

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：82105

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26660132

研究課題名(和文)近赤外反射分光法による森林土壌の土壌型判定法と土壌炭素濃度推定法の開発

研究課題名(英文)A novel method for estimating soil group and soil carbon content using near-infrared reflectance spectroscopy

研究代表者

石塚 成宏 (Ishizuka, Shigehiro)

国立研究開発法人 森林総合研究所・立地環境研究領域・室長

研究者番号：30353577

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：近赤外反射スペクトル測定を利用した土壌型判定手法および土壌炭素濃度推定手法を開発することを目的とした。全国から収集した約2300個の土壌サンプルを対象に、近赤外反射スペクトルを採取した。これらのデータについて多変量解析を行った。その結果、性質が大きく異なる土壌型の土壌はスペクトルの主成分因子2つを使用して区別できる可能性があったが、土壌の大半を占める褐色森林土がこれらの土壌と区別できなかった。従って、反射スペクトルによる土壌型判別は、現時点では不可能であった。土壌の炭素含量はPLS回帰によって77%の変動を予測できた。シュウ酸可溶アルミニウム・ケイ酸量も同程度の精度で予測が可能であった。

研究成果の概要(英文)：Our objectives is to make a novel method to estimate the soil group and carbon content of a soil by the measurement of near-infrared reflectance spectrum of the soil sample. We took near-infrared reflectance spectra for about 2,300 soil samples collected from whole country-wide range of Japan. We had conducted multivariable analysis with the spectrum and the sub-data set of the soil. With regard to the soil group estimation, we can distinguish between two soil groups the characteristics of which are remarkable different. But the dominant soil group of Brown Forest Soil can not be distinguished from other soil group. Therefore, the soil group can not be identified by the measurement of near-infrared spectrum. The soil carbon content can be estimated by the partial least square (PLS) regression ( $R^2=0.77$ ). The oxalate extractable aluminum and silicon can also be estimated as the same precision as the soil carbon estimation.

研究分野：森林土壌

キーワード：近赤外分光分析 ケモメトリックス 土壌型判定 土壌炭素 土壌化学性 森林土壌

1. 研究開始当初の背景

世界的な土壌分類は、土壌の分析値を元に行われるアメリカの Soil Taxonomy と比較的視覚的に決定できるように作成された FAO の World Reference Base の二つが主流である。しかし、これらの分類は比較的大雑把な分類であり、日本の森林土壌に当てはめるとほとんどが3種類程度に該当してしまって、現場からの細かい要望に応えることができない。そこで我が国の研究者によって、その場所で成長の良い樹種を決定することを目的に独自の森林土壌分類が作成されている。例えば、乾燥している乾性褐色森林土には多くの水を要求するスギは植林樹種として適しておらず、ヒノキやアカマツが適しており、湿性褐色森林土には病気が発生しやすいためヒノキは適しておらず、スギが適しているなど、土壌型は植林樹種決定に大きく貢献してきた。これらの土壌型の判定には専門的知識を習得しなければならず、このことが土壌分類の普及の大きな障害となっている。

一方で、これら土壌型の分化に関しては植物遺体の分解の速度や、水分状況、母材となる岩石や火山灰の性質などが影響しており、これらの違いによってそれぞれの土壌に含まれる有機物は特徴的な性質を示すと考えられる。従って、これらの土壌有機物の性質を基に土壌型を分類できる可能性はあるものの、広範囲に集められた土壌型既知のサンプルが取られたことがなかったことや、これら有機物の性質を簡易に測定する方法が知られていなかったことなどから、今までサンプルを基に土壌分類を行うことは試みられなかった。

2. 研究の目的

土壌型既知の土壌サンプルの近赤外反射スペクトルを基に、土壌分類を行うことができるかを検証する。さらにこれらのサンプルの炭素含有量も既知であるため、同じスペクトルで炭素含有量を推定できるかも試みる。

もしこれが可能になれば(1)専門的知識による現地での判定ではなく、事後の分析値によって土壌型の判定が行える、(2)土壌について学習していないユーザーでも、サンプルを事後に分析することによって土壌型判定を行える、(3)1サンプル当たり2分程度で判定が可能になるなどのメリットがある。また、簡易に土壌分類ができるようになれば、土壌の諸性質のデータベースに事後に土壌型の情報を付加することが可能になり、さらに土壌型情報の価値が高まることも期待できる。

3. 研究の方法

2006年から2010年の期間に収集された、全国約2500地点の土壌サンプルのうち、土壌型が判定されかつ土壌炭素濃度が明らかな800地点・2500個程度の土壌サンプルを、近赤外反射分光法に適用できるように整理・前

処理する。これらのサンプルについて近赤外反射スペクトルを採取し、専用の統計解析をおこなう。これにより、土壌型を従属変数とした判別アルゴリズムと土壌炭素濃度を従属変数とした回帰モデルを作成する。

4. 研究成果

(1) 用いた試料

全国から収集された3万5千点あまりのサンプルから、土壌型が判定されかつ土壌炭素濃度が明らかな2300個程度の土壌サンプルを抽出し(表-1)近赤外反射分光法に適用できるように整理した。これらのうち粒径が粗いものについては、めのう乳鉢による粉碎処理を行い粒径を統一した。これらのサンプルについて近赤外反射スペクトルの採取をおこなった。一部のサンプルについては、過去の炭素含量の分析値が間違っていたため、再分析をおこなった。

表-1 分析に使用したサンプルの性質一覧

行ラベル	データの 個数 / No	平均/ C(g kg- 1)	平均/ N(g kg- 1)	平均/ pH(H2O)	平均/ CEC(omol c.kg-1)	平均/ Ca omol/kg	平均/ Al(μg g)	平均/ Si(μg/kg)
BFS_dry	284	41.3	3.0	4.8	20.6	2.1	10.1	2.2
A	124	65.7	4.5	4.9	23.0	3.1	10.0	1.9
B	148	23.0	1.8	5.0	18.8	1.3	10.3	2.5
C	9	18.3	1.5	5.1	16.8	1.5	7.8	1.5
Z	3	10.2	1.2	4.8	21.9	0.0	6.6	0.6
BFS_moliet	846	43.8	3.1	5.1	21.8	3.3	10.6	2.8
A	390	72.3	4.8	5.0	25.1	4.3	9.5	1.8
B	473	25.3	2.0	5.1	19.6	2.4	11.7	3.2
C	73	12.5	1.1	5.2	18.3	3.8	8.2	2.1
G	2	62.6	3.8	5.1	28.8	5.1	4.1	0.4
O	2	10.3	1.9	5.3	21.4	10.2	2.9	0.7
Z	5	22.7	1.7	4.5	22.8	4.4	17.7	5.3
BFS_wet	48	60.8	3.4	6.2	28.0	4.0	16.0	3.8
A	23	76.5	4.7	5.0	29.7	4.2	11.5	1.6
B	24	24.7	2.0	5.4	22.3	3.9	17.5	5.9
Z	1	84.1	4.9	4.8	37.2	0.2	30.6	5.1
BL	268	60.4	3.8	6.3	22.2	3.1	21.6	8.2
A	118	78.7	5.3	5.2	26.2	4.0	19.9	6.3
B	116	26.0	2.1	5.5	18.8	2.0	24.0	10.3
C	17	22.6	1.8	5.6	16.4	2.6	20.7	9.3
W	3	58.6	3.4	5.4	26.0	17.3	1.0	0.2
Z	2	9.4	1.2	4.7	23.8	0.2	9.1	1.6
dBFS	10	66.8	4.0	6.3	18.7	2.3	10.7	1.6
A	3	66.6	5.6	5.3	18.1	4.6	4.4	0.3
B	6	56.6	3.5	5.3	20.6	1.3	13.4	1.9
C	1	20.0	2.0	5.0	19.1	1.9	12.9	2.7
DR	6	66.7	2.2	4.4	22.7	0.2	6.7	0.6
A	2	78.1	4.8	4.2	24.6	0.4	6.9	0.4
B	3	7.4	0.5	4.5	21.4	0.1	4.9	0.5
ETC	63	32.6	2.6	6.1	18.8	3.2	7.4	2.2
A	25	53.9	3.8	5.0	19.9	3.6	9.6	3.0
B	25	13.8	1.4	5.2	15.6	2.5	5.5	1.6
C	3	4.8	0.6	5.4	35.9	6.6	5.7	1.0
GL	81	87.8	2.6	4.8	18.2	1.8	8.7	2.7
A	12	67.9	4.3	4.7	24.1	1.5	11.0	3.0
B	15	22.0	1.7	4.9	16.2	2.6	8.1	3.0
C	1	15.1	1.2	4.8	33.1	1.8	7.3	0.6
Z	3	4.9	0.4	4.5	9.9	0.0	2.8	0.2
IM	116	41.2	2.8	6.3	18.1	3.9	9.8	2.7
A	38	72.7	4.9	5.3	21.1	6.0	8.4	2.0
B	58	31.2	2.1	5.3	18.4	3.5	11.7	3.2
C	13	6.1	0.5	5.8	11.8	1.0	4.9	2.6
Z	6	12.6	1.5	5.3	11.4	0.4	8.1	3.7
IBL	68	61.8	3.3	6.1	27.3	3.0	18.2	8.3
A	30	82.8	5.0	5.0	32.8	3.5	18.3	4.8
B	28	20.5	1.6	5.2	22.3	2.6	20.6	8.2
C	1	5.4	0.7	5.1	9.9	0.2	3.3	0.6
NA	7	24.6	2.3	6.8	18.9	8.4	7.6	2.7
A	3	43.2	3.6	5.6	19.1	12.3	5.0	1.8
B	4	10.4	1.3	5.9	15.2	7.2	9.3	3.4
PT	18	40.6	3.1	6.2	23.3	2.7	18.2	8.4
A	8	65.0	4.8	5.1	31.1	3.3	14.8	4.9
B	9	26.1	2.1	5.1	17.6	2.6	18.2	8.1
C	2	7.7	1.0	5.9	17.7	0.8	41.1	23.3
PZ_drv	28	47.8	3.0	6.2	20.0	0.7	13.1	3.4
A	8	100.3	6.1	4.5	29.4	0.6	12.7	2.3
B	14	33.6	2.4	5.2	21.4	0.6	15.5	3.5
C	4	12.0	0.5	6.5	6.8	1.6	10.4	5.9
G	2	5.8	0.3	4.8	5.6	0.0	4.0	1.1
PZ_wet	28	82.8	4.8	4.8	28.2	0.6	28.6	6.8
A	10	119.6	6.4	4.6	30.8	0.3	13.9	1.9
B	13	93.0	4.8	4.8	29.8	0.3	29.9	7.0
C	2	22.2	1.8	5.3	14.2	0.3	18.7	5.4
E	1	42.2	2.9	5.6	16.8	1.4	17.5	5.3
Z	2	52.5	2.7	5.5	25.2	2.1	32.3	10.4
RY	78	28.3	2.1	4.8	18.0	2.4	2.8	0.2
A	30	54.7	3.5	4.8	26.1	5.0	3.4	0.3
B	36	10.6	1.1	4.7	15.1	0.6	2.7	0.2
C	7	6.4	1.1	4.8	8.1	0.4	1.9	0.2
ryBFS	267	32.8	2.3	4.9	18.6	2.1	4.8	0.8
A	98	66.1	4.1	4.8	22.2	3.5	5.4	0.5
B	149	12.8	1.2	4.9	16.5	1.3	4.7	0.7
C	10	6.1	1.0	4.9	13.5	1.7	3.6	0.5
合計	2218	43.0	3.0	5.1	21.2	2.9	11.3	3.1

(2) 測定条件

スペクトルはサーモサイエンティフィック社の Nicolet6700 に Smart UpDRIFT を取り付けた物を使用した。波長 1~2.5 μm の反射スペクトルを採取した。スペクトルは 100 回の測定を 2~3 回繰り返し、平均したものを記録した。用いた試料はすでに各種属性値が測定されており、土壌型、炭素・窒素含量、pH、CEC、各種置換性塩基類濃度、形態別鉄アルミ濃度(シュウ酸可溶、ピロリン酸可溶、ジチオナイト可溶)との関係を解析した。これらの解析はカモソフトウェア社のアンスクランブラーで行った。

(3) スペクトルの前処理と統計処理

得られたスペクトルは、クベルカムンク関数により反射率から吸光度に変換したのち、SNV (Standard Normal Variate) 処理で散乱補正をし、その後サビツキ - ゴーレイ (窓=25) によるスムージングを経て、2 次微分したものを統計処理に使用した。PLS 回帰では、サンプルを 20 分割したものを元にクロスバリデーションを行い、検量線の安定性を評価した。

(4) 結果

性質が大きく異なる土壌型同士 (例えば、赤黄色系褐色森林土 (図中緑) と黒色土 (図中赤)) ではスペクトルの主成分因子 2 つを使用して区別できる可能性があったが、土壌の大半を占める褐色森林土 (図中青) がこれらの土壌と区別できないことが明らかになった (図-1)。この結果から、反射スペクトルによって土壌型を区分することは現時点では不可能と判断した。

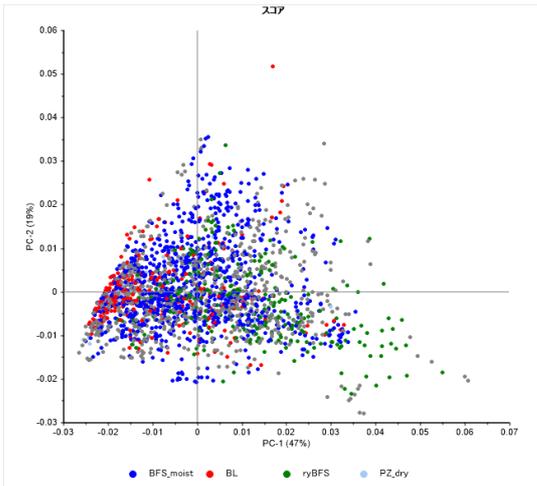


図-1 スペクトルの PCA プロット

スペクトル成分の PLS 回帰によって土壌の炭素含量を推定したところ、外れ値等を除去しない段階で 77%の変動を予測することができた (図-2)。また、シュウ酸可溶アルミニウム (図-3) やシュウ酸可溶ケイ酸量 (図-4) も同等の予測が可能であった。以上の結果から、近赤外反射スペクトルから土壌型の判定はできないものの、精度は良くないながら炭素含量や鉄・ケイ酸などの定量は可能であると考えられた。

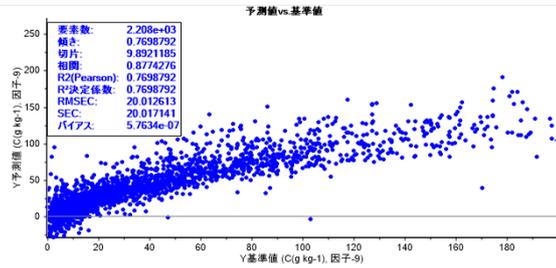


図-2 PLS モデルによる炭素濃度推定 (横軸: 実測値、縦軸: 予測値)

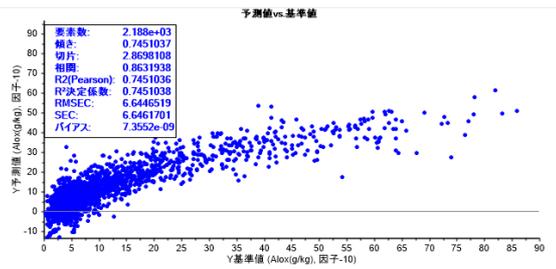


図-3 PLS モデルによるシュウ酸可溶アルミニウム濃度推定 (横軸: 実測値、縦軸: 予測値)

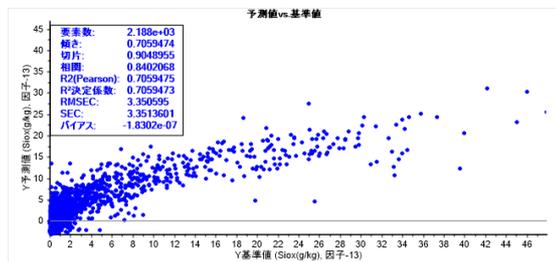


図-4 PLS モデルによるシュウ酸可溶ケイ素濃度推定 (横軸: 実測値、縦軸: 予測値)

その他、土壌の pH やカルシウム濃度などについても回帰式の作成を試みたが、これらに関しては精度が低く、推定には適していないと考えられた。

(5) 今後について

本研究に使用したサンプルは見た目粒径が均一でないものだけを粉碎処理したため、実際には粒径が均一になっておらず、これが精度を悪くしている可能性がある。また、過去の文献では、中赤外域や可視光域のスペクトルも利用されている。今後は、外れ値を除外するとともに、サンプルを厳選し、統一した微粉碎処理で粒径を揃え、水分の影響を減らす乾燥処理を行い、可視光~中赤外までのスペクトル採取を行うことにより精度の高いモデルを作成できる可能性がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

石塚成宏、今矢明宏、酒井佳美、近赤外分

光法による土壌試料の吸収スペクトルと各種土壌特性の関係、日本森林学会、2016年3月29日、日本大学生物資源学部(神奈川県、藤沢市)

石塚成宏、大曾根陽子、酒井寿夫、酒井佳美、岡本透、溝口岳男、田中永晴、金子真司、土壌と堆積有機物の炭素・窒素量機器分析の注意点、日本土壌肥料学会、2015年9月9~11日、京都大学(京都府、京都市)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

石塚 成宏 (Ishizuka Shigehiro)

国立研究開発法人森林総合研究所・立地環境研究領域・室長

研究者番号：30353577