基に 0～255の値に割り当てて土壤腐植含量推定画像を作成した。

つぎに、1984年の植被率の判定に用いるために1984年のデータを用いて各画素を通りソイル・ラインに平行な直線の y 切片の値 VI を次式から計算し、VI 値画像を作成した。

$$VI=(\log \text{TM4}-0.902 \log \text{TM3}-0.171) * 100+100$$

5月の帯広地域の畑は裸地、裸地に近い畑地 (秋播小麦) および植生のある畑地 (牧草地) に大別されるので、土壤腐植含量推定画像から裸地とそれに近い畑地および牧草地を抽出するために1985年10月15日のデータを用いて判別ファイルを作成した。土地被覆分類から判別ファイルを作成するために1985年7月27日のデータを1985年10月15日のデータにつなぎ合わせた後、5月のデータと同じ範囲を7バンド切り出した。この7バンド・データに対して主成分分析・最尤法分類を行い、畑 (麦)・畑 (裸地)・水はけの悪い畑・疎林・牧草地・藪 (新しい牧草地)・溪畔林・森林・ササ地・水面の10カテゴリに区分した。土地被覆分類結果と現地の状況をつき合わせたところ、畑 (麦・裸地)・水はけの悪い畑・疎林および未分類の地点が裸地とそれに近い畑地に相当したので、これらに区分された画素を取り出して1985年の裸地畑用判別ファイルを作った。藪と分類された地点は新しい牧草地が多く含まれていたため、牧草地と藪に分類された画素を取り出して1985年の牧草畑用判別ファイルを作った。

1985年の裸地畑用判別ファイルを用いて1985年の土壤腐植含量推定画像から裸地とそれに近い畑の画素を抽出し、1985年の裸地とそれに近い畑地の腐植含量推定画像を作成した。次に牧草地の腐植含量推定画像の作成であるが、牧草地は一般に地表がほとんど見えなほど植生に覆われているため、logTM3と logTM4の散布図上でソイル・ラインから大きくはずれ、推定した腐植含量の誤差は大きい²⁾。しかし、1985年は牧草地でも前年 (1984) は牧草地になっていなかった可能性がある。そこで、1985年の牧草畑用判別ファイルを

図4 土壌腐植区分図作成フロー

□ は処理内容 ○ はファイル

用いて、1984年のVI値画像から1985年には牧草地になっている地点の1984年のVI値画像を作成した。そして、 $95 \leq VI \leq 105$ を植被率小の地点であるとして、このVI値画像を用いて1984年の土壌腐植含量推定画像から植被率小の地点を抽出した。これが「1985年には牧草地となっているが1984年には植被率が小であった」畑地の腐植含量推定画像である。この画像に1985年の裸地とそれに近い畑地の腐植含量推定画像を重ね合わせて帯広地域全体の腐植含量の推定画像とした。この画像中には、実際には畑地であっても推定対象外と判定されてしまった画素もある。そこで、畑地の中に1

画素だけ存在するこのような画素（穴）は、当該画素を挟む2画素の腐植含量の平均値で補完した。これを18図葉の基図に合わせて切り出し、画像の向きが地図と同じ北向きになるように、そして1画素が28.5m四方から25m四方になるようにアフィン変換した。各図葉を個別に変換したのは、隣接した図葉との接合性よりも、基図（縮尺1：50,000の地形図）との整合性を重視したためである。これを基に腐植含量0、2、5、8、10、12、15%で区分し、地形図上にコンピュータ・マッピングして土壌腐植区分図を完成させた。

図5 土壤腐植区分図の範囲

- a 土壤腐植区分図18図葉全域
b 例として取り上げた No.12芽室・帯広図幅

図6 土壤図(十勝管内土壤分類図)

No.12芽室・帯広図幅にオーバーレイされる部分。本図幅の範囲は4土壤型22土壤属からなるが、そのうち図中に土壤属 No.―土壤区 No.を記したものを下に示す。

土 壤 型	土壤属No. - 土壤区No.
褐色火山性土	(1) - ①, (1) - ②, (2) - ①, (2) - ②, (4) - ①
黒色火山性土	(5) - ①, (6) - ①, (9) - ①
沖 積 土	(13) - ①, (13) - ②, (14) - ①, (14) - ②
泥 炭 土	(20) - ①

3. 結果と考察

作成した土壤腐植区分図は図5に示すように北海道帯広地域(十勝支庁)をほとんどカバーしている。本腐植区分図の図葉割は、帯広地域で基盤整備事業等に最もよく使われている十勝管内土壤分類図⁶⁾に合わせた。腐植区分図作成の当初の目的が土壤図の補完であるので、この土壤図を各図葉ごとにオーバーレイ・シートとして綴じ込んだ。本土壤腐植区分図のNo.12芽室・帯広図幅に対応する画像を写真1に示す。さらに、この図幅に対応する土壤図を図6に示す。

土壤腐植含量の推定において、各画素のTM3のCCT値をそのまま使う代わりに、 $\log TM3 - \log TM4$ 座標空間で頂点および各画素を通る直線とソイル・ラインとの交点の $\log TM3$ 座標を求めた。この値を使うことにより裸地だけでなく、秋播小麦畑や新しい牧草地のように植被率の低い畑地の腐植含量も植被の影響を除去して推定できた。

腐植区分図は1画素の大きさが25m四方で、縮尺1:50,000地図との重ね合わせの誤差が1画素以内(印刷時のズレは除く)で作成できた。一方、土壤図は500m四方(25ha)に1点の試坑に基づき地形を考慮して作られている場合が多いため、図6に示すように滑

図7 $\log$ (推定腐植含量%) と $\log$ (実測腐植含量%) との関係

- 1: 2: (6) - ① 黒色火山性土
3: (2) - ② 褐色火山性土
4: (13) - ① 沖積土
5: (13) - ② 沖積土
6: (2) - ① 褐色火山性土
7: (14) - ② 沖積土
8: (2) - ① 褐色火山性土

写真1 土壤腐植区分画像

No.12芽室・帯広幅、写真中に例として(1)―①褐色火山性土のくくり線を大まかに示した、同じ土壌型として分類されている地域でも実際には異なる腐植含量をもつ土壌が出現していることが見てとれる。

色 調	腐植含量(%)
アカ	0～2
オレンジ	2～5
キイロ	5～8
ミドリ	8～10
シアン	10～12
アオ	12～15
ムラサキ	15以上

らかな線で土壌統をくくってある。そのため、両者を重ね合わせてみると(写真1に例として(1)―①褐色火山性土のくくり線を示した)、同じ土壌統とされていたものも複数の腐植含量区分階級に分けられている。した

がって、土壤腐植区分図作成の当初の目的である土壌図の補完は達成されたものとする。

一般に腐植含量は階級区分が連続的に変化するが、場所によっては隣接する階級を越えて不連続に変化する

ることがある。例えば、腐植含量の多いところに極端に少ない土壤がある場合で、深耕により下層土が出現しているか、客土が考えられる。逆は、地形的にはくぼ地の場合が多い。

土壤図に示されているように帯広地域の土壤は火山性土、沖積土、泥炭土などから構成されている。logTM3とlog(腐植含量%)との関係のグラフは土壤型によらず直線になる⁹⁾ので、本研究ではどの土壤型も同じ推定式で腐植含量を推定した。推定した腐植含量の精度を検討するために、対象地域内の主な土壤型である褐色火山性土、黒色火山性土、沖積土の8地点から採取した土壤の腐植含量と推定値が一致するか否かを検討した。その結果、両者はほぼ1:1に対応し、相関係数は0.959と高かった(図7)。したがって、推定腐植含量を用いても精度上の問題はないと認められる。

写真1で黒い部分は、非裸地、または植被率が大きく判定されたために腐植含量の推定対象からはずれた画素である。土地被覆分類において市街地というカテゴリを設けなかったため、市街地が裸地または疎林に区分されて腐植含量の推定対象となってしまった。また、写真1には現れていないが、山頂付近の残雪の影響を完全に除去できなかったため、残雪の外縁部が腐植含量の推定対象になり、0~2%に区分された。これらは今後解決すべき問題である。さらに、植被率の大きい圃場(主に牧草地)が圃場単位で腐植含量の推定対象からはずれている。このような圃場に対しても有効な精度の高い腐植含量の推定方法の開発も今後の課題である。

ま と め

畑地灌漑や排水改良等土地基盤整備、土壤改良、作付け計画、肥培管理等に活用するために、ランドサットTMデータを用いて帯広地域の畑地を対象とした18図葉からなる縮尺1:50,000の土壤腐植区分図を作成した。本腐植区分図の特徴は①1画素の大きさが25

mであること、②腐植含量の割合を7レベルに区分したことである。腐植区分図と地図との重ね合わせの誤差は1画素以内である。腐植含量は1画素内の平均値を表している。したがって、本腐植区分図は土壤の特徴を圃場単位で把握でき、きめ細かな技術対策をたてる上で有効である。

謝 辞

本研究は北海道農業試験場畑土壤管理研究室西宗昭室長、新良力也研究員らとの共同研究の一環として行った。また、米林伸氏(現千葉県立中央博物館)、高山晴夫氏(現鹿島建設株式会社技術研究所)の協力を得た。ここに謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 福原道一(1975):土壤のリモートセンシング, リモートセンシング, キャノンイメージ, 165~178.
- 2) Fukuhara, M., Hayashi, S., Yasuda, Y., Asanuma, I., Emori, Y. and Iisaka, J. (1979): Extraction of soil information from vegetated area. Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium, 242~252.
- 3) 福原道一(1987):先端技術による日本農業の展開[1]——開発応用の現状——ランドサット利用による土壤の情報化とその応用, 農業および園芸, 62, 827~830.
- 4) 福原道一・西宗昭・畠中哲哉・斎藤元也・岡本勝男・新良力也・白崎公嗣・染井順一郎(1989):帯広地域土壤腐植区分図, 北海道開発局帯広開発建設部, 24pp.
- 5) 畠中哲哉・塩崎尚郎・福原道一・宮地直道・斎藤元也(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, 日本土壤肥科学雑誌, 60, 426~431.
- 6) 菊地晃二・関谷長昭・横井義雄(1973):十勝管内における土壤の分類・特徴及び改良法, 北海道十勝支庁.
- 7) 気象庁(1984):昭和59年5月全国気象表, 気象庁月報.
- 8) 気象庁(1985):昭和60年5月全国気象表, 気象庁月報.
- 9) 岡本勝男・福原道一・畠中哲哉(1990):帯広地域土壤腐植区分図の作成, 日本写真測量学会平成2年度年次学術講演会発表論文集, 13~18.
- 10) 志賀弘行・福原道一・小川茂男(1989):ランドサットTMデータによる湛水下水田の腐植含量推定, 日本土壤肥科学雑誌, 60, 432~436.
- 11) 真行寺孝・渡辺春朗・福原道一(1989):深耕による表土腐植含量の低下に関する調査——ランドサットTMデータによる解析——, 日本土壤肥科学会講演要旨集, 35, 10.