

筑波大学の学類学生へ
粒状体力学・地盤工学研究室へのお誘い

筑波大学 構造エネルギー工学域 松島亘志

「粒状体」とは、固体粒子が集まってできている材料のことです。私たちの生活では様々な粒状体を扱います。固形の食品や、石炭・粉体燃料、粉末薬品、ゴミなどもそうですね。自然界では、岩石になる前の未固結の土（砂や粘土）が粒状体です。粒状体力学は、そのような固体粒子の集合体に外力が作用したときの抵抗力や変形・流動形態を予測するための学問です。

一方、地盤工学というのは、未固結の土から盛土や堤防、ダムを安全に造ったり、建物の重さに地盤が耐えられるかどうかを確かめるために必要な工学で、地面の上で生活している私たちには必要不可欠なものです。



建物を支える地面は、それ自体が「固体」として振る舞いますが、豪雨で斜面が崩壊するとき、土石流となって「液体」のように流れてしまうことがあります。また、強い地震動で地面が液体のようになる「液状化」という現象もあります。これまでの地盤工学は「固体」的な振る舞いに対してのみ有効な手法でしたが、今後は「液体」的な性質、あるいはその中間的な性質についても調べていく必要があります。このときに鍵となるのが、「地盤材料は固体粒子からできた粒状体である」ということです。粒状体の重要な性質として「固相率依存性」というものがあります。これは、隙間が少なく粒子がぎっしりと詰まっていると固体のように振る舞い、隙間が多くなると液体のように振る舞うという性質です。それぞれの状態は「見かけ上の」固体あるいは液体として扱われますが、実際にその強さや流れやすさを予測することは難しいのが現状です。さらに、その中間的な部分の性質はまだよくわかっていないのです。



それから、メタンハイドレートの例も挙げましょう。日本近海の海底に眠るエネルギー資源です。これを活用するための準備が経産省主導で行われています。メタンハイドレートは海底地盤中に存在しているので、それをいかに効率的に回収するかは地盤工学の扱う対象です。しかし、そのためには、地盤の土粒子と間隙中に存在するメタンハイドレートの振る舞いを知る必要があります、地盤を単なる固体のブロックとして扱っては何も得られません。粒子のスケールの力学が必要なのです。

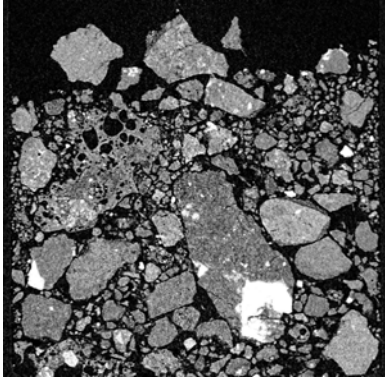


土壤汚染問題も同様です。汚染物質がどのように土中を広がっていくか、土粒子への吸着をどう扱うか、汚染した土壌を効率的に浄化するにはどのような方法が良いか、など、これも粒子レベルの振る舞いの理解が必要です。

今後の地盤工学は、いままで手が付けられなかった「長期問題」も扱っていく必要があるでしょう。高度成長期に建設された多くの建造物の維持管理はもちろん、ダムが生態系に及ぼす影響の評価、河川管理のための長期地形変動予測など、現在の我々の技術では扱えない問題が数多く残っています。核廃棄物の地層処分の問題も数万年という長期問題ですね。このような長期の予測をどのようにやっていけばよいのでしょうか？ひとつのアイデアとしては「イベント性に着目した時間のマルチスケール化」がありますが、これが本当に機能するかはわかりません。ごく基本的なことから積み上げていく必要があります。このような研究は、地学や生態学などの、他の学問分野にも役立つ重要なものです。

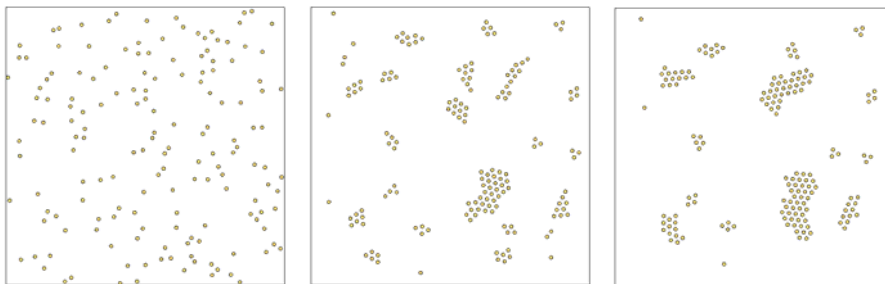


新しい地盤工学の展開もあります。たとえば宇宙開発。月面有人探査や基地開発のためには、地盤工学は必須です。月や火星の表面の写真をみると、「これはまさに地盤工学の新しい大地だ」と思ってしまいます。惑星の形成過程の解明などには、粒状体力学が役立ちます。たとえば、隕石衝突によるクレーター形成で、どのくらい深部の地盤が表面に放出されるのか？これは、惑星の地下構造を知ることに役立ちます。宇宙に漂う塵は、どのように集積して惑星になっていくのか？これはまさに固体粒子の集まりの力学問題ですね。



他に、材料工学の一分野として粉体工学という分野があります。これは、粉体材料を用いて、いろいろな材料を効率的に作ったり、新材料を作ったりする学問で、古い歴史がありますが、未だに経験的に得られた知識を使って材料が作られている、という現状があります。それは粉体の集合体としての振る舞いを予測するための力学、つまり粒状体力学が未だ整備されていないからです。ここでは、用いる材料は人工的に調整された材料ですが、化学反応や相変化（固体→液体→気体）なども扱わなければならない、地盤工学とはまた違った難しさがあります。一方で、多くの共通点もあり、相互の情報交換が活発になってきているところです。

最後に、基礎学問としての粒状体力学の話をしてしましましょう。固体粒子を特徴付けるものは摩擦や塑性などのエネルギー散逸です。これによって、固体粒子の集合体(粒状体)は、気体分子の運動などとは基本的に異なります。気体分子の集まりでは平衡状態に対して統計力学を適用しますが、粒状体ではそのような平衡状態を定義することができません。そのようなわけで、「粉体物理」というものが現在でも基礎物理学の分野で研究されています。更に、粒状体の堆積状態にも統計力学を適用しようとする動きもあります。これは「ランダムパッキング問題」と呼ばれ、古くから多くの人が調べてきた問題ですが、コンピュータで粒状体の堆積状態を調べることができるようになって、新しい知識が急速に積み上げられつつあるところです。



基礎物理学のなかで「素粒子物理」という分野があります。これは、原子・分子よりも更に小さいスケールを扱います。一方、「宇宙物理」という分野もあります。これは「宇宙の大きさ」「誕生からの時間」など空間的にも時間的にも非常に大きなスケールを扱う分野です。そういった中で、私たち人間の生活のスケールは、どのように規定されているのでしょうか？また、それをどのように理解すべきなのでしょう？このようなことを考えていると、私たちがいま、何をどう研究すべきなのか、どの方向に進むべきなのかがぼんやりと見えてきます。単に「工学」「農学」「理学」といった旧来の枠組みでなく、もっと広い視点で物事を見る習慣をつけることが大事です。

私たちの研究室では、このような広い視点から、様々な研究を行っています。少しでも興味のある人は、是非のぞきに来てください。大志のある学生を歓迎します。

(2013/05/02)

参考文献

[1] Matsushima, T., Blumenfeld, R., Universal Structural Characteristics of Planar Granular Packs, *Physical Review Letters*, 112(9), 098003, 2014.

粒状体の構造についての基礎物理学的検討

[2] Tsuchiyama, A., Uesugi, M., Matsushima, T., Michikami, T., Kadono, T., Nakamura, T., Uesugi, K., Nakano, T., Sandford, S.A., Noguchi, R., Matsumoto, T., Matsuno, J., Nagano, T., Imai, Y., Takeuchi, A., Suzuki, Y., Ogami, T., Katagiri, J., Ebihara, M., Ireland, T.R., Kitajima, F., Nagao, K., Naraoka, H., Noguchi, T., Okazaki, R., Yurimoto, H., Zolensky, M.E., Mukai, T., Abe, M., Yada, T., Fujimura, A., Yoshikawa, M., Kawaguchi, J., Three-Dimensional Structure of Hayabusa Samples: Origin and Evolution of Itokawa Regolith, *Science*, 333(6046), 1125-1128, 2011 (DOI: 10.1126/science.1207807)

サイエンスに掲載された固体惑星表層土粒子の性質についての論文

[3] 松島亘志, 筑波大学地盤工学研究室における粒状体複雑挙動の研究, *応用数理*, 19(2), 121-123, 2009. (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007338829>)

本研究室の研究内容(2009年当時)がまとめられています。