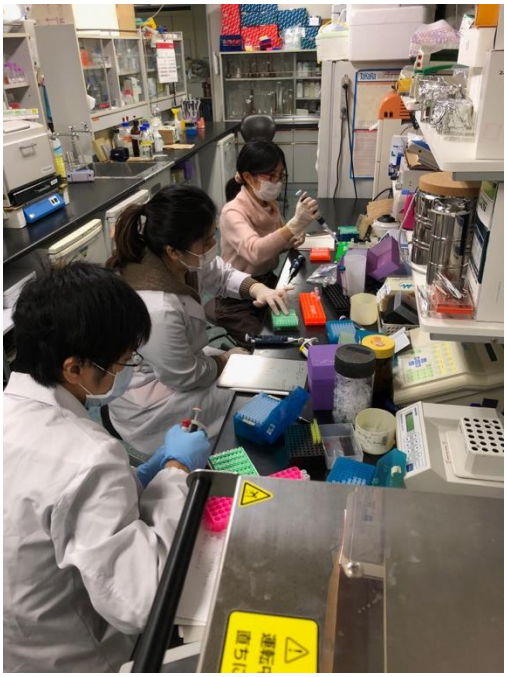
宇宙総合学研究ユニット
NEWS 2021 年 4 月号

2020 年度宇宙医学実習の実施について

(i) 東京慈恵会医科大学における宇宙医学実習

宇宙ユニットでは昨年度より文科省の宇宙航空科学技術推進委託費プログラムの一貫として、東京慈恵会医科大学・愛知医科大学・岐阜医療科学大学との連携により宇宙医学実習を実施しています。第 1 弾の宇宙医学実習が、2021 年 2 月 15−19 日、2021 年 3 月 1-5 日に東京慈恵会医科大学で実施されました。東京慈恵会医科大学には宇宙航空医学研究室が設置されており、講座担当の南沢教授、暮地本講師、谷端助教の 3 名に指導していただき、合計 8 名（京大生 1 名、慈恵医大生 3 名、近大生 1 名、大阪市大 1 名、日本獣医生命科学大生 1 名、浜松医大生 1 名)が参加しました。実習期間中は「微小重力への生体応答」というテーマで、クリノスタットでの細胞培養実験を通じ微小重力環境が筋細胞へ及ぼす影響を RNA を抽出し遺伝子発現レベルで解析しました。また、慈恵医大の先生方からは「宇宙医学」「微小重力と筋萎縮」「キャリアディベロップメント」についての講義も受けました。 講義を通じて、宇宙と産業医学や栄養学の関係性、宇宙における臨床医学の可能性、筋増大・萎縮の分子機構などについて理解できました。実習期間中には、JAXA 井上夏彦先生から閉鎖環境実験について、JAXA 石岡憲昭名誉教授からは宇宙ライフサイエンス分野のお話も聞くことができました。最終日には、最終報告として 1 週間の実習の成果をまとめて発表しました。





実習風景@慈恵医大

(ii) 岐阜医療科学大学における宇宙医学実習

人体への重力影響に関する研究の重要性を学ぶ有人宇宙医学実習として、2021 年 3 月 11 日に岐阜医療科学大学において、宇宙医学実習を実施しました。京都大学から 2 名、日本大学から 1 名、東京農業大学から 1 名の学生が参加しました。岐阜医療科学大学に到着後、午前中に岩瀬教授（愛知医大）と田中教授（岐阜医療科学大）から宇宙医学研究の概論と宇宙服開発について講義を受け、宇宙の極限環境が人体に及ぼす影響とその対応策について学びました。午後には岐阜医療科学大学の施設を利用して、宇宙医学研究の最前線で用いられる人工重力装置、GVS 実験を参加者は実際に体験しました。



人工重力装置の前で@岐阜医療科学大

今後の宇宙学セミナー・関連イベントなど

日時	内容	開催方法
4 月 9 日(金) 17:30-19:00	第 1 回宇宙学セミナー 内容：宇宙ユニットガイダンス 主な対象：京都大学新入生	Zoom によるオンライン開催 (事前申込制) 宇宙ユニット HP を参照

※宇宙学セミナーの詳細は随時 Web ページ（http://www.usss.kyoto-u.ac.jp/seminar.html）で公開いたします。

パソコンによる月惑星テラメカニックスの研究紹介

中嶋　洋

(京都大学農学研究科　地域環境科学専攻)

1．月惑星テラメカニックスとは

テラメカニックスは、「テラ」と「メカニックス」からなる造語であり、ポーランド出身の米国人 M.G. Bekker 博士により始められた、農業機械あるいは建設機械のように地球上のオフロードで働く車両の走行装置や工具と土との接触問題を研究する応用力学の一分野である [1)]。2011 年 8 月に米国で開催されたワークショップにおいて、新たに xTerramechanics という用語が使用され、地球外の惑星探査ミッションにおけるテラメカニックスの諸問題が議論された [2)]。この xTerramechanics の訳語として、近年よく用いられるようになったのが「月惑星テラメカニックス」である。なお、件の Bekker 氏は、米国 NASA のアポロ計画で用いられた有人月面探査ローバ(Lunar Roving Vehicle; LRV)の走行系の研究者であったことから、月惑星テラメカニックスは先祖返りと見做せるかも知れない。

さて、テラメカニックスにおいて、オフロードの軟弱な土壌条件下では、車両の接地荷重に対応して車輪は土の反力に見合うところまで土表面より沈下する。したがって、車載エンジンからの車軸駆動力は、車輪接地面で滑りながら前進力(推進力)を生み出すと同時に沈下とともに発生する走行抵抗に相対することになる。

以下では、筆者が過去に実施した月惑星テラメカニックス関連の研究例を紹介する。数値解析手法として離散要素法(DEM)、有限要素離散要素法(FE-DEM)を用いている。なお、いずれもパソコンでも十分に実行可能な２次元解析である。

2．探査ローバ用車輪のオフロード走行解析

2．1　月面探査ローバ用ラグ付剛性車輪の走行解析

2000 年度から 2003 年度に NASDA(当時)と筆者の所属する研究室との共同研究として、月面探査ローバ用小型剛性車輪の走行性能解析を行った [3)4)]。数値解析手法として、土のような粒状体的な挙動が表現できる DEM を用いた。DEM によるラグ付剛性車輪の走行解析では、ラグ(i.e. 羽板のようなもの)以外の車輪の部分は剛体であることから DEM の１個の円要素として車輪を表現し、ラグには微小の円要素をオーバラップさせて埋設配置し、ラグへの土の反力は車輪要素の回転中心に作用させた。ラグ高さをパラメータとして３段階に変化させた 1G 条件での DEM 解析では、同じ車輪の滑り率で比較すると、ラグ高さが高い方が発揮するけん引力(推進力―走行抵抗)が大となる解析結果が得られた(図 1)。これは、

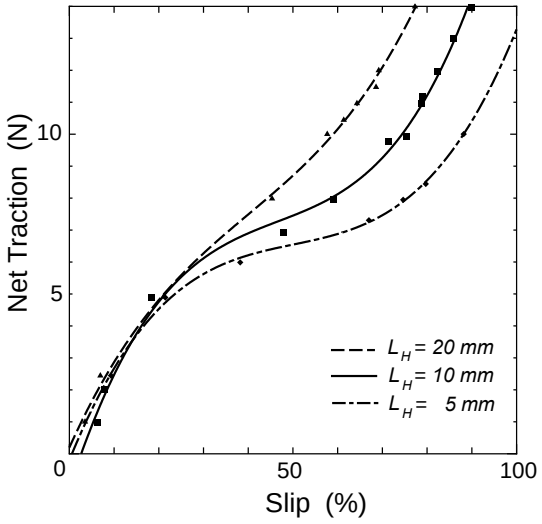


図 1 ラグ高さ L_H を変化させた滑り率-けん引力結果(車輪直径 20 cm、接地荷重 19.6 N)[3)]

滑り率 50%程度までは定性的に実験結果と同様な傾向であった。また、同じけん引負荷条件時には、ラグ高さが高い方が推進力は大となるが、同時に走行抵抗も大となることも確認された。さらに、均一接地荷重とした月面重力時の水平走行解析結果では、1G の結果よりも沈下が大きくなること、同じ滑り率時のけん引力は小さくなることが明らかとなった。低重力の場合、土は粒子の自重では締め固め効果が期待できないことから、けん引力の低下になったものと考えられた。

水平に準備した土槽の土モデルを傾斜させることで、共同研究での目的でもある傾斜面走行解析も行った [4]。斜面走行においては、車輪性能をアポロ計画にも用いられた無次元性能指標(パワー数)[5]などで走行性能に順位付けを行うことで評価し、車輪パラメータを選定した。その結果、地球重力下では、車輪リム直径 25 cm、 ラグ枚数 18、ラグ高さ 1 cm のものが、良好な斜面走行性を有することが分かった。一方、この車輪を均一接地荷重条件として月面重力下で斜面走行させると、25 度の傾斜角は登坂できないことが予想された。

重力加速度の影響については、小型ラグなし剛性車輪の実験が行われており [6]、この実験結果を検証するとともに車輪の沈下と走行抵抗について重力比の観点から DEM 解析も実施している [7]。その結果、均一質量の車輪条件においては、1/6G でも 1G でも車輪の沈下量は同じであること、走行抵抗は重力比に関して線形的に減少すること、また推進力も重力比に関して線形的に減少することが分かった。

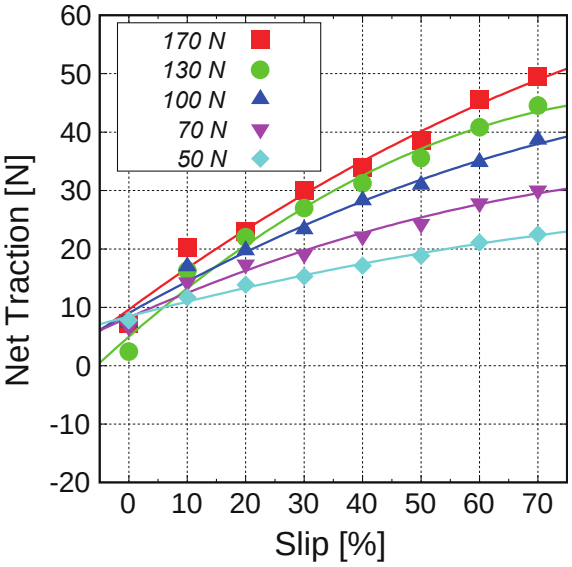


図 2 接地荷重を変化させた滑り率-けん引力の実験結果(B3 車輪)[8]

2. 2 火星探査ローバ用金属弾性車輪の走行解析

ESA の火星探査ローバ ExoMars 用に試作された剛性の異なる 2 種類の弾性車輪(B3 車輪、B6 車輪)について、けん引力と車軸トルクにそれぞれ PID 制御モデルを適用した FE-DEM 解析を実施した [8]。その結果、接地荷重を増加させると同じ滑り率でのけん引力は増加すること、接地荷重の増加とともに走行抵抗の絶対値も滑りとともに増加することなど、DLR ブレーメンでの実験結果と定性的に概ね一致したけん引性能解析結果を得ることができた(図 2、図 3 参照)。懸案であった滑り率に対する走行抵抗の変化挙動も、両車輪とも定性的ながら良好に解析できたことで FE-DEM 解析が妥当であることが確認できた。

次に、火星重力下での走行性を B3、 B6 車輪について解析した [8]。なお、今回は均一質量条件とした。B3 車輪の推進力やけん引力は、同じ滑り率で比較すると、地球上に比べて火星上ではともに低下することが確認される

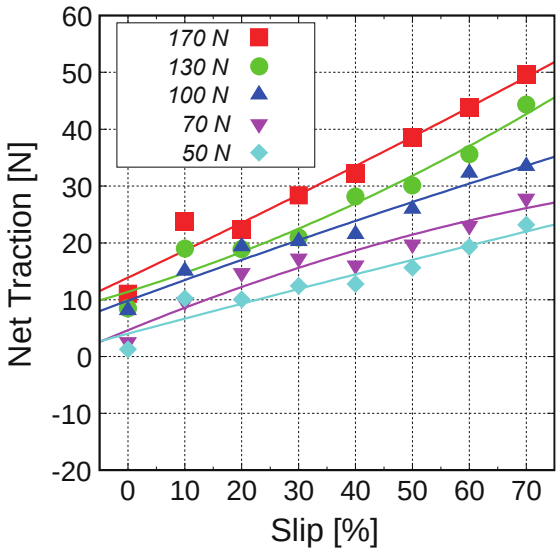


図 3 接地荷重を変化させた滑り率-けん引力の FE-DEM 結果(B3 車輪)[8]

とともに、B3 と B6 車輪のけん引力や沈下量は、火星重力下ではほぼ同様の値となることが予想された。

まとめ

本稿では、これまで取り組んできた月惑星テラメカニックスに関する数値解析事例を紹介した。一方、地球上でのテラメカニックスの問題においても、実験的手法や半実験的手法とは異なる計算力学的手法による精度の高い数値解析が実現しつつある。計算負荷の観点からは、実験と同じ条件での 3 次元解析はまだ十分にできてはいないが、高速かつ高精度な解析が近い将来に実現するものと期待している。

参考文献

1) Wong, J.Y.: Terramechanics and off-road vehicle engineering, 2nd Edition, Elsevier, 2010.
2) Private communication, 2011 年 8 月 11 日.
3) Nakashima, H., Fujii, H., Oida, A., Momozu, M., Kawase, Y., Kanamori, H., Aoki, S., Yokoyama, T.: Parametric analysis of lugged wheel performance for a lunar micro rover by means of DEM, Journal of Terramechanics 44 (2007), 153-162.
4) Nakashima, H., Fujii, H., Oida, A., Momozu, M., Kanamori, H., Aoki, S., Yokoyama, T., Shimizu, H., Miyasaka, J., Ohdoi, K.: Discrete element method analysis of single wheel performance for a small lunar rover on sloped terrain, Journal of Terramechanics 47 (2010), 307-321.
5) Freitag, D.R., Green, A.J., Melzer, K.J., Costes, N.C.: Wheels for lunar vehicles, Journal of Terramechanics 8(3) (1972), 89-105.
6) Kobayashi, T., Fujiwara, Y., Yamakawa, J., Yasufuku, N., Omine, K.: Mobility performance of a rigid wheel in low gravity environments, Journal of Terramechanics 47 (2010), 261-274.
7) Nakashima, H., Kobayashi, T.: Effects of gravity on rigid rover wheel sinkage and motion resistance using two-dimensional discrete element method, Journal of Terramechanics 53 (2014), 37-45.
8) Nishiyama, K., Nakashima, H., Yoshida, T., Ono, T., Shimizu, H., Miyasaka, J., Ohdoi, K.: 2D FE-DEM analysis of tractive performance of an elastic wheel for planetary rovers, Journal of Terramechanics 64 (2016), 23-35.

宇宙ユニットの活動やイベントについては、下記サイトをご覧ください。また、宇宙ユニットや本 NEWS に関する皆さんのご意見等も気軽に下記メールアドレスまでお送りください。

京都大学 宇宙総合学研究ユニット

http://www.usss.kyoto-u.ac.jp/

〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 吉田キャンパス北部構内 北部総合教育研究棟 507 号室

編集人：平井颯

Tel＆Fax: 075-753-9665 Email: usss@kwasan.kyoto-u.ac.jp