

月惑星の重力場におけるカウラ則とカウラ定数のスケーリング則

宇宙測地学研究室 橋本実奈

1 様々な月惑星で重力場を球関数展開した係数 (Stokes係数)に以下の法則が成り立つか？

①カウラの法則 (一つの天体の中での法則)

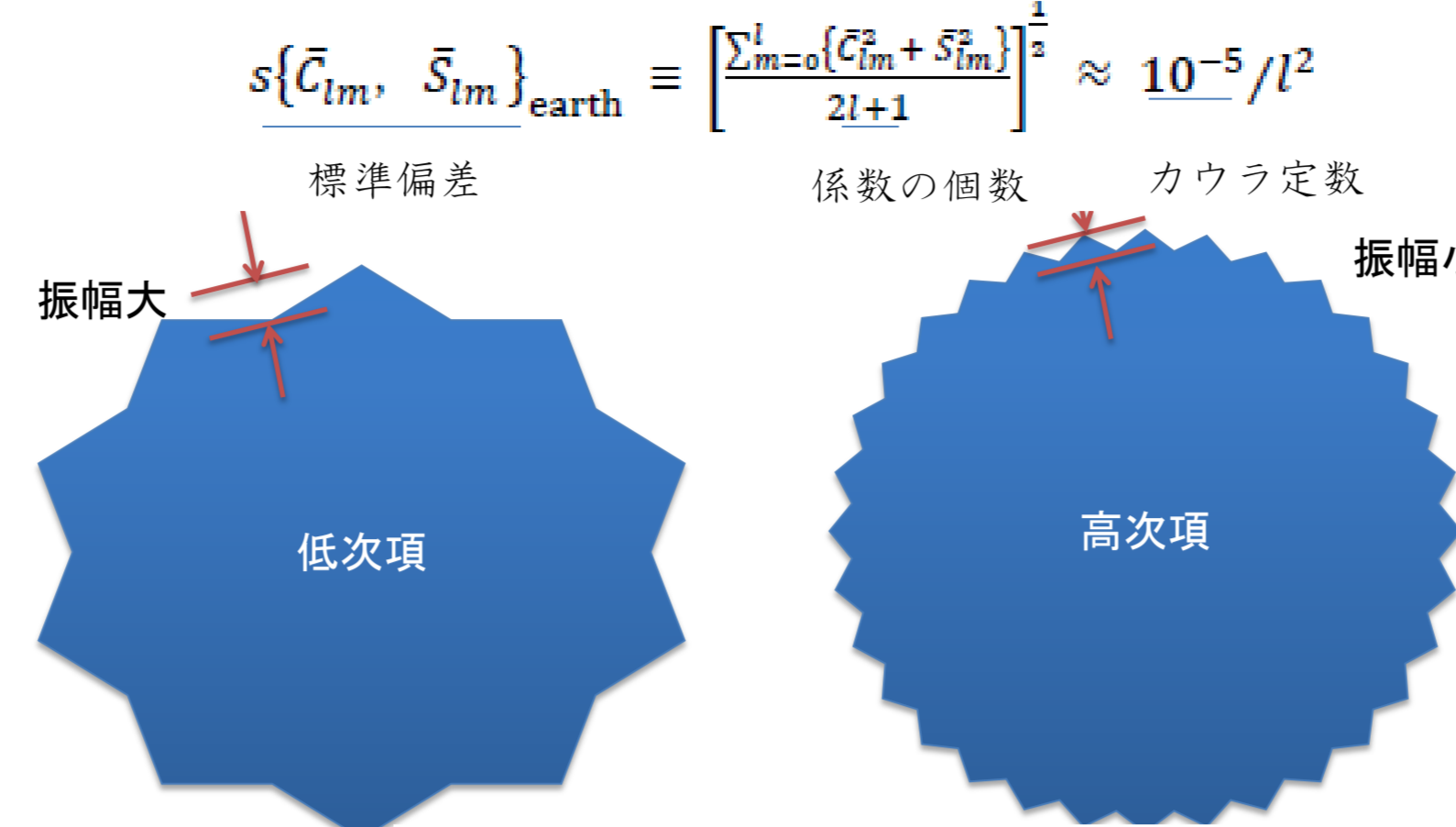
係数の大きさは次数の二乗に反比例

②スケーリング則 (異なる天体間の法則)

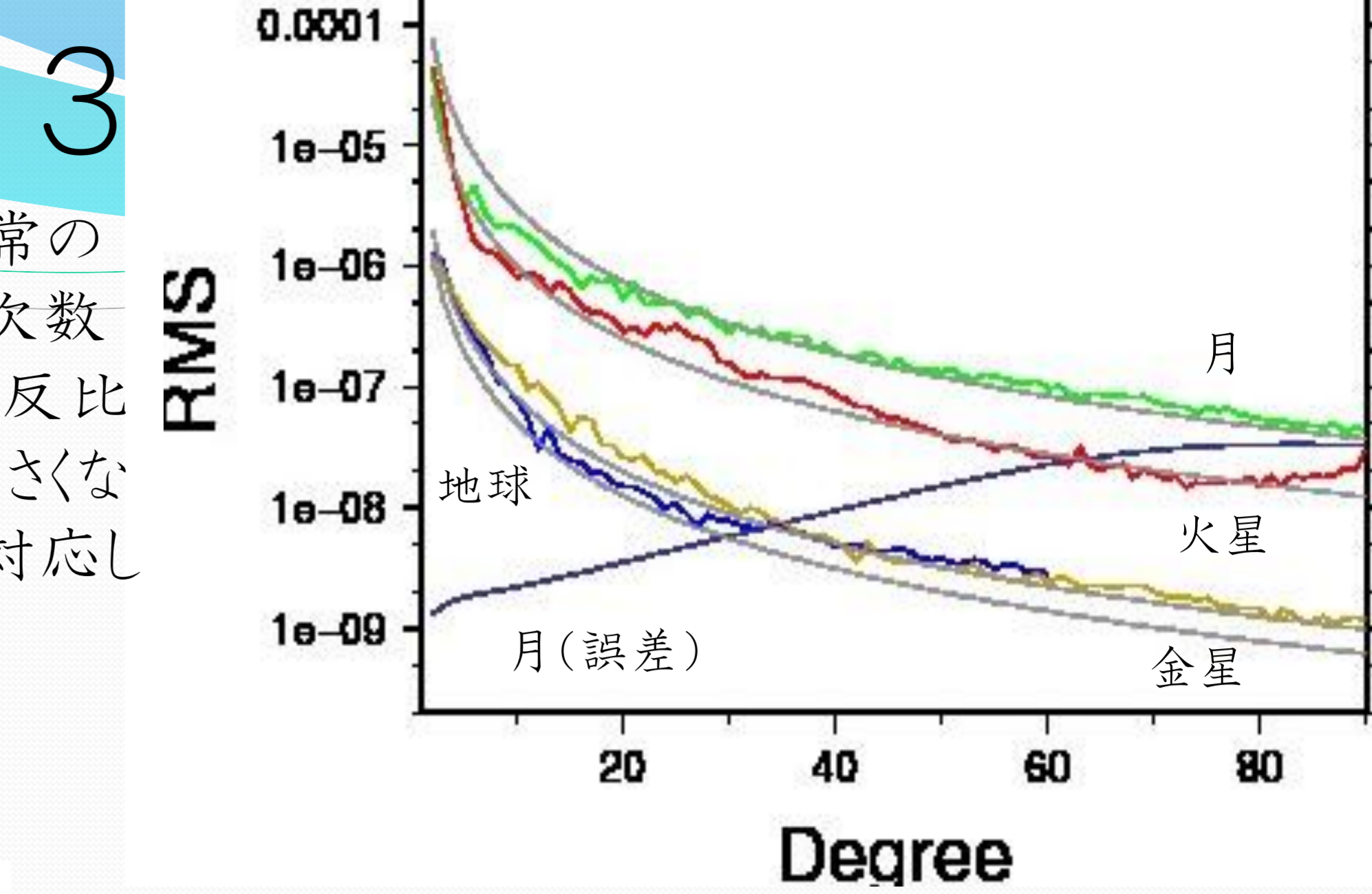
係数の大きさは地上重力の二乗に反比例
月、火星、地球、金星について①②が成り立つかを調べた。

2 カウラの法則 (Kaula's rule-of-thumb)

球関数の次数の二乗に反比例して重力場係数が小さくなる

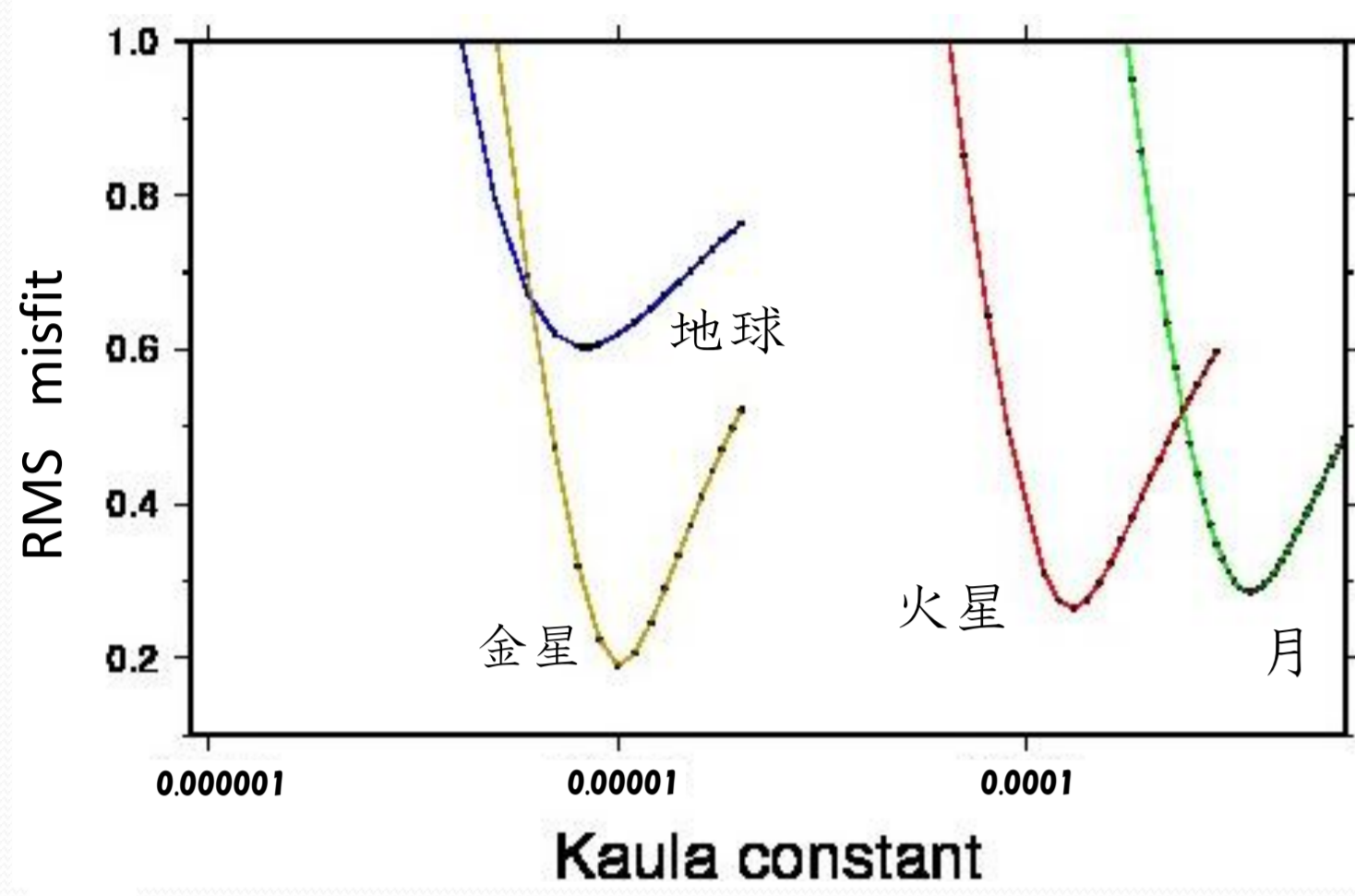


重力異常の振幅が次数の2乗に反比例して小さくなることに対応している



4 カウラ定数の推定

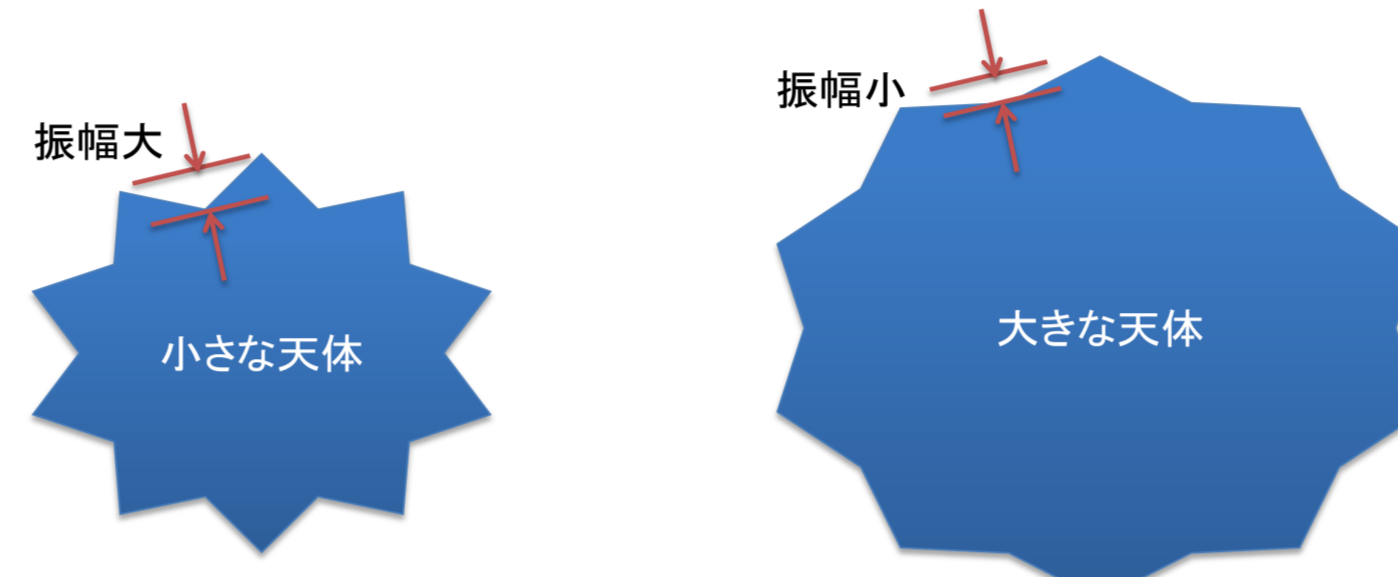
灰色の曲線と実測値の誤差が最小になる値を求めた



灰色の曲線と実測値の誤差が最小になる値は地球が0.0000082,火星が0.00013,月が0.00035,金星が0.00001

5 スケーリング則 (Kaula,1963)

カウラ定数 (カウラ則の比例定数) が表層重力の二乗に反比例して係数が小さくなる



小さな天体ほど重力異常が大きいので波長が長くなる → 振幅大

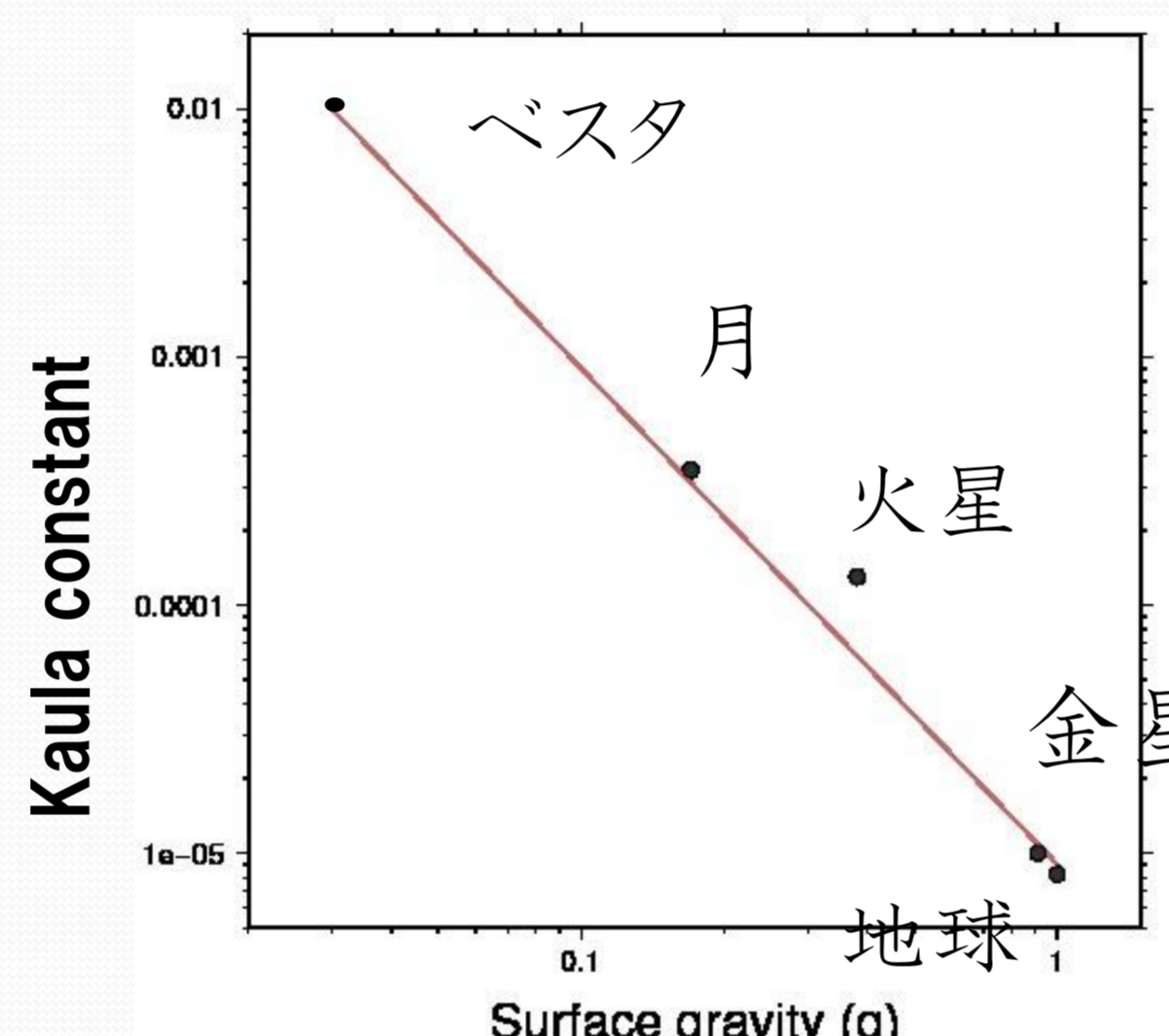
6 小惑星ベスタ

火星と木星の間を公転している

NASAが2007年に打ち上げた探査機ドーンが可視光と赤外線で見つけたマッピング分光計のデータとフレーミングカメラによるモザイク撮影画像から、地表の地形・組成図を作成した。しかし、探査機の軌道変化から重力分布を計算したわけではない。

NASAホームページより

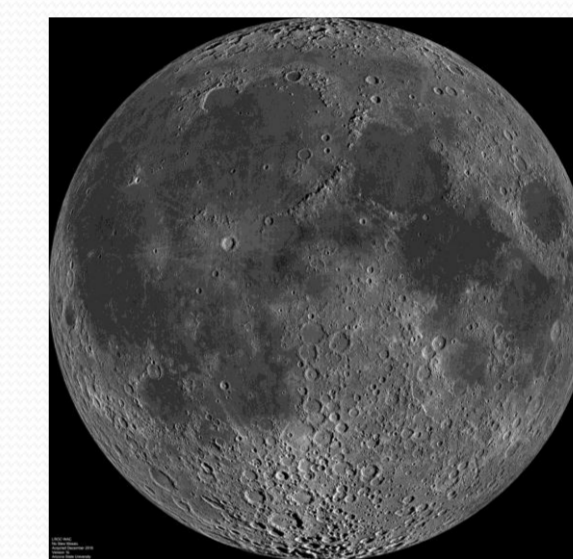
7 重力とカウラ定数のスケーリング則



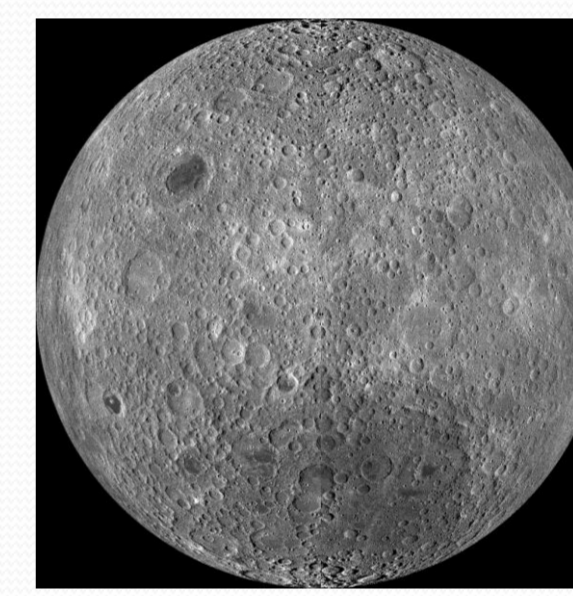
ベスタのカウラ定数は地形モデルから推定されたもの

縦軸はカウラ定数、横軸は表層重力、赤い直線はスケーリング則。ベスタ・月・火星・地球・金星はこの直線上に乗っているためスケーリング則が成り立っているとされる。水星はこの法則から大きくずれることがわかっている。それは金属コアの半径が相対的に大きいため重力異常が低次の部分で小さくなるためである。つまり法則のずれから物性や熱の議論ができる。

8 月の表裏の二分性



表は
・地殻が薄い
・平坦な地形
・玄武岩の海が比較的多い
・放射性物質が多い
・海が正の重力異常を示し
他の異常は小さい



裏はこれと正反対

NASAホームページより

9 二分性の原因(仮説)

1:潮汐作用 (Garrick-Bethell et al., 2010)

かつて月-地球の距離が小さかった時代に、月の表側の潮汐力が裏より大きく、表側に潮汐加熱が効果的に働いた

2:衝突 (Jutzi & Asphaug, 2011)

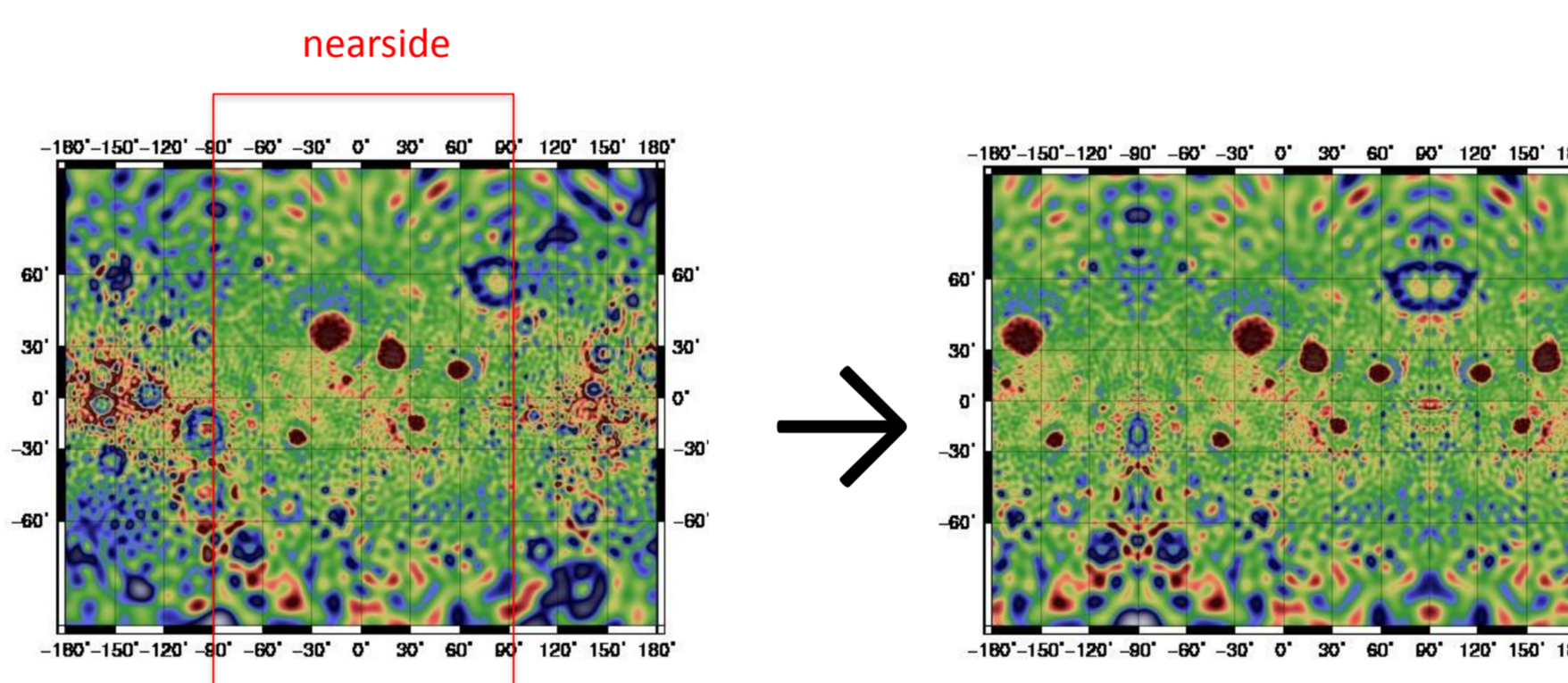
ジャイアントインパクトで生じた小さな月 (a companion moon)が月の裏側に衝突堆積し、地殻が厚くなった

3:衝突 (Nakamura et al., 2012)

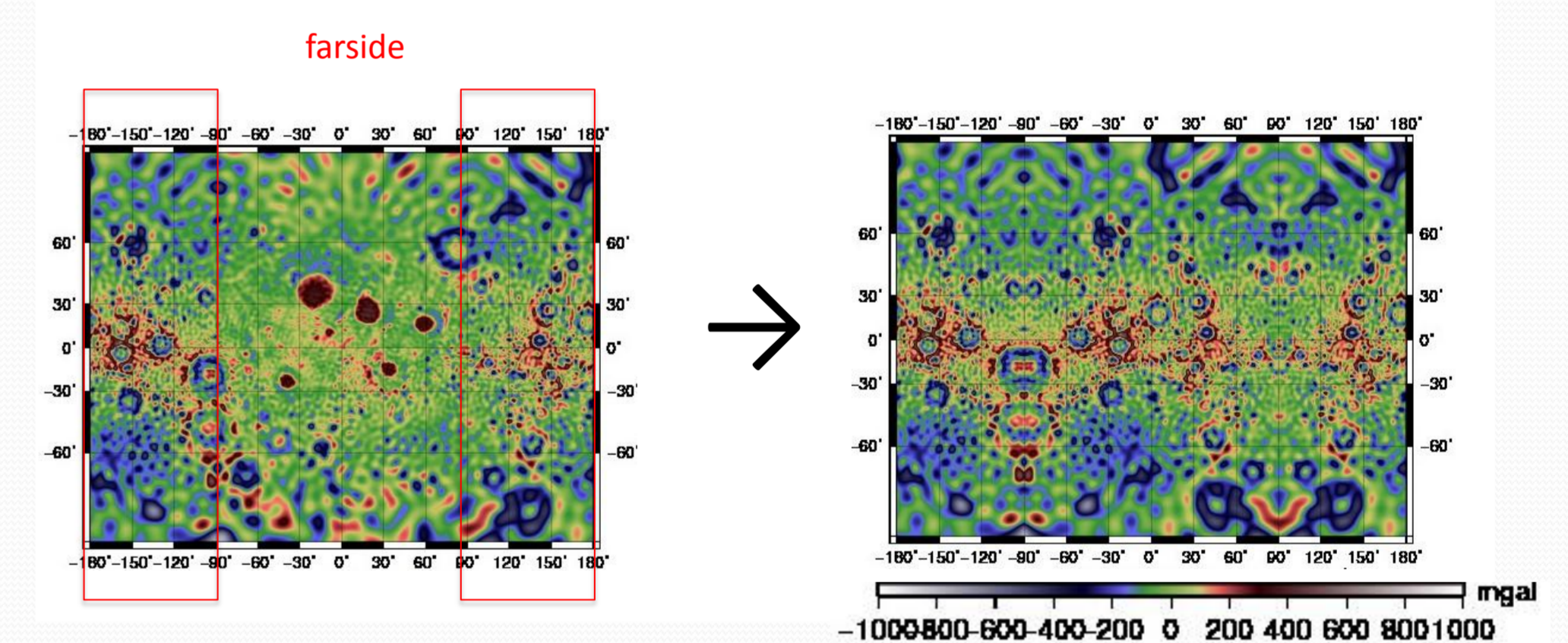
大きな衝突によって嵐の大洋 (Procellarum basin)が生じ、表側表層が再熔融した

月の表裏の熱史の違いは、重力場に反映されているだろうと考えられる。もしそうであれば表裏でカウラ定数が異なる可能性があるが、本質的にグローバルな関数である球関数を半球でどう定義するかが問題となる。そこで、全球が表または裏の仮想的な月の重力場地図を作成した。月は表が経度0~90,270~360度で裏が270~360度である。本来裏(表)の部分に表(裏)の重力場を反映させた。

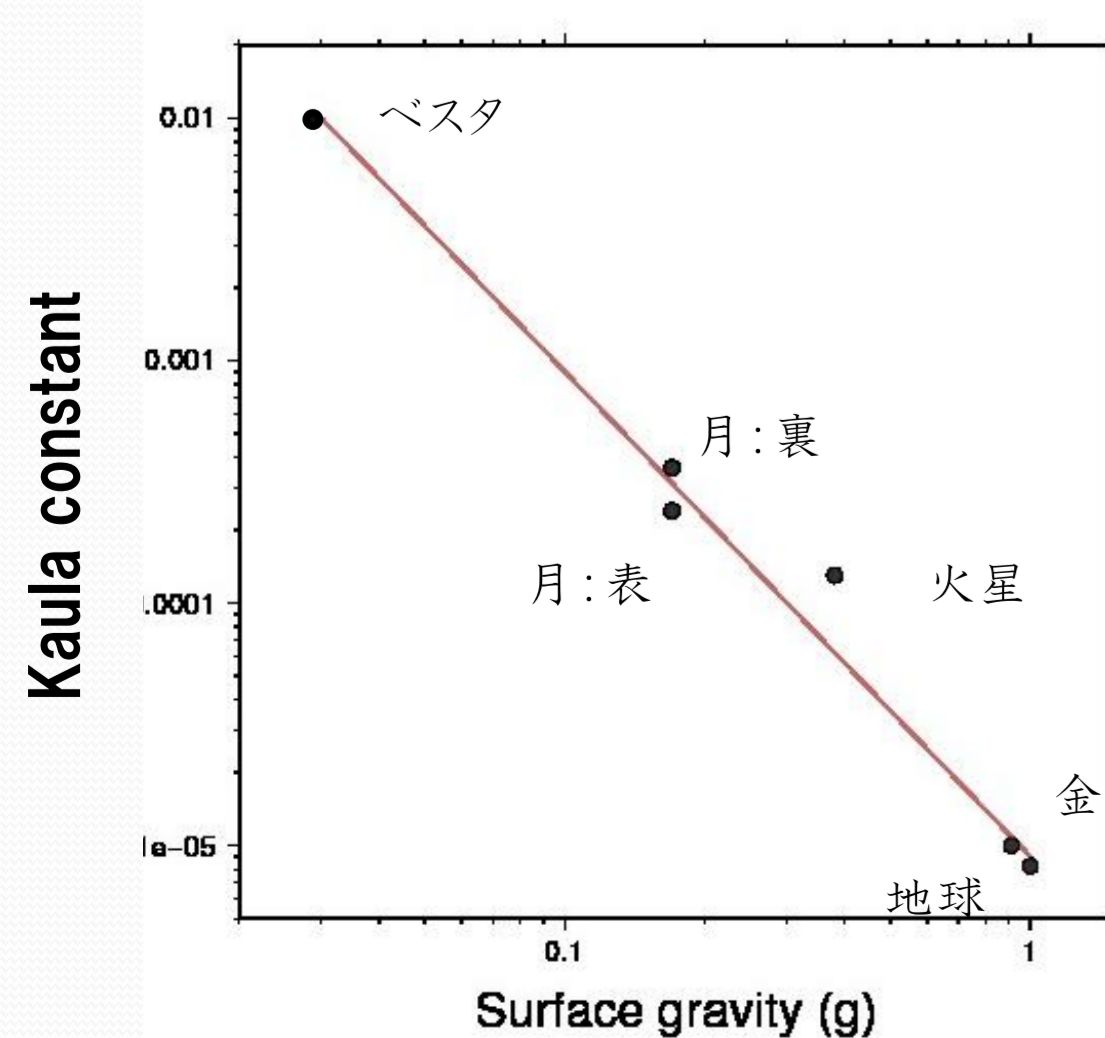
10 仮想的な月その1:全球が表



仮想的な月その2:全球が裏

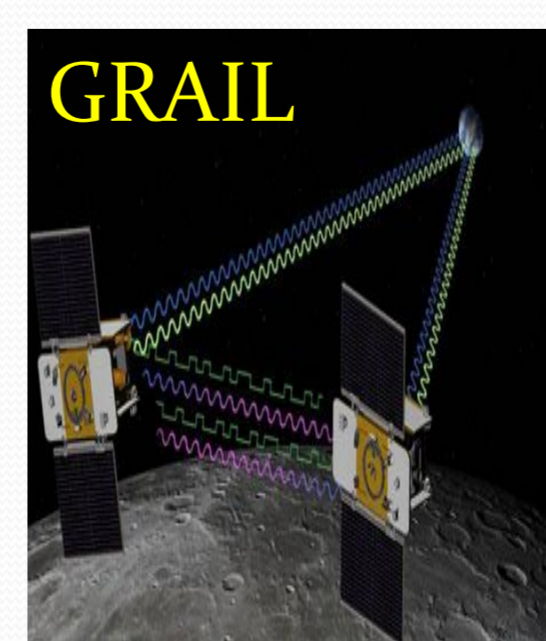


13 月の表裏のカウラ定数を含めた本研究でこれまで天体間で比較していたスケーリング則

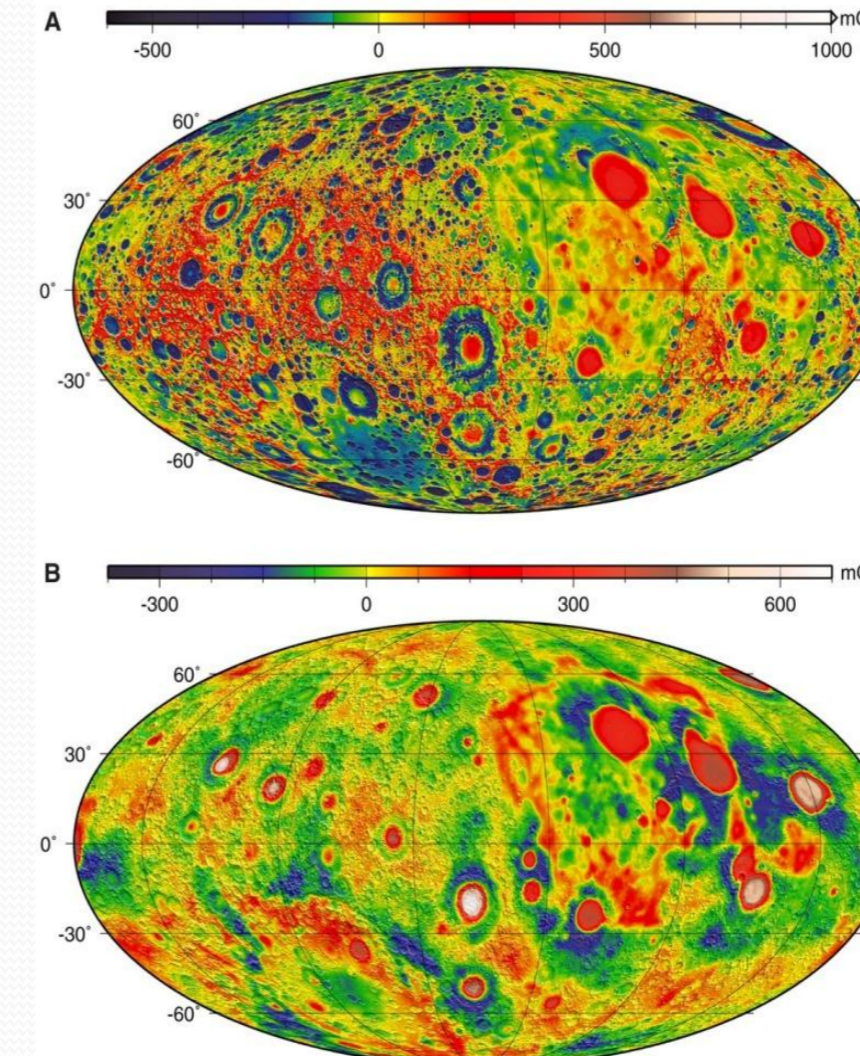


カウラ定数を天体内での違いに応用することで、重力異常の程度の違いやそれをつくりだした熱史の違いが二分性に関与していることを証明できる。表側よりも裏側の方が重力異常が相対的に大きいため、予想通り裏側のカウラ定数が大きくなった。しかし表裏でカウラ定数が異なるといっても(表0.00024、裏0.00036)それほど大きな違いはないことが左図からわかる。天体内でのカウラ定数の違いは熱史の違いを反映している。

14 まとめと今後の研究について



NASAホームページより



Maria T.Zuber et al.2012 より

熱史の違いによる重力異常の変化はカウラ定数に反映されるのでカウラ定数を調べることは、いろんな天体の物性の違いを探るだけでなく1つの天体内でそれを応用することで熱史などの歴史を解明することに繋げられるので科学的にとっても興味深い研究だと思われる。そしてこれからは火星の二分性や水星の重力場、月の詳細な重力場地図の作成をしていきたい。

Reference

- ・Garrick-Bethell et al., Science, 949-951,2010
- ・Jutzi & Asphaug, Nature,69-70,2011
- ・Nakamura et al., Nature Geosci,775-777,2012
- ・Kaula,1963
- ・Zuber et al.,Science express,1-3,2012