

近赤外分光法による土壌化学性診断の可能性

森次 真一・鷲尾 建紀・高原 知佳子*・大家 理哉・高野 和夫

The Possibility of Soil Diagnosis about Chemical Components by Near-Infrared Spectroscopy

Shinichi Moritsugu, Tatsuki Washio, Chikako Takahara, Masaya Ooya and Kazuo Takano

緒言

「新しい食料・農業・農村政策の方向」(1992年)のなかで、国が環境保全型農業を推進することを明記して以降、農業生産に係る取組全体が環境保全を重視したものに転換されつつある。一方で、環境保全型農業の土台となる農地土壌については、全国的な傾向として、堆肥等有機物施用量の減少により土壌中の有機物含量が低下傾向にあり、また、土壌養分については、土壌診断に基づかない施肥等の実施により塩基やリン酸等の養分の過剰や塩基バランスの悪化が顕著になるなど、地力の低下が顕在化し、土壌診断に基づいて適正に肥料や堆肥等を施用する必要性が指摘されている(「今後の環境保全型農業に関する検討会」報告書、2008年)。

岡山県では、土壌機能実態モニタリング調査等において、農業研究所と農業普及指導センターが連携し、県下の農耕地の土壌実態調査を実施している。その結果、県下の農耕地土壌においても全国的な傾向と同様に水田転換畑では有機物含量の低下、野菜畑や樹園地では養分バランスの悪化など、地力の低下が顕在化しており(岡山県農林水産部、2015)、土壌診断に基づく適正な土壌管理を推進していくことが不可欠と言える。土壌診断については、JA広域土壌分析センター、農業共済組合連合会、普及指導センター等で実施されているが、年間およそ2,000~3,000点程度(農地15~20haあたり1点程度)と推定され、適正な土づくりを

広く推進していくためには十分でなく、簡易な土壌診断方法の開発や診断体制の整備等が課題として考えられる。

現在、一般的に行われている土壌化学性の分析方法は、調整した風乾土壌に試薬等を加えて対象成分を抽出し、機器分析等によって成分毎に測定するため、1成分の測定に数時間から数日をも要する。また、測定する成分によっては毒・劇物を含む試薬の使用を伴い、分析操作にある程度の熟練が必要であるため、簡易迅速でより安全な分析手法の開発が必要と考えられる。

近赤外分光法は、近赤外域における化学成分の分子振動による光の吸収や拡散反射特性を利用した方法であり、農業分野では米、麦、大豆などのタンパク質測定や果物の糖度測定などですでに実用化されている(尾崎、2015)。近赤外分光分析は、試料1点当たり数分程度で複数の成分が分析できる特長があるため、極めて簡易迅速な手法として土壌分析への利用が期待される。また、毒・劇物等の試薬を使用しないため操作上の安全性が高く、廃液処理も不要である。

近赤外分光法を用いた土壌化学性の定量の可能性については、渡辺ら(1987)、松永・上沢(1992a)、田丸ら(1995)などが検討し、いずれも共通して全炭素、全窒素の定量の可能性を示唆している。また、松永・上沢(1992a)は、塩基交換容量(以下、CEC)についても、定量の可能性を示唆しているものの、その分析精度は土壌の種類に依存するため、各地の土壌を対象にする場合は、それぞれにおいて代表となる土壌試料

* 現石川県農林総合研究センター

群を用いて検量線を作成し、定量の可能性や分析精度を検討する必要があるとしている。つまり、地域が違えば、測定に使用する検量線や定量精度が異なる可能性がある。また、これら以外の土壌成分（可給態窒素や交換性塩基、可給態リン酸等）については、国内の土壌を対象に推定精度の詳細を報告した例はほとんどみられない。そこで、近赤外分光法による簡易で迅速な土壌診断手法を開発するために、本県の農耕地土壌を対象にして、近赤外分光法による化学性成分の推定精度及び簡易診断法としての可能性を検討した。

材料及び方法

1. 供試土壌

県内全域から採取した農耕地土壌試料1,153点を供試した。土地利用等の内訳は、水田626点（多湿黒ボク土65点、灰色台地土34点、グライ台地土82点、黄色土59点、褐色低地土61点、灰色低地土262点、グライ土63点）、野菜畑253点（黒ボク土45点、多湿黒ボク土10点、黒ボクグライ土5点、褐色森林土18点、灰色台地土4点、グライ台地土2点、黄色土74点、暗赤色土3点、褐色低地土66点、灰色低地土14点、グライ土2点、不明10点）、樹園地274点（黒ボク土9点、褐色森林土49点、灰色台地土10点、グライ台地土19点、黄色土86点、暗赤色土3点、褐色低地土3点、灰色低地土64点、グライ土7点、不明24点）であった。なお、土壌の種類は、土壌図等を基にして農耕地土壌分類第2次案により分類した土壌群名を表記した。

試料は、2mmで篩別した風乾細土を用い、各化学性成分含量や土地利用区分が偏らないように全試料を検量線作成用試料と評価用試料に2等分した（表1）。ただし、全炭素及び全窒素については全試料を供試したが、これら以外は、対象成分によって供試試料数を変えた。また、本報では、土壌試料を土地利用や土壌群でグループ分けせずに解析した。これは、供試土壌を細かくグループ分けすると、供試試料数が少ない土壌グループ

が生じ精度評価の信頼性が低下するためである。

2. 近赤外分光法による検量線作成及び推定精度の評価

1)各化学性成分の従来法による実測

全試料の各化学性成分の実測値については、「土壌、水質及び植物体分析法（2001）」に準じて分析した。つまり、全炭素及び全窒素については、NCアナライザー（住化分析センター、SUMIGRAPH NC-220F）を用いて乾式燃焼法で測定した。また、可給態窒素については、水田土壌の場合は湛水条件の30℃ 4週間で生成するアンモニウム態窒素、野菜畑及び樹園地土壌の場合は土壌水分を最大含水量の50%に調整した畑条件の30℃ 4週間で生成する無機態窒素をフローインジェクション（FOSS社、FIA5000）で測定した。CECについては、セミマイクロSchollenberger法により抽出したアンモニアをフローインジェクションで測定し、交換性塩基（石灰、苦土、加里）については、CEC測定の際に得られるpH7、1規定酢安浸透液を原子吸光度計（HITACHI社、Z-5300）で測定した。さらに、可給態リン酸については、トルオグ法により抽出発色後、分光光度計で測定した。ただし、全炭素及び全窒素は、粒径0.5mm未満に微粉砕した試料を供試した。なお、供試試料の化学性成分分析値の基本統計量を表2に示した。

2)近赤外分光法による検量線作成

検量線作成用試料を供試して、風乾細土約20gを専用セルに詰め、近赤外分光光度計（FOSS社、NIRSystems6500）を用いて可視領域を含む400～2,500nmの拡散反射スペクトルを測定した。土壌試料及び室温は約20℃とした。

測定したスペクトルはSavitsky-Golay法（尾崎ら、2007）により平滑化後、2次微分処理（segment20,gap0）を行い、450～2,450nmの波長範囲において化学性成分毎に検量線を作成した。検量線の作成に当たって、重回帰分析では説明変数間の多重共線性が生じる危険性が高いため、この問題を回避する目的で、PLS（Partial

表1 各化学性成分毎の供試試料数の内訳

| 分析項目 | (水田) | | (野菜畑) | | (樹園地) | | 全体 | |
|--------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| | 検量線用 | 精度評価用 | 検量線用 | 精度評価用 | 検量線用 | 精度評価用 | 検量線用 | 精度評価用 |
| 全炭素,全窒素 | 317 | 309 | 121 | 132 | 139 | 135 | 577 | 576 |
| 可給態窒素(湛水) | 280 | 281 | - | - | - | - | 280 | 281 |
| 可給態窒素(畑) | - | - | 125 | 129 | 90 | 85 | 215 | 214 |
| CEC | | | | | | | | |
| 石灰,苦土,加里 | 156 | 155 | 125 | 123 | 132 | 135 | 413 | 413 |
| 可給態リン酸,pH,EC | | | | | | | | |
| 無機態窒素 | - | - | 85 | 101 | 66 | 50 | 151 | 151 |
| 硝酸態窒素 | | | | | | | | |
| アンモニウム態窒素 | | | | | | | | |

Least Squares) 回帰分析を用いた(尾崎ら, 2007). PLS回帰分析では, PRESS (Prediction Residual Sam of Squares; 予測残差平方和)が最小値になるfactor (潜在変数, 因子) 数を採用し, 検量線を作成した. なお, PLS回帰分析には近赤外分析専用ソフトVisionを使用した.

3)推定精度の評価

拡散反射スペクトルによる各化学性成分の推定値は, 評価用試料を供試して, 前項2)と同じ条件で測定し, 前項2)で求めた検量線を使い算出した. 推定精度の評価は, Malley et al. (2004) 及びChang et al. (2001) が提案している精度評価のガイドラインを用いて評価した(表3, 表4). これらのガイドラインに用いられている各指標 (r^2 , RPD, RER) は, r^2 は各化学性成分の実測値と推定値の回帰分析の決定係数, RPDはSD (Standard Deviation; 評価用試料の各化学性成分値の標準偏差) とSEP (Standard Error of Prediction; 各化学性成分値の推定誤差の標準誤差) の比, RERはレンジ (各化学性成分の最小値と最大値の差) とSEPの比として, 次式を用いて計算した.

$$SEP = \sqrt{\{\sum(x-y)^2/(n-1)\}} \quad x:推定値, y:化学分析値, n:試料数$$

$$RDP = SD/SEP, \quad RER = \text{レンジ}/SEP$$

結果及び考察

1. 検量線の作成

検量線作成用試料の実測値(化学分析値)と各検量線による推定値(近赤外分光法による計算値)のFactor数, 重相関係数R, 推定誤差SECを表5に示した. 推定精度を重相関係数を基準にしてグループ分けすると, 重相関係数が0.8以上の成分は全炭素, 全窒素, 可給態窒素(湛水・畑), CEC, 0.6~0.8が交換性塩基(石灰・苦土・加里), 可給態リン酸, pH, 0.4~0.6がEC, 無機態窒素, 0.2~0.4が硝酸態窒素, 0.2未満がアンモニウム態窒素であった.

PLS回帰分析では, Factorを1から順次増やししながら, PRESSの減少が有意でなくなった時点を最適Factor数として決定している. このため, 最適Factor数が多いほど推定誤差が小さく, 重相関係数も高かった. 従って, 最適Factor数が多く, 重相関係数が高い全炭素,

表2 供試土壌の化学性成分の基本統計量

| 分析項目 | (単位) | 平均 | 標準偏差 | 最小 | 最大 |
|-----------|---------------------------------------|-------|-------|------|--------|
| 全炭素 | (gkg ⁻¹) | 23.1 | 19.2 | 0.6 | 163.0 |
| 全窒素 | (gkg ⁻¹) | 2.0 | 1.3 | 0.2 | 11.5 |
| 可給態窒素(湛水) | (mgkg ⁻¹) | 133 | 58 | 23 | 326 |
| 〃 (畑) | (mgkg ⁻¹) | 43 | 35 | 1 | 234 |
| CEC | (cmol _c kg ⁻¹) | 17.8 | 8.8 | 2.7 | 55.6 |
| 交換性石灰 | (mgkg ⁻¹) | 3,203 | 1,904 | 171 | 15,658 |
| 〃 苦土 | (mgkg ⁻¹) | 480 | 346 | 19 | 2,481 |
| 〃 加里 | (mgkg ⁻¹) | 490 | 508 | 11 | 4,125 |
| 可給態リン酸 | (mgkg ⁻¹) | 913 | 1,212 | 7 | 8,535 |
| pH | (H ₂ O) | 6.2 | 0.8 | 4.0 | 8.2 |
| EC | (dSm ⁻¹) | 0.11 | 0.13 | 0.02 | 1.52 |
| 無機態窒素 | (mgkg ⁻¹) | 60 | 139 | 4 | 1,323 |
| 硝酸態窒素 | (mgkg ⁻¹) | 52 | 123 | 1 | 1,016 |
| アンモニウム態窒素 | (mgkg ⁻¹) | 8 | 28 | 1 | 476 |

^z 全試料: 検量線作成用試料及び精度評価用試料

表5 近赤外分光法による検量線作成精度

| 分析項目 | (単位) | Factor | R | SEC |
|-----------|---------------------------------------|--------|-------|------|
| 全炭素 | (gkg ⁻¹) | 16 | 0.950 | 6.0 |
| 全窒素 | (gkg ⁻¹) | 15 | 0.931 | 0.5 |
| 可給態窒素(湛水) | (mgkg ⁻¹) | 10 | 0.890 | 27 |
| 〃 (畑) | (mgkg ⁻¹) | 11 | 0.904 | 15 |
| CEC | (cmol _c kg ⁻¹) | 15 | 0.917 | 3.5 |
| 交換性石灰 | (mgkg ⁻¹) | 6 | 0.651 | 1460 |
| 〃 苦土 | (mgkg ⁻¹) | 9 | 0.766 | 225 |
| 〃 加里 | (mgkg ⁻¹) | 8 | 0.663 | 418 |
| 可給態リン酸 | (mgkg ⁻¹) | 12 | 0.776 | 722 |
| pH | (H ₂ O) | 8 | 0.662 | 0.6 |
| EC | (dSm ⁻¹) | 5 | 0.464 | 0.13 |
| 無機態窒素 | (mgkg ⁻¹) | 2 | 0.428 | 118 |
| 硝酸態窒素 | (mgkg ⁻¹) | 2 | 0.341 | 138 |
| アンモニウム態窒素 | (mgkg ⁻¹) | 1 | 0.102 | 37 |

表3 Malley et al.(2004)のガイドライン

| 指標 | | | 評価 |
|-----------|------------------|------------------|-----------------------|
| r^2 | RPD ^z | RER ^y | |
| 0.95< | 4< | 20< | excellent |
| 0.90-0.95 | 3-4 | 15-20 | successful |
| 0.8-0.9 | 2.25-3 | 10-15 | moderately successful |
| 0.7-0.8 | 1.75-2.25 | 8-10 | moderately useful |
| <0.7 | <1.75 | <8 | screening |

^z RPD=SD/SEP

^y RER=レンジ/SEP

表4 Chang et al.(2001)のガイドライン

| 指標 | | 評価 |
|---------|------------------|-------------|
| r^2 | RPD ^z | |
| 0.8< | 2.0< | successful |
| 0.5-0.8 | 1.4-2.0 | possibility |
| <0.5 | <1.4 | not useful |

^z RPD=SD/SEP

全窒素, 可給態窒素 (湛水・畑), CECにおいては, スペクトルにこれらの成分と相関の高いバンドが多く存在し, 高い精度で推定できる検量線が作成されたものと考えられた。

2. 化学性成分の推定精度と簡易土壌診断法としての可能性評価

評価用試料の近赤外分光法による化学性成分実測値の推定精度を表6及び図1に示した。

全炭素, 全窒素は, 他の成分に比べて推定精度が高く, 推定値と実測値の回帰分析の決定係数 r^2 は0.8以上, RPD(SDとSEPの比)が2.5以上, RER(レンジとSEPの比)が20以上であった。次いで, 可給態窒素(湛水及び畑条件), CECの推定精度が高く, r^2 がおおむね0.7~0.8, RPDが1.8~1.9, RERが9~11であった。さらに, 可給態リン酸については, r^2 が0.51, RPDが1.4, RERが9.1であり, その他の成分については, r^2 が0.5未満, RPDが0.9~1.3, RERが5~10であった。

次に, Malley et al. (2004) 及びChang et al. (2001) が提案している精度評価のガイドラインを適用して, 各成分の推定精度について実用性を評価した(表6)。近赤外分光法による推定精度の評価基準は, 国内では, 牧草の成分分析において水野ら(1987)が提案した基準があるものの, 土壌分析における評価基準は見当たらない。Malley et al. (2004) は, 土壌は食品や飼料等に比べて内容物が不均一で複雑であるため, 特に土壌や堆肥等の環境試料に適用すべきガイドラインを提案している。また, Chang et al. (2001) も土壌分析における精度評価の指標を示しており, 本報ではこれら2つのガイドラインを用いた。その結果, Malley et al. (2004) の基準を適用すると, "moderately

successful"と評価された成分が, 全炭素, 全窒素, "moderately useful"と評価された成分が, 可給態窒素(湛水及び畑条件), CEC, その他の成分は"screening"と評価された。また, Chang et al. (2001) の基準を適用した場合, "successful"と評価された成分が, 全炭素, 全窒素, "possibility"と評価された成分が, 可給態窒素(湛水及び畑条件), CEC, 可給態リン酸, その他の成分は"not useful"と評価された。

実用性の評価は, 化学分析値のレンジやバラつきに対する近赤外分光法による推定誤差の大きさ, あるいはSEP自体の大きさ等を考慮し, 判定する必要があると考えられる。両者のガイドラインは, レンジやバラつきに対する推定誤差の大きさ等を考慮できるように複数の統計的指標を用いて推定精度を評価しており, 本報での精度評価に当たって次の様に有効に活用できるものと考えられた。

すなわち, 全炭素及び全窒素については, 上記の2つのガイドラインによる評価結果及びSEPの大きさから, 簡易診断手法として実用性があるものと判断された。全炭素及び全窒素については, 多くの報告で実用性が示唆されており(渡辺ら, 1987; 松永・上沢, 1992a; 田丸ら, 1995), 岡山県下の土壌を供試した本報においても同様の結果であった。近赤外スペクトルでは, 炭素や窒素を含む官能基に由来するバンドが多数観測されること(尾崎, 2015), 腐植に由来するバンドが確認されていること(松永・上沢, 1992b), 他の成分に比べて含有量が多いことから, 精度よく推定されるものと考えられた。

可給態窒素については, 湛水条件・畑条件のいずれにおいても全炭素, 全窒素より推定精度が劣ったが, おおまかに診断するための簡易手法として実用化の可

表6 近赤外分光法による土壌化学性成分値の推定精度

| 分析項目 | (単位) | 推定精度(評価用試料) | | | | 各ガイドラインによる精度評価 | |
|-----------|---------------------------------------|-------------|------|-----|------|----------------------------|---------------------------|
| | | r^2 | SEP | RPD | RER | Malley et al. ^z | Chang et al. ^y |
| 全炭素 | (gkg ⁻¹) | 0.868 | 6.7 | 2.7 | 24.2 | moderately successful | successful |
| 全窒素 | (gkg ⁻¹) | 0.840 | 0.5 | 2.5 | 21.0 | moderately successful | successful |
| 可給態窒素(湛水) | (mgkg ⁻¹) | 0.697 | 32 | 1.8 | 9.4 | moderately useful | possibility |
| 〃 (畑) | (mgkg ⁻¹) | 0.731 | 19 | 1.9 | 9.3 | moderately useful | possibility |
| CEC | (cmol _c kg ⁻¹) | 0.726 | 4.7 | 1.9 | 10.6 | moderately useful | possibility |
| 交換性石灰 | (mgkg ⁻¹) | 0.366 | 1526 | 1.2 | 8.0 | screening | not useful |
| 〃 苦土 | (mgkg ⁻¹) | 0.458 | 258 | 1.3 | 7.9 | screening | not useful |
| 〃 加里 | (mgkg ⁻¹) | 0.389 | 373 | 1.2 | 9.1 | screening | not useful |
| 可給態リン酸 | (mgkg ⁻¹) | 0.510 | 907 | 1.4 | 9.1 | screening | possibility |
| pH | (H ₂ O) | 0.270 | 0.7 | 1.2 | 5.9 | screening | not useful |
| EC | (dSm ⁻¹) | 0.191 | 0.10 | 1.0 | 10.3 | screening | not useful |
| 無機態窒素 | (mgkg ⁻¹) | 0.056 | 146 | 1.0 | 9.0 | screening | not useful |
| 硝酸態窒素 | (mgkg ⁻¹) | 0.092 | 97 | 1.0 | 8.4 | screening | not useful |
| アンモニウム態窒素 | (mgkg ⁻¹) | 0.002 | 12 | 0.9 | 7.7 | screening | not useful |

^z r^2 , RPD, RERによる実用性の評価

RPD=SD/SEP, RER=レンジ/SEP

^y r^2 , RPDによる実用性の評価

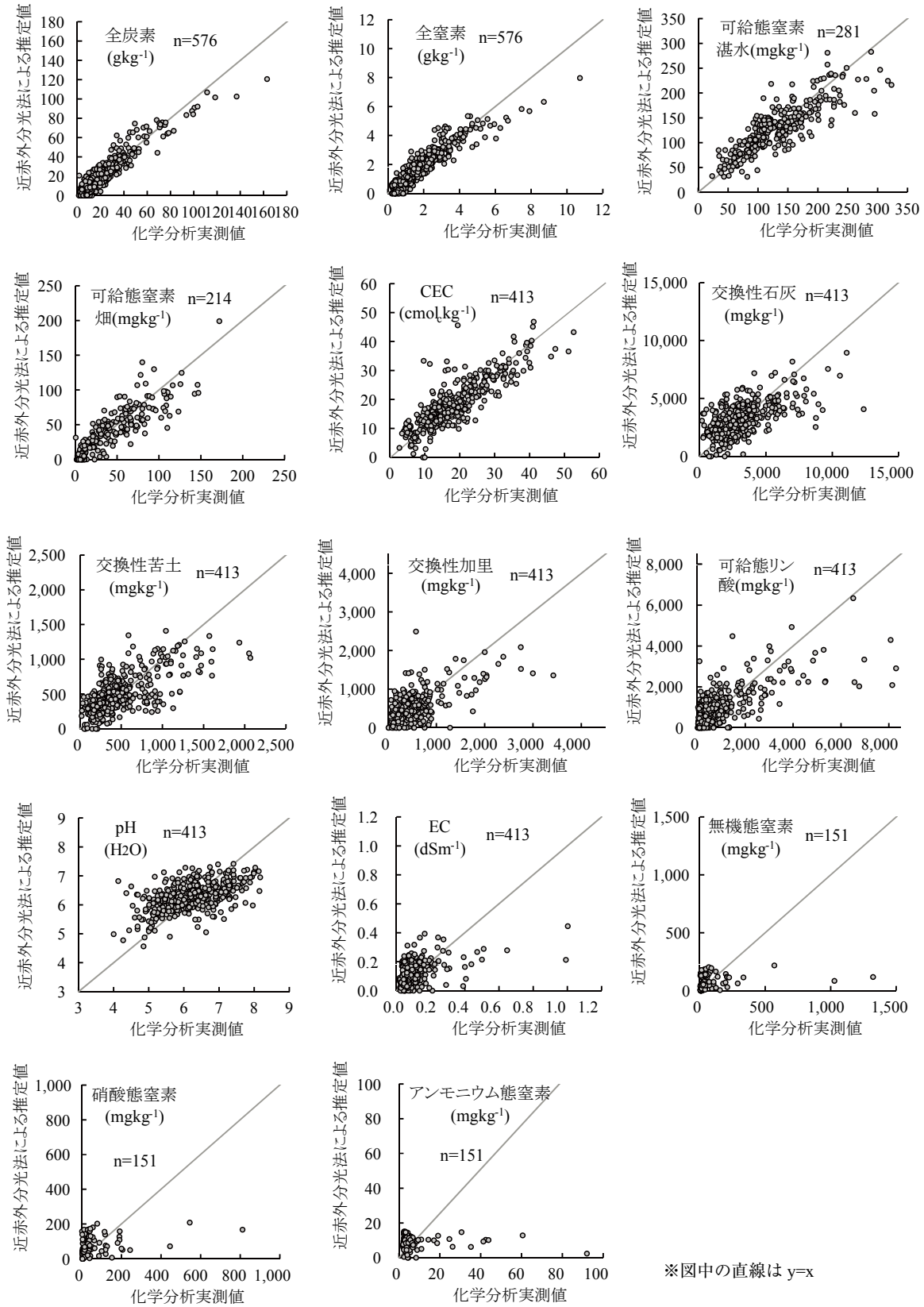


図1 近赤外分光法による土壌化学性成分値の推定精度(評価用試料)

能性が示唆された。可給態窒素の推定精度について、湛水条件では、佐藤ら（1997）が傾向値として利用できる程度の精度であったとし、畑条件では、松永・上沢（1992a）が高い分析精度を必要としない場合は定量法としての利用の可能性を示唆している。可給態窒素は、全窒素に比べて含有量が微量であるため、一般的に近赤外分光法では高精度での推定が難しいと考えられるが、PLS回帰分析を用いて検量線を作成することで、全波長の中から窒素無機化に関係する窒素結合や炭素結合に由来する複数のバンドをうまく組み合わせる可能性が考えられ、これによって簡易診断法としての可能性が期待できる精度が得られたものと考えられた。特に、従来法では診断に4週間の培養期間を要することから、迅速な診断法として、今後施肥設計への利用が期待される。これまでに、県内では飼料用稲栽培で推定値を用いた施肥設計手法を提案しており（大家ら、2013）、現在は、より高い精度が求められる食用稲栽培においても施肥設計手法を検討中である。

CECについては、全炭素、全窒素より推定精度が劣ったが、可給態窒素と同等であり、おおまかに診断するための簡易手法として実用化の可能性が示唆された。CECは、有機物含量の多少、粘土鉱物の種類や量によってその値が左右される。近赤外領域では、腐植や粘土鉱物に由来するバンドが確認されていること（松永・上沢、1992b）、十勝地方の土壌においても一定の精度でCECの定量が可能であったこと（松永・上沢、1992a）から、腐植や粘土含量から間接的にCECを導き出している可能性が高いと考えられた。

可給態リン酸については、Malley et al.（2004）の基準では“screening”、Chang et al.（2001）の基準では“possibility”と若干異なる評価であったが、SEPが 907mgkg^{-1} と大きいと判断された。Malley et al.（2004）は、近赤外分光法による土壌分析に関するレビューのなかで、リン酸については暫定的に幾つかの波長が当てはめられているが、大半の報告でリン酸の推定精度は低いとしている。トルオグリン酸については、松永・上沢（1992a）の報告があるが、本報と同様に推定精度は高くなかった。

交換性塩基（石灰、苦土、加里）については、いずれも実用化の可能性が低い精度であった。松永・上沢（1992a）は十勝地方の畑土壌を供試し定量の可能性を判断した結果、推定値と実測値の相関係数はいずれも0.7未満と小さく、定量は困難と判断している。一

方、海外では、Dunn et al.（2002）が、オーストラリアの沖積土壌を供試し、高い精度で交換性石灰及び苦土を推定できたことを報告している。また、Malley et al.（2004）は、加里については r^2 が0.5前後の報告が多く、一般的に近赤外分光法による定量は難しいとしているが、石灰及び苦土については、推定精度が高い事例が多く、これら成分と炭酸塩との相関関係が推定精度に寄与している可能性を示唆している。本報では、炭酸塩の影響について検討しておらず、今後の課題と考えられる。

pHについては、松永・上沢（1992a）の報告と同様に実用化の可能性が低い推定精度であった。Malley et al.（2004）は、近赤外領域では水素イオン自体の吸収は認められず、pHは、OH基、あるいは炭酸塩などの吸収を介して導き出されると推察し、上手く推定されることは稀であるとしている。pHについては従来法でも分析に要する手間が問題にならないことから、近赤外分光法の簡易診断法としての実用性は低いと考えられた。また、ECについても従来法が簡便であること、推定精度が低いことから、pHと同様に実用性は低いと判断された。

無機態窒素（硝酸態窒素、アンモニウム態窒素を含む）については、実用化の可能性が認められる精度は得られなかった。近赤外領域では、窒素結合に帰属されるバンドが存在するが、無機態窒素は全窒素や可給態窒素に比べて明らかに推定精度が低かった。無機態窒素は全窒素の0.4～3%程度しか含まれておらず（表4）、水や有機物由来のバンドに干渉されたり、有機態窒素の吸収に容易に隠されてしまうのではないかと推測されている（Malley et al., 2004）。また、無機態窒素は、含有量自体は可給態窒素と大きな差はないが（表4）、前述の様に可給態窒素は一定期間に無機化する窒素量を推定対象にしており、窒素結合だけでなく、炭素結合等に帰属するバンドも使用している可能性が高いのに対し、無機態窒素は測定時に含まれる画分が推定対象であるため精度が低いのではないかと推測された。

以上から、岡山県内の農耕地土壌を対象にして、近赤外分光法による化学性成分の推定精度と本法の土壌の簡易診断法としての可能性について検討した結果、全炭素及び全窒素において簡易診断法としての実用性が認められ、可給態窒素及びCECにおいてはその実用化の可能性が示唆された。

摘要

近赤外分光法による簡易で迅速な土壌診断手法を開発するために、岡山県下の農耕地土壌を供試して、近赤外分光法による化学性成分の推定精度と簡易診断法としての実用性について検討した。

1. 県下の水田、野菜畑及び樹園地土壌を供試し、近赤外分光光度計を用いて風乾細土の400～2,500nmの拡散反射スペクトルを測定し、PLS回帰分析により検量線を作成した。
2. 土壌は全体で1,153点(11土壌群)を供試し、各成分毎に約半分の試料で検量線を作成し、残り半分で推定精度を評価した。精度評価には、Malley et al. (2004) 及びChang et al. (2001) が提案している判定基準を適用した。
3. 作成した検量線による推定精度は、全炭素及び全窒素(いずれもn=561)については、 r^2 が0.8～0.9、RPDが2.5～2.7、RERが21.0～24.2であり、最も推定精度が高く、簡易診断手法として実用性が認められた。可給態窒素(湛水n=281、畑条件n=214)及びCEC(n=413)については、 r^2 がおおむね0.7～0.8、RPDが1.8～1.9、RERが9～11であり、実用化の可能性が示唆された。
4. 可給態リン酸、交換性塩基(石灰、苦土、加里)、pH、EC(以上いずれもn=413)、無機態窒素(n=151)については、 r^2 が0.5以下、RPDが0.9～1.4、RERが5～10の範囲にあり、推定精度が低く実用化は難しいと考えられた。

引用文献

- Chang, C.-W., D. A. Laird, M. J. Mausbach, and C. R. Hurburgh, Jr. (2001) Near-Infrared Reflectance Spectroscopy-Principal Components Regression Analyses of Soil Properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65: 480-490.
- Dunn, B. W., G. D. Batten, H. G. Beecher, and S. Ciavarella (2002) The potential of near-infrared reflectance spectroscopy for soil analysis - a case study from the Riverine Plain of south-eastern Australia. *Aust. J. Exp. Agric.*, 42(5): 607-614.
- Malley, D., Martin, P., and Ben-Dor, E. (2004) Application in analysis of soils. In Roberts, C., Workman, J., Reeves III, J. (ed.) *Near Infrared Spectroscopy in Agriculture. A Three Society Monograph (ASA, SSSA, CSSA)*, Madison, WI, p. 729-784.
- 松永俊朗・上沢正志 (1992a) 近赤外分析法の土壌の理化学的性質定量への適用. *土肥誌*, 63: 712-714.
- 松永俊朗・上沢正志 (1992b) 畑土壌の近赤外拡散反射スペクトル. *土肥誌*, 63: 403-410.
- 水野和彦・石栗敏機・近藤恒夫・加藤忠司 (1987) 近赤外線反射率測定法による乾草の成分および栄養価の推定 I 成分および栄養価の推定精度とその評価. *草地試験場研究報告*, 38: 35-46.
- 日本土壌協会編 (2001) 土壌機能モニタリング調査のための土壌、水質及び植物体分析法. 日本土壌協会, 東京, 322p.
- 農林水産省 (2008) 「今後の環境保全型農業に関する検討会」報告書. http://www.maff.go.jp/j/study/kankyohozen/pdf/h2004_report.pdf (2015.7検索)
- 岡山県農林水産部 (2015) 土壌診断と土づくりの手引き. http://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/423596_2722881_misc.pdf (2015.7検索)
- 大家理哉・森次真一・鷺尾建紀・高津あさ美・高原知佳子・藤本寛・亀井雅浩・石橋英二・高野和夫 (2013) 飼料用稲栽培において土壌可給態窒素量と堆肥窒素肥効を考慮した施肥窒素量の決定方法. *土肥誌*, 84: 394-398.
- 尾崎幸洋・宇田明史・赤井俊雄 (2007) 化学者のための多変量解析-ケモメトリックス入門. 講談社サイエンティフィック, 東京, 168p.
- 尾崎幸洋編 (2015) 近赤外分光法. 講談社, 東京, 278p.
- 佐藤強・豊川泰・小松正孝・上原敬義 (1997) 近赤外分光分析法による可給態窒素量の迅速測定. *土肥要旨集*, 43: 17.
- 田丸浩幸・三浦周・稲津脩 (1995) 近赤外分析装置を用いた土壌の化学的成分定量の可能性. *土肥要旨集*, 41: 277.
- 渡辺和彦・津高寿和・藤中邦則 (1987) 近赤外分光法による土壌養分分析の可能性の検討. *土肥要旨集*, 33: 14.

Summary

Agricultural soil in Okayama prefecture was tested, and the estimation accuracy of chemical components was examined through near-infrared spectroscopy (NIRS), to examine its practicability as a simple diagnosis method for the development of simple and rapid soil diagnosis procedures by NIRS.

1. By testing the soil of the paddy fields, vegetable fields, and orchard fields in Okayama prefecture, the diffuse reflectance spectrum of air-dried soil (2mm>) from 400 to 2,500 nm was measured using a near infrared spectrophotometer. A calibration curve was also prepared through PLS regression analysis.
2. In total, 1,153 samples of soil (11 soil groups) were tested. A calibration curve was prepared with approximately half the amount of the samples for each component, while the other half was used for the evaluation of the estimation accuracy. For the accuracy evaluation, the determination criteria proposed by Malley et al. (2004) and Chang et al. (2001) were applied.
3. The estimation accuracy of the calibration curve indicated that, regarding total carbon and total nitrogen (n=561 for both), r^2 was 0.8-0.9, RPD was 2.5-2.7, and RER was 21.0-24.2, which showed the highest estimation accuracy, and its practicability was acknowledged as a simple diagnosis method. Regarding the available nitrogen (for anaerobic incubation n=281, for aerobic incubation n=214) and CEC (n=413), it was indicated that r^2 was approximately 0.7-0.8, RPD was 1.8-1.9, and RER was 9-11, where the possibility of practical application was suggested.
4. Regarding available phosphate (Truog P), exchangeable base (Ca, Mg, K), pH, EC (n=413 for both), and inorganic nitrogen (n=151), it was indicated that r^2 was 0.5 or less, RPD was 0.9-1.4, and RER was in the scope of 5-10, and was considered to have low estimation accuracy and thus present difficulty in practical application.