

# テラヘルツ波による粘土鉱物の保水性評価

## Evaluation of water retention of clay minerals using terahertz waves

内田哲也<sup>1</sup>・秋山高一郎<sup>1</sup>・里園浩<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 浜松ホトニクス株式会社 中央研究所

### 要旨(Abstract)

土壌物理性における重要な機能である吸水性や保水性に關与する粘土鉱物について、結晶分析を得意とするテラヘルツ (THz) 帯での分光実験を行った。様々な含水率のモンモリロナイトのスペクトル変動を詳細に分析したところ、乾燥に伴う層間水と自由水の減少傾向の差などの保水性評価に関する情報が得られた。本手法は粘度鉱物分析において被曝等の心配がない、安全かつ簡便な分析法となる可能性が示唆された。

**キーワード：**土壌水分，土壌の保水性，粘土鉱物，テラヘルツ分光分析

**Key words:** Soil moisture, Soil water retention, Clay minerals, Terahertz spectroscopy

### 1. はじめに

電波と光の中間の周波数帯に位置する電磁波である THz 波は、様々な分析用途への応用が期待されている。我々は重要な環境要素である粘土鉱物に注目し、THz 波分析が有効と考えられる土壌中の様々な結晶構造や保水性などの計測研究を行っている。これまでに THz 波減衰全反射 (Attenuated Total Reflection : ATR) 分光法を用いて測定することで、スペクトル変動を指標とした粘土鉱物種毎の吸水性有無の判定や含水率推定の可能性を示してきた。

本研究では試料の乾燥処理条件と THz スペクトル変動の関係をより詳細に分析することで、試料の結晶層内と結晶層外の水の動態の違いなど、保水性評価に關わる物性情報の取得可能性について報告する。

### 2. 方法

計測装置は浜松ホトニクス社製テラヘルツ波分光分析装置 (C12068-02) を、計測試料は日本粘土学会より購入したモンモリロナイト (月布) JCSS-3101 を用いた。同試料を真空加熱装置により乾燥させた後に、飽和水蒸気雰囲気中の容器に静置して十分に湿潤させた後、

様々な種類の飽和塩溶液雰囲気異なる湿度環境下に静置して再び乾燥処理を行った。その後、乾燥処理強度が異なるそれぞれの試料について THz スペクトルを計測した。また各操作段階において電子天秤による重量計測を行い、対照として含水率を別途算出した。

### 3. 結果および考察

モンモリロナイトの THz 波吸収スペクトルにおいて、2.8THz 付近に弱いピークが見られ、また含水率の違いでスペクトル全体のオフセットやピーク強度が変動することが確認されている (図 1)。

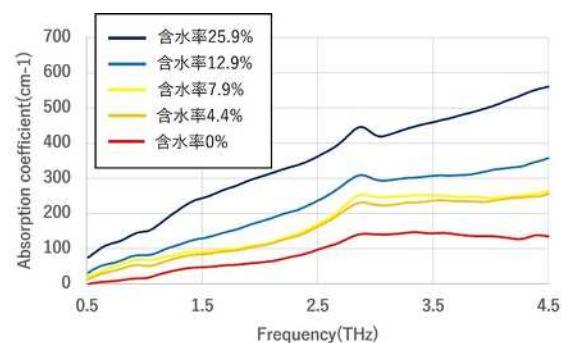


図 1：モンモリロナイトの THz 分光スペクトルと含水率によるオフセット変化

THz 分光分析の原理的に、THz 波は自由水に対して強い吸収を示し、ピークの出現及びその強度変化は結晶構造の状態変化を表していると考えられる。したがって含水率の増加によるオフセットの上昇は結晶構造の層外に存在する自由水が、2.8THz 付近のピーク値の増加は結晶構造内の層と層を結びつける層間水がそれぞれ強く作用していると予想した。

そこでピーク外の周波数である 1THz のオフセット値と、二次微分を行った 2.8THz のピーク値について、様々な含水率の試料との相関を確認・比較した。その結果、1THz のオフセット値は含水率と高い相関 ( $R^2=約 0.9$ ) の線形近似を示した(図 2a)が、2.8THz の二次微分ピーク値においては含水率 22.5% 付近を境に、低含水率側では線形近似で高相関 ( $R^2=約 0.9$ ) を示す一方で、高含水率側では線形近似での相関性は示さず、二次微分平均値-1090 に対して標準偏差が 23.2 と、ほぼ一定の値を示した(図 2b)。

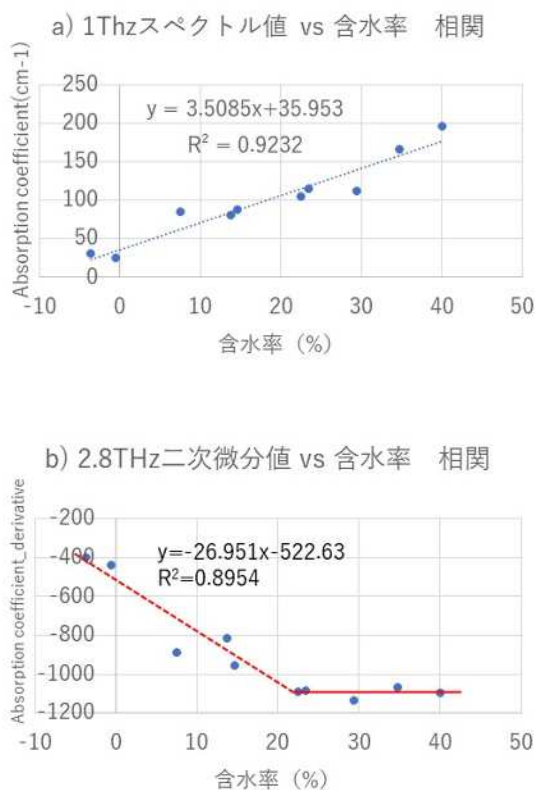


図 2: 波長ごとのスペクトル値と含水率の相関性の違い

このように、粘土鉱物の結晶構造の層間に存在する水(層間水)と層外の水(自由水)の状態について、THz 分光分析により切り離して評価出来る可能性が示された。今回の実験結果ではモンモリロナイトについて、結晶層外の水は乾燥強度に応じて減少していく一方、結晶層内の水は弱乾燥時には一定量維持され、乾燥強度が強まるにつれて徐々に減少していく、いわゆる保水性を示す動態を捉えられたと考えている。

#### 4. おわりに

THz 波は波長が長い計測試験時において被曝等の心配がなく、また試料の特別な前処理も不要である。そのような特長を活かし、環境中の土壌の物理性評価や、土壌改良資材・化粧品・デトックス食品等の開発時におけるスクリーニング等に資する技術として、X 線回折や化学的手法に代替もしくは相補する簡便な光分析法になり得るか、引き続き検討していきたい。

#### 参考文献等

1. 秋山高太郎, 土壌分析に対するテラヘルツ波分光分析の可能性, 日本土壌肥科学雑誌 2020 年 91 巻 4 号 p. 265-271
2. Atsushi Nakanishi; Yoichi Kawada; Takashi Yasuda; Koichiro Akiyama; and Hironori Takahashi, Terahertz time domain attenuated total reflection spectroscopy with an integrated prism system, Rev. Sci. Instrum. 83, 33103(2012)
3. 内田哲也, 秋山高太郎, 里園浩, 袴田共之, テラヘルツ波による粘土鉱物の計測 - モンモリロナイトとカオリナイトについて -, 粘土科学討論会講演要旨集 2022 年 65 巻 p. 36