

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450382

研究課題名(和文) 偏光を利用した反射分光分析法の開発

研究課題名(英文) Development of reflection spectra analysis method using polarization

研究代表者

下保 敏和 (KAHO, Toshikazu)

新潟大学・人文社会・教育科学系・准教授

研究者番号：30377171

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：反射分光分析法を用いて、粒子で構成された物質の化学成分を予測する時、観測エネルギーに含まれる直接反射光成分と拡散反射光成分の割合が安定しない。偏光と反射の特性から、光の入射角を変化させることにより、直接反射光成分と拡散光成分の割合を求めることで、化学成分の予測精度を向上させることを試みた。光学レイアウトを時間的に変化させるのではなく、同時に複数の光学レイアウトで測定する方法を提案した。本手法で、直接反射光成分と拡散光成分の割合を予測可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：If a chemical concentrate within some particles like a soil would be predicted by using a light reluctance spectra analysis, the observed energies are contained both a direct-reflected light energy and a diffused light energy, and the ratio between direct-reflected and diffused light energy is not a constant value and it is unstable. A prediction accuracy of a chemical concentrate is tried to be improved using a characteristic of a polarized light reluctance rule. A direct-reflected light energy and a diffused light energy are able to predict by changing a reflection angle. In this study, a new measurement method was introduced that a layout of the lighting devices is not changing by a time, but the light energies of some layouts are measured at one observation. The ratio of direct-reflected and diffused light energies is predictable by a simulation and the values of the simulation and measurement did not have a contradiction.

研究分野：精密農業

キーワード：分光分析 偏光 変調

1. 研究開始当初の背景

分光分析は、物質濃度と光の透過量の関係をもとにモデル化を行なっている。反射分光であっても、光の浸透深さを考え、対象としている物質の表面付近にある一定の距離だけ光が透過してきたものとして扱っている。しかしながら、土壌のように粒子のまわりに、化学物質が付着しているような場合、浸透深さを仮定したモデルでも予測は可能であるが、実際には表面反射した光も観測しており、その予測精度には限界があると考えられる。さらに、粒子のまわりに液体である水が付着すると、水面での反射が多くなってしまい、対象物の内部特性が捉えづらくなってしまふ。反射分光ではなく、光照射面とは別の面で受光するような透過分光を行なうと、この問題は発生しないが、土壌のように光の透過率が極めて低い物質で計測することは、光強度の点で困難である。

粒子の周りに水があるような物体に光が入射する場合、反射面は、1)空気と水の境界、2)空気と粒子の境界、3)水と粒子の境界、の3つが考えられる。透過分光では、2)および3)の空気や水と粒子の境界での反射のみを扱っている。計測対象物質の濃度の累乗で光が吸収されるため、光吸収量の log を取ったものが物質の濃度と比例関係にあり、これを吸光度と呼んでいる。物質の濃度と吸光度が比例関係を保つには、空気と水の境界で反射した光のような、物質の濃度と関係がない成分を含んではいけないが、実際には含まれてしまふ。

土壌化学成分の変動マップを作成するため、リアルタイム土壌センサの開発を行なってきた。反射分光を行なうことによって土壌化学成分を予測するリアルタイム土壌センサが研究、開発されているが、含水率予測誤差で 2%程度を達成しており、これは一般的なばらつきをせいぜい 3 段階程度に分割できる精度である。ばらつきを管理するにあたって、現状の予測誤差では不十分であり、もっと細かい分解能を達成する必要があると考える。

2. 研究の目的

土壌の p-偏光、s-偏光の成分量を偏光フィルタを用いて計測すると、土壌含水比の変化に応じて、各偏光の割合が変化する。そのため、偏光情報を利用して、予測精度を向上させることとした。鏡面反射した光を完全に遮断できないので、どの程度のエネルギーが鏡面反射によるものなのか予測して、それを差し引いてやればよい。

光の入射角が決れば、反射されてくる p-偏光と s-偏光の比率は一意に決る。そのため、複数の光学位置で p-偏光と s-偏光の比率が求まると、ある観測位置での入射角の分布を予測することが可能であり、そこから鏡面反射成分と拡散反射成分の量を求めることができる。

観測対象の粒子では、対象面自体が複数の面で構成されているため、光の入射角度も均一ではなく、何らかの分布を持つことになる。そのため、単一の入射角度が求まるのではなく、入射角度分布を予測することになる。1点だけの観測では、その平均値を得ることしかできないが、複数点を観測することによって分布が予測可能である。

複数の位置で p-偏光と s-偏光の光強度を計測するため、入射角が異なる場所ごとに分光器を用意することも考えられるが、あらかじめ、入射する光を変調させておくことで、複数の場所からの入力をひとつのセンサで計測しても、後で信号処理を行うことで分離することができる。

以上より、次の点を明らかにする。1)同時に複数の光学的位置関係で 1 つの分光器を用いて計測を行なうことが可能であること。2)p-偏光、s-偏光のエネルギー強度と入射角度分布が予測可能であること。3)本研究の手法で、反射分光における予測精度が向上すること。

3. 研究の方法

(1) 1 つの分光器を用いて複数の光学的位置関係の測定方法

光源装置内部において、ハロゲンランプと照明用光ファイバの間に回転羽を設置することにより、照明の光の強さを周期的に変化する。これは、低周波数で変動する外乱光と、高周波の照明光を分離する目的で、一般的に使われる手法である。この手法を活用して、複数の高周波数の照明光を同時に照射し、観測後に周波数に応じた観測エネルギー量に分離する。変調周波数には、家庭用電源によるハムノイズの影響が出やすい 50Hz および 60Hz の倍数を避けるため、260Hz、310Hz、380Hz を選択した。任意の変調周波数を設定できるように、ワンチップコンピュータを用いた変調装置を自作した。変調周波数の異なる照明を 2 つ用意して、2 つの照明から同時に照射した場合と、それぞれ片方からのみ照射した場合について観測を行なった。観測された時系列データをフーリエ変換により周波数領域に変換し、パワースペクトルを得る。特定の周波数のエネルギーを抜き出すことにより、特定の照明に由来する反射光エネルギーを得る。

(2) エネルギー強度分布の検出方法

直接反射光では、光路が定めれば、その光強度がどれだけ減衰するかを予測することができる。受光用光ファイバの観測範囲内のすべての計測対象面が、あらゆる反射角度を有する粒子であると仮定することにより、ある特定の光学的レイアウトを設定した場合、直接反射光の観測エネルギー量を微小反射面積ごとに算出し、それを観測面全体に数値積分することで、観測光強度を予測することができる。したがって、光学レイアウトを微量量変化させた時の直接反射光の観測エネルギー

量の変化量も計算可能である。また、拡散反射光についても、観測対象の微小面積への照明の明るさと微小面積から受光用ファイバまでの距離によって、観測できる光エネルギー強度が定まる。観測物質の吸光量によって、直接反射光と拡散反射光のエネルギー量の比は変化するため、特定のひとつの光学レイアウトにおける光強度を直接反射光と拡散反射光に分離することはできない。しかしながら、光学レイアウトごとに、直接反射光または拡散反射光のエネルギー量の比は予測可能である。そのため、異なる光学レイアウトでの光観測エネルギーを実測ならびにシミュレーションを行なう。

4. 研究成果

(1) 1つの分光器を用いて複数の光学的位置関係の測定方法

周期 1ms(1kHz)で 16bit の分解能で観測を行ない、時系列データを得た。これから、各変調周波数におけるエネルギー量を各波長ごとに求め、エネルギー量を log 換算することにより、吸光度を求めた。単一照明の場合と、複数の照明から特定の照明部分を抜き出した場合の両方について、吸光スペクトルを得ることができ、同一のスペクトルが安定して得られた。ひとつの分光器で、複数の光学的レイアウトの照明の光を同時に観測し、観測後でそれぞれの照明ごとに吸収スペクトルを得ることが可能であることを示した。また、同時に観測しているため、観測面の時間的変動に影響を受けずに、光学的レイアウトが異なる場合、スペクトルに違いが生じていることを明確に示すことができた。

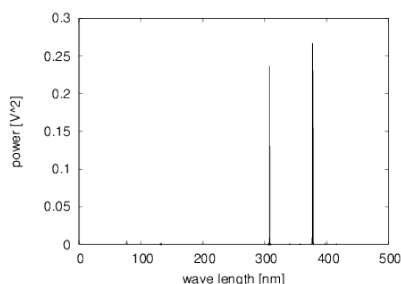


図 1 複数の光源で観測した時のパワースペクトル

(2) エネルギー強度分布のシミュレーション

光学レイアウトを決めた場合の観測光強度の相対値を計算した。観測距離 75mm で照明および受光用ファイバの光軸が交差し、照明用ファイバの光軸を 37 度、受光用ファイバの光軸を 8.5 度で開口数を 0.3 に設定した時に、観測距離を変化させた場合の例を示す。

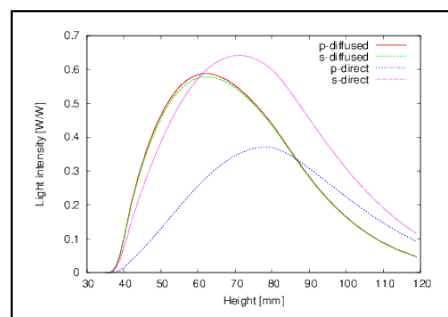


図 2 観測距離を変化させた時の偏光ごとの観測エネルギーの相対量

(3) エネルギー強度分布の予測の妥当性

平面が安定している金属面に対しては、実測値は妥当であった。しかしながら、砂に対する実験では、シミュレーションから得られる直接反射光と拡散反射光の量をもとにして、観測エネルギー量を直接反射光成分と拡散反射成分に分けた場合に、拡散反射成分のエネルギー量がマイナスになる場合があり、必ずしも理論とは一致しなかった。この原因として、分光装置の検出精度不足により、観測エネルギー量に含まれるノイズの量が多く、直接反射光成分と拡散反射光成分のエネルギー量に差が大きい場合には、拡散反射成分が直接反射光成分のノイズに埋もれたことが考えられる。また、表面の不均一性からくるシミュレーションからのずれが大きくなったことも考えられる。どの影響が大きいのか現時点では判別できていない。

(4) 予測精度の向上

複数の光学レイアウトからの吸光度を得ることができるため、単純でデータ量が増加する。含水比と粒径を調整した砂において含水比の予測した場合に、光学レイアウトの組み合わせによって違いがあるが、ひとつの光学系レイアウトの場合に較べて、予測誤差から 0.04% 小さくなる場合があった。また、高含水比では、照明用ファイバと受光用ファイバが向いあうような光学レイアウトで予測誤差が小さくなる傾向があり、低含水比では、照明用と受光用ファイバが同じ向きを向いているような光学レイアウトで予測誤差が小さくなる傾向があった。また、十分な量の光学レイアウトの組み合わせを試しておらず、安定して予測誤差が小さくなるような方法を検討したいと考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 0 件)

[学会発表](計 9 件)

下保敏和, 複数の反射角を用いた分光分析の性能評価, 農業食料工学会関西支部例会, 2015年10月10日, ヤンマーミュージアム(滋賀県長浜市)

下保敏和, 小平正和, 澁澤栄, 偏光を活用した反射分光式土壌センサの性能評価, 農業食料工学会年次大会, 2015年9月14日-18日, 岩手大学(岩手県盛岡市)

下保敏和, クラスタリング手法を活用した反射スペクトルによる土壌診断の検討, 農業食料工学会関東支部例会, 2015年8月5日, 日本大学生物資源科学部(神奈川県藤沢市)

下保敏和, 反射分光における光感度変動シミュレーション, 農業食料工学会関西支部例会, 2014年5月16日-19日, 岐阜大学(岐阜県岐阜市)

下保敏和, 反射分光における光感度分布変動, 農業食料工学会関東支部例会, 2014年8月6日-7日, 小笠山総合運動公園・エコバスタジアム(静岡県袋井市)

下保敏和, 澁澤栄, 小平正和, 反射分光式土壌センサの光感度分布解析, 農業食料工学会年次大会, 2014年5月16日-19日, 琉球大学(沖縄県中頭郡西原町)

下保敏和, 反射分光計測における照明条件の考察, 農業機械学会関西支部例会, 2013年10月31日-11月1日, 三重大学(三重県津市)

下保敏和, 澁澤栄, 小平正和, 偏光特性を利用した土壌センサによる反射分光分析, 農業食料工学会年次大会, 2013年9月11日-13日, 帯広畜産大学(北海道帯広市)

下保敏和, 分光分析における光反射角度の違いによる誤差量の推定, 農業機械学会関東支部年次大会, 2013年8月9日, 東京農工大学(東京都府中市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

下保 敏和 (KAHO, Toshikazu)
新潟大学・人文社会・教育科学系・准教授

研究者番号: 30377171