

## 二酸化炭素と腐植物質を併用した月・火星レゴリスから粘土の水熱合成

千葉工業大学 生命環境科学科 学生会員 間宮 貴  
 千葉工業大学大学院 工学研究科 非会員 相澤 由花  
 東京大学大学院 理学系研究科 非会員 武田 弘  
 千葉工業大学 生命環境科学科 正会員 矢沢 勇樹

### 1. 緒言

近年、宇宙空間での長期滞在や月や火星などの他天体への有人宇宙探査計画が進行している。宇宙ミッションで人間の生命を維持する過程において水・空気・食料をはじめとした物質循環の配慮を怠ると、その必要量は滞在期間に応じて比例する。したがって、生命維持に必要な物質を再生・循環利用することが重要な課題となり、宇宙空間などの閉鎖空間において植物を用いた炭素循環を行う「宇宙農業」の概念が確立された。しかし、有機物・無機物・微生物で構成されている一般的な土壌を月や火星に持ち込むことは他天体への生物汚染が懸念される。土壌宇宙農業の指向するところの一つに、宇宙農業を運営するにあたって物質循環の閉鎖度を高めることが挙げられ、月および火星等の宇宙ステーション設営地より得られる資源を活用することにより、輸送系の負荷を軽減し、また、宇宙での自立的な活動や生活空間の構築を行うことにある。同時に、水・空気・食料等の持続可能な物質循環、病原菌の繁殖防止を考慮すると、宇宙農業を運営するにあたって微生物を含まない有機物・無機物のみで土壌を形成する必要があり、「粘土鉱物」の存在は不可欠である。

これらの経緯をもとに、本研究では、他の鉱物よりも高い溶解速度を有するカルシウムに富む斜長石を、岩石鉱物の化学的風化および植物成長に有効な腐植物質である天然フミン酸をもちいて高温・高圧条件で溶解することによる、短期間での粘土鉱物化を試みることを目的とした。

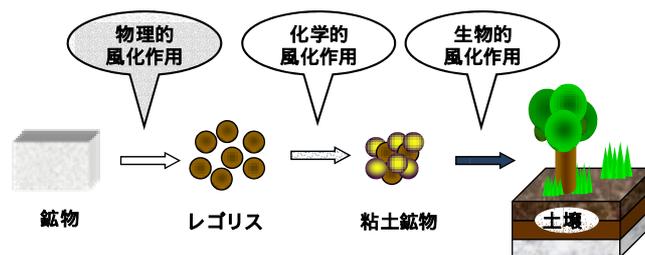


図1 鉱物の風化過程

### 2. 実験

#### 2.1. 水熱合成実験

有機酸溶液における溶解速度および粘土鉱物の析出を比較するために、塩酸、サリチル酸、没食子酸を pH = 3 に調整し、純水に Canada 産ピートから抽出したフミン酸(CP-HA)を 0, 1, 10, 20mg 添加した溶液と、水酸化カリウム溶液にフミン酸を 0, 1, 10, 20mg 添加し pH = 11 に調整した溶液(KOH, CP-HA)をそれぞれ調合した。それらの溶液をそれぞれ高圧用反応分解容器(HU-25)に 20mL 加え、75 $\mu$ m 以下にふるい分けを行った Crystal Bay 産の斜長石(An 75%)を 0.5g 添加した。それらを 200 $^{\circ}$ C に設定した恒温槽に入れ 120 時間の溶解反応を行った。

#### 2.2. 評価方法

反応終了後は遠心分離を行い、0.20 $\mu$ m メンブレンフィルターを用いて上澄み溶液と残渣物に分離した。反応生成物固体は 30% 過酸化水素水によって洗浄、乾燥させたのち、残渣物を赤外分光光度計(日本分光 FT-IR410, KBr・拡散反射法)および粉末 X 線回折(理学電機社製 RINT-2100)を用いて反応前後の反応生成物の結晶構造を測定した。同時に、ろ液の水素イオン濃度と、フレイム型原子吸光分析装置(島津製作所製 AA-6200)を用いて Ca, Na, Al, Si のろ液中のイオン濃度(mol/L)を定量した。

キーワード 斜長石, 水熱合成, 粘土鉱物, カオリン

連絡先 〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1 千葉工業大学 TEL 047-478-0409 E-mail: [yuuki.yazawa@it-chiba.ac.jp](mailto:yuuki.yazawa@it-chiba.ac.jp)

### 3. 結果および考察

反応後の pH および液組成から二次生成物の化学平衡組成図にあてはめた結果を図2に示す。反応後の溶液において各酸は不飽和の安定な領域に位置する。これはまだ酸性溶液、塩基性溶液からの水素イオンの取り込みが低く、カルシウムに富む斜長石が十分に溶解していないために、溶液から粘土鉱物が析出する過飽和濃度に達していないと考えられる。また、有機酸でもフミン酸と没食子酸では大きな差が見られ、フミン酸溶液のほとんどが無機溶液である塩酸や水酸化カリウム水溶液より不飽和の安定域に位置している。これはカルシウムに富む斜長石がフミン酸から放出される水素イオンの取り込みが低いため、同じ濃度の酸性溶液より粘土鉱物の析出が有効であると考えられる。もともとフミン酸は水には微溶、塩基には可溶であるため、フミン酸のみの場合より水酸化カリウム フミン酸溶液のほうが鉱物の溶解には適していると考えられる。

図3の残渣物の FT-IR スペクトルより、斜長石および KOH 処理を行った条件を除いて、その他すべての条件においてみられる  $3620\text{cm}^{-1}$  付近の吸収は、粘土鉱物であるカオリナイトの吸収特性であり OH 基の伸縮振動にあたる吸収である。 $3620\text{cm}^{-1}$  吸収は層状ケイ酸塩鉱物中のアルミニウムによる八面体シートの OH 基の伸縮振動であると考えられる。図4に酸の種類がおよぼす  $3620\text{cm}^{-1}$  におけるスペクトル相対強度を示す。図より、フミン酸を含んだ酸で処理を行った生成物のピーク強度が大きく、特にフミン酸および KOH 処理を行った条件が、ピーク強度が最も大きかった。

また、 $1180\sim 950\text{cm}^{-1}$  の Si-O 振動に変化が見られる。これは Si-O-Si 鎖状ケイ酸塩骨格が崩れることでケイ酸塩層の四面体シートと、八面体シートの接合面上にある OH 基にあたる吸収と八面体シートの吸収が大きくなり、層状ケイ酸塩鉱物が形成されていく過程だと考えられる(木村, 1997)。

### 4. 総括

有機酸の水熱合成比較実験として、没食子酸とフミン酸の結果から、反応後の溶液は粘土鉱物の生成に必要な過飽和域に達せず、粘土鉱物が析出は確認できなかったが、フミン酸は水素イオン濃度を低くする特性などで粘土鉱物生成の可能性が示唆された。また、粘土鉱物中の層状ケイ酸塩鉱物の八面体シートが生成されていると推測できた。

### 5. 参考文献

- 1) 木村邦夫(1997) 韓国産の Ca に富む斜長石を原料とする粘土鉱物の合成, 資源と素材, vol.113, No.5, pp.345.

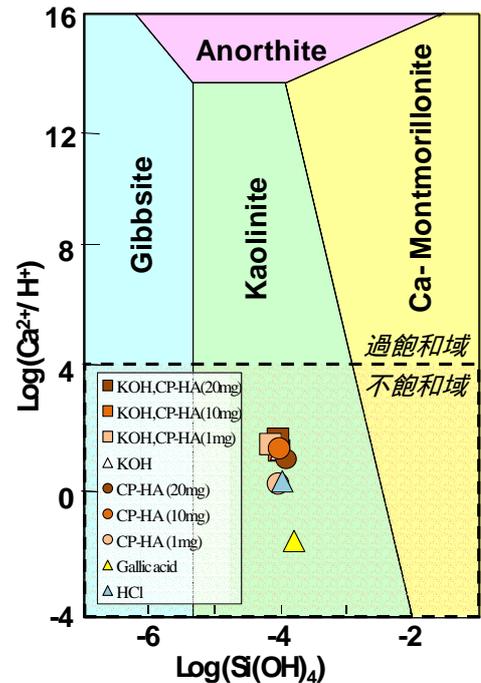


図2 風化による二次生成物の安定図

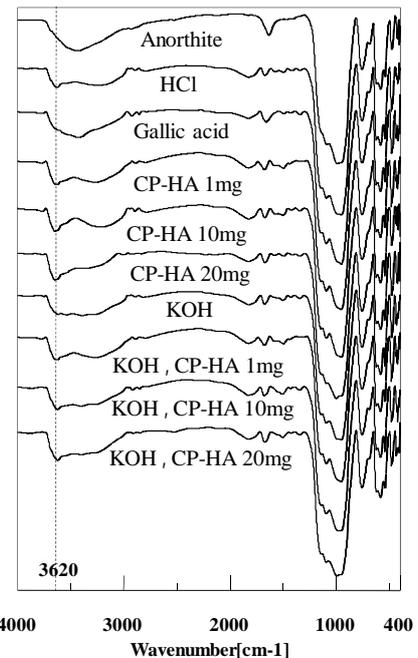


図3 斜長石を 120 時間, 200 で反応させた後の残渣物の FT-IR スペクトル

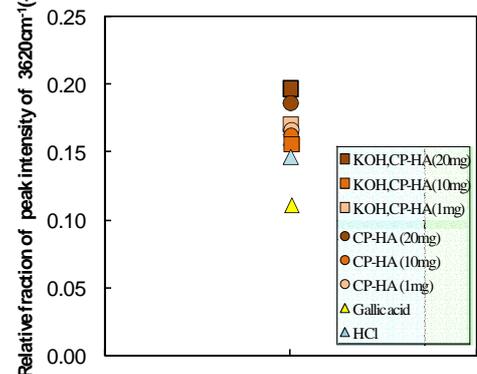


図4  $3620\text{cm}^{-1}$  におけるスペクトル相対強度