



微生物付着ダストの惑星間移動の 可能性に関する研究

Interplanetary transfer of dust particles:
an orbit simulation

磯部洋明^{1,2}、星賢人³、山川宏^{2,3}、小嶋浩嗣³、坂東麻衣⁴、柴田裕実⁵

1京都大学学際融合教育研究推進センター

2京都大学宇宙総合学研究ユニット

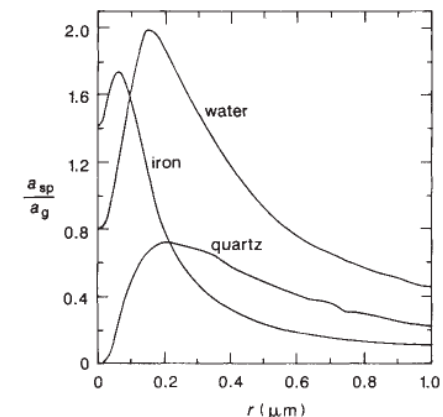
3京都大学生存圏研究所

4九州大学大学院工学研究院

5大阪大学・産業科学研究所

背景

- 京都大学総合博物館・大野照文館長(古生物学)
「地球と火星の間には、隕石を乗り物にして生命の行き来がかなり頻繁にあったんじゃないかと思うねんな...
地球が全球凍結で凍ってしまってる間は火星で生命が生き延びて、また戻ってくるとか...」
- “The rocky road to panspermia” Melosh 1988, Nature
- その頃惑星間空間では隕石だけでなく彼も飛んでいた。
- 磯部 「隕石よりずっと小さいダストだったら、太陽光圧でもっと早く惑星間旅行できないですかねえ...」
- 1 μm 以下だと、重力より太陽光圧が効くようだ。
“Microorganism transport from Earth to Mars”
Moreno 1988, Nature

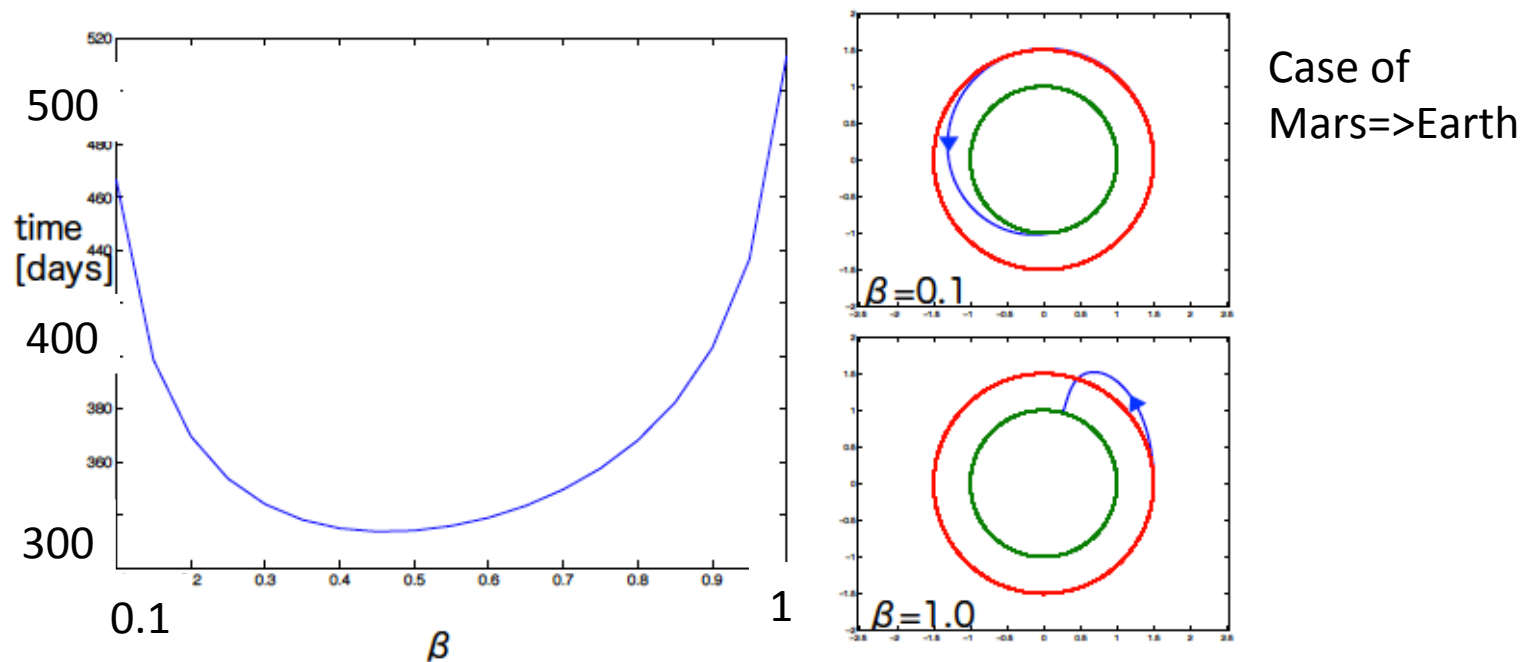


Moreno 1988

そうだ、軌道工学の専門家に聞いてみよう

- 汎関数法を用いた最短軌道の計算(坂東)

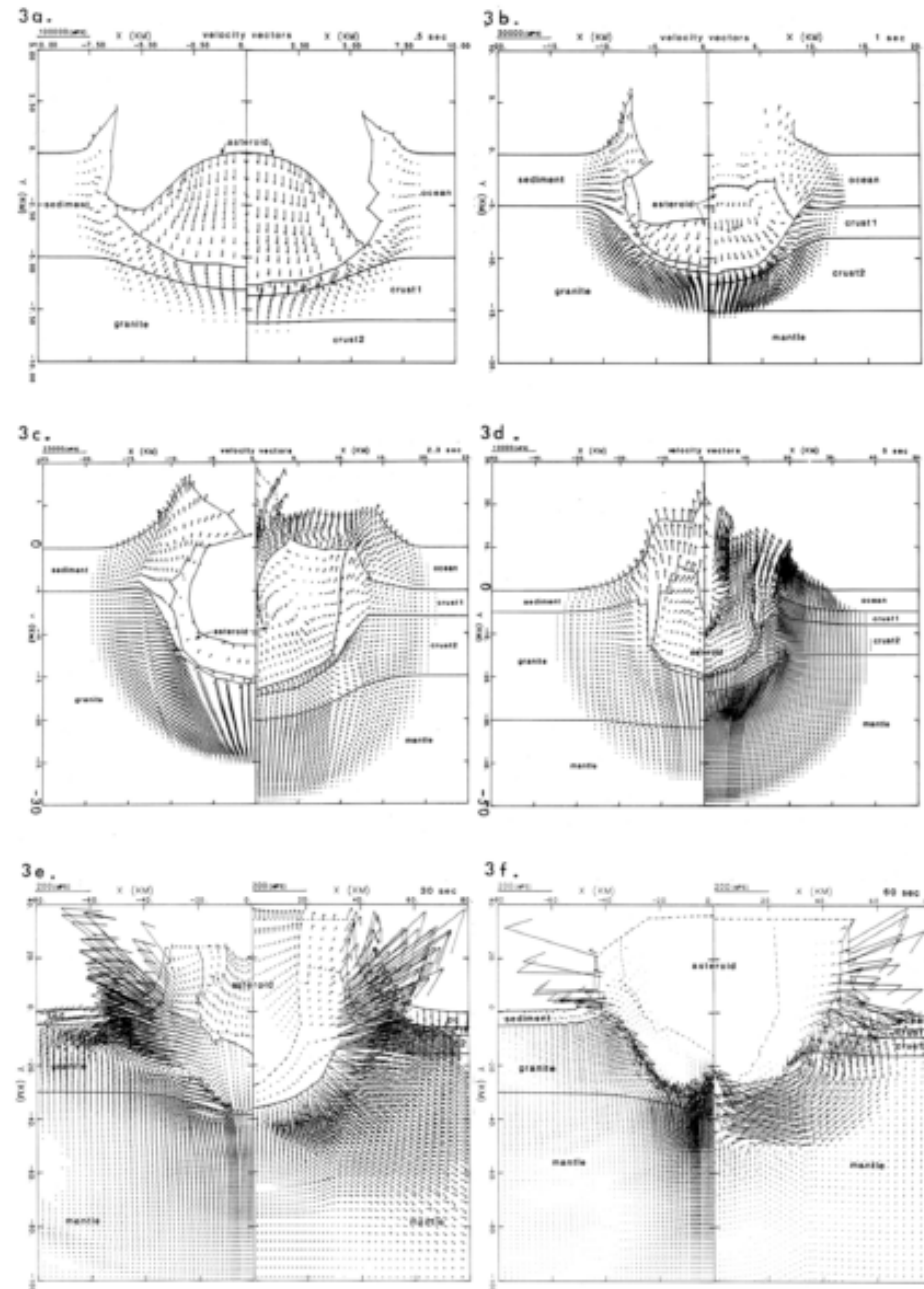
- β (ratio of solar radiation pressure acceleration to the solar gravitational acceleration) vs. time with minimizing control



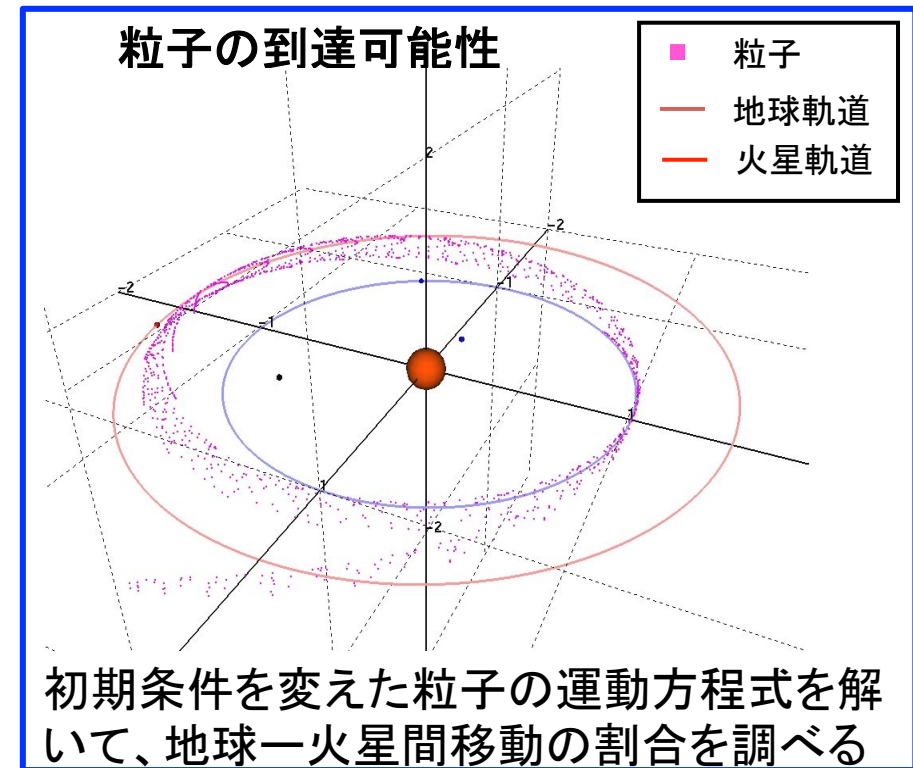
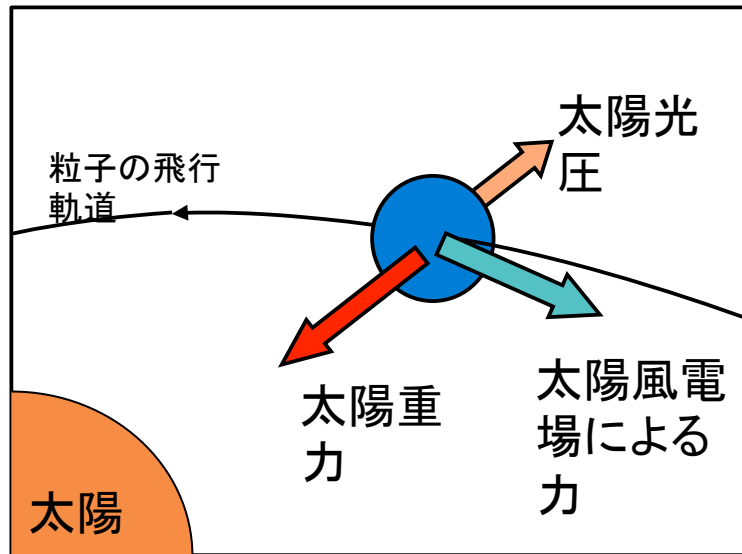
- Shortest orbit of Mars $\Leftrightarrow$ Earth: <1year

隕石は少ないけどダストはたくさんあるし(Power law)...

隕石衝突の時に衝撃波でやらずに吹き飛ばされるのもありそうだし...



軌道シミュレーション



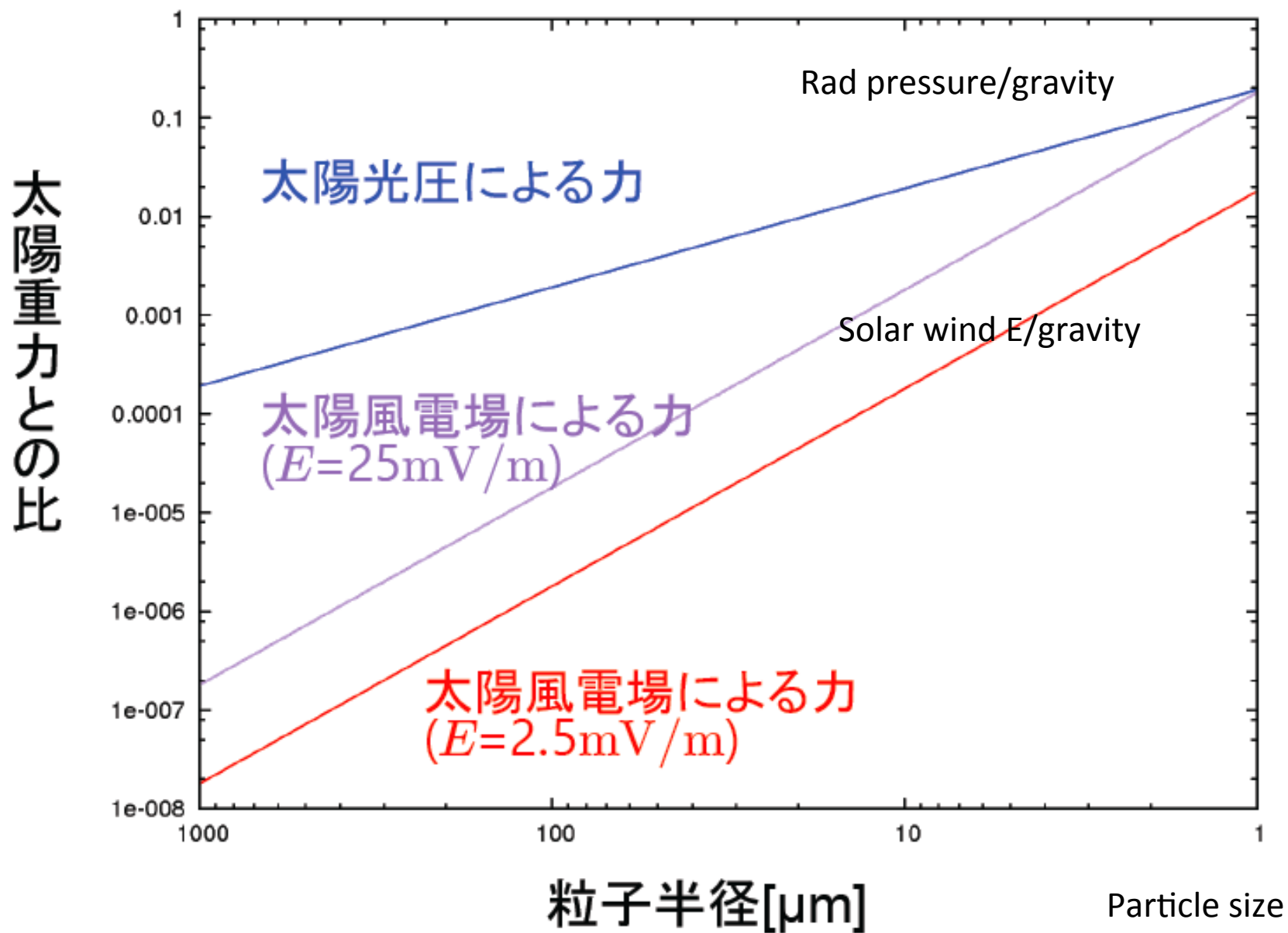
Forces on a dust

太陽重力 $\mathbf{F}_G = \frac{GM_{sun}m_d}{r^3} \mathbf{r}$

惑星重力 $\mathbf{F}_{planets} = \sum_{M,V,E,M,J,S} \frac{GM_p m_d}{|\mathbf{r}_p - \mathbf{r}|} (\mathbf{r}_p - \mathbf{r})$

太陽光圧 $\mathbf{F}_{ph} = \frac{2AW_E \gamma_R \gamma_M}{c} \left(\frac{R_E}{r} \right)^2 \frac{\mathbf{r}}{r}$ A:ダスト面積, W_E :太陽輻射エネルギー流束
 γ_R : 反射係数, γ_M : Mie散乱補正

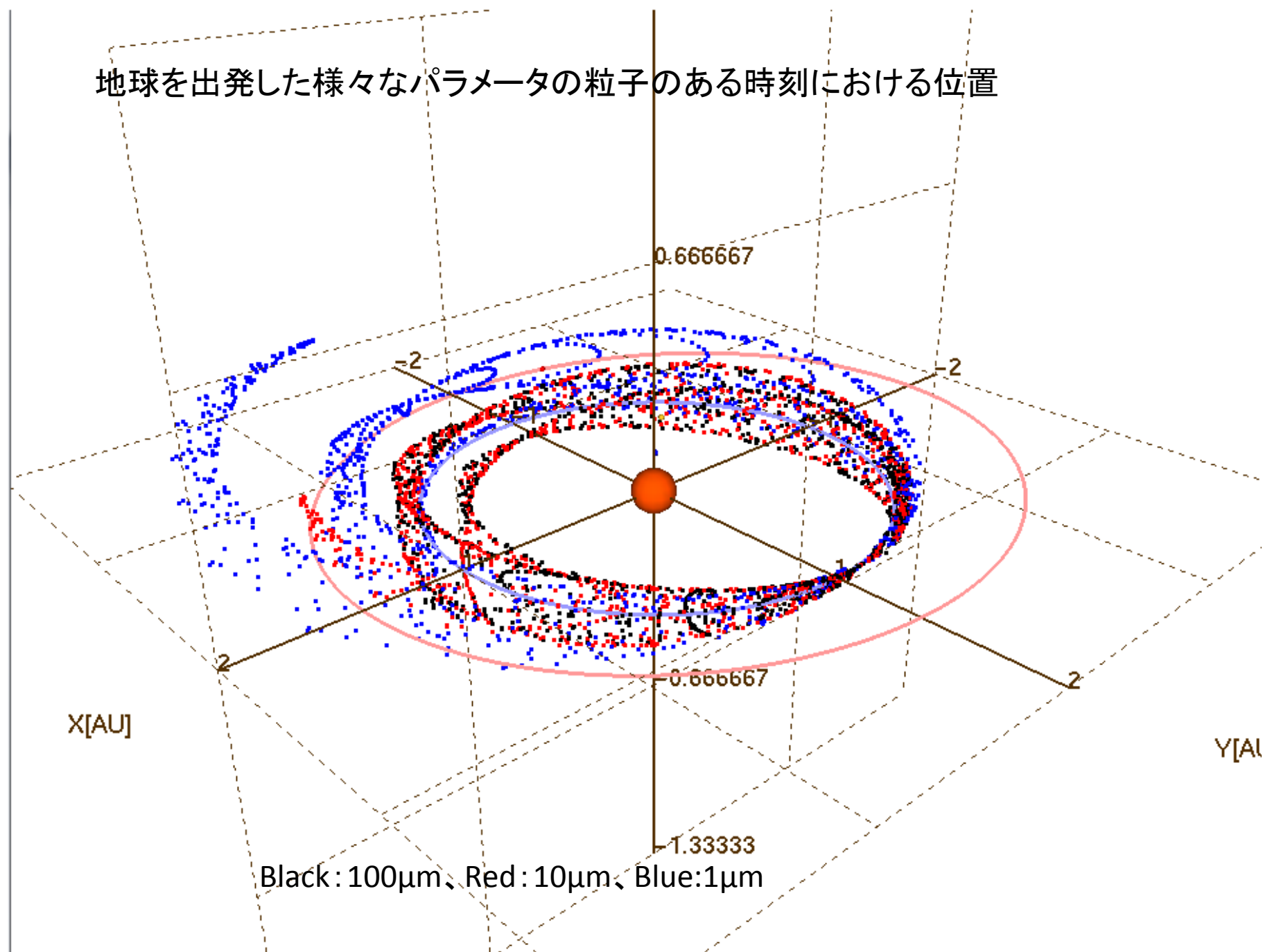
太陽風電場 $\mathbf{F}_E = q\mathbf{E} = -4\pi\epsilon_0 aU \{(\mathbf{V} - \mathbf{v}_d) \times \mathbf{B}\}$ V:太陽風速度
 $\mathbf{v}_d$: ダスト速度
 U: ダスト電位~5Vと仮定
 a: ダストサイズ $A \sim \pi a^2$

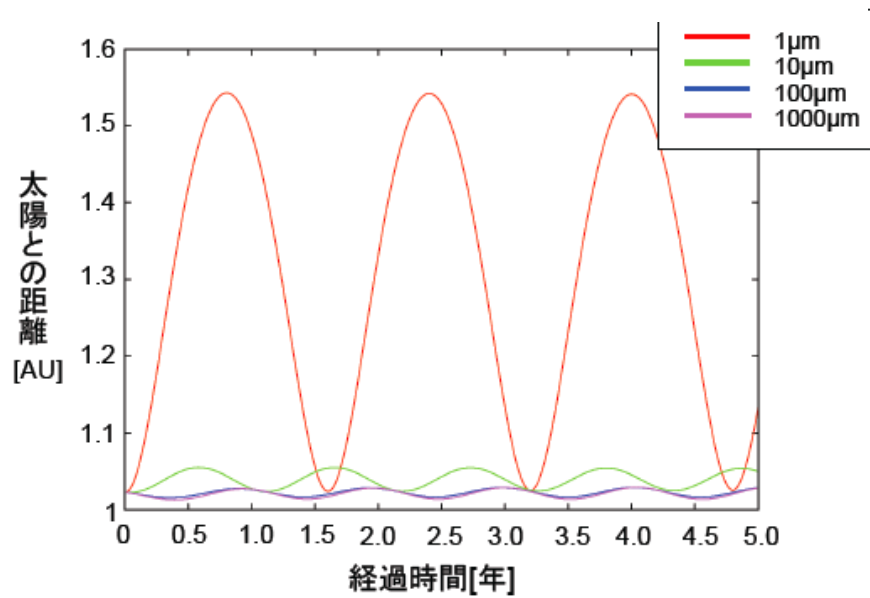
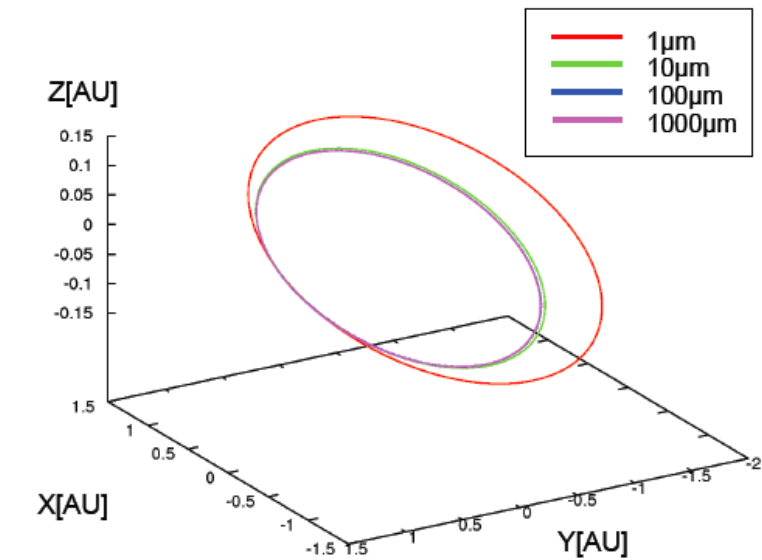


初期条件

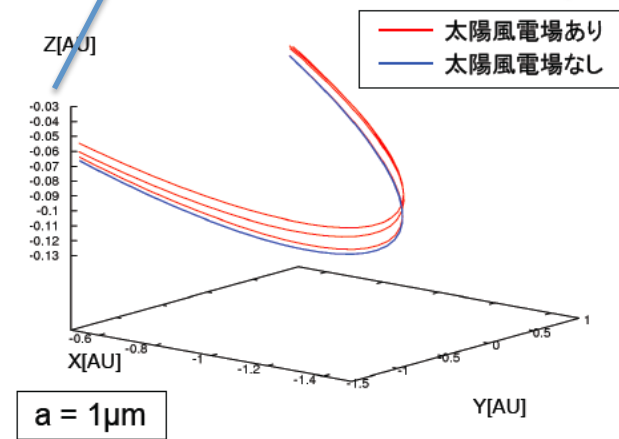
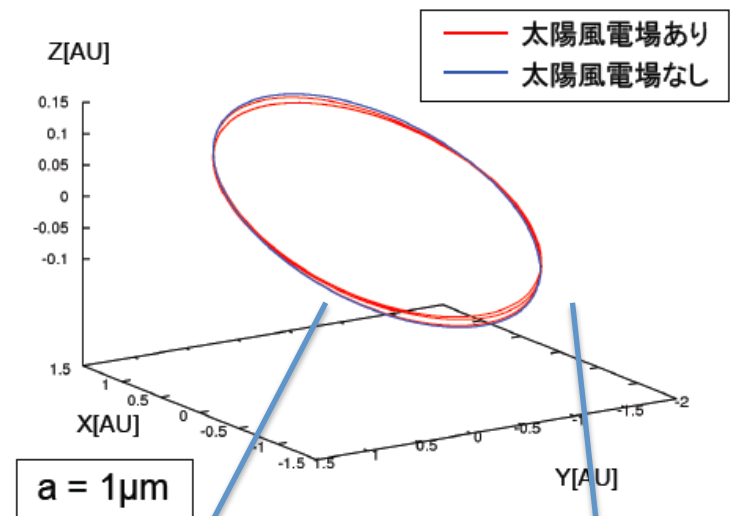
- 粒子は球形、密度 $3 \times 10^3 \text{ km m}^{-3}$ 、反射係数 $\gamma_R = 0.5$
- 粒子半径 $a = 1, 10, 100, 1000 \mu\text{m}$
- 出発惑星(地球or火星)の重力半径だけ公転軌道の外側or内側に離れた点で、初速度 $|v_d| = 0.1, 1, 2, \dots, 10 \text{ km s}^{-1}$ を持つ。
- 方向は $-90^\circ \sim \phi \sim 90^\circ$ 、外側の粒子は $0^\circ \sim \theta \sim 180^\circ$ 、内側の粒子は $-180^\circ \sim \theta \sim 0^\circ$ をの範囲を 1° ずつ変化させる。(今までのところ、乱数を振ったわけではない)
- 出発時の惑星の相対関係は4パターン
- 太陽風は、 $\sim 1 \text{ AU}$ in 黄道面におけるその場観測(ACE衛星)から適当な期間を抜き出したものを用いる。磁場は太陽からの距離の2条で減衰、速度はUlyssesの(太陽静穏期の)観測に合うよう、高緯度で高速になるよう補正(わりと適当)
- 地球出発と火星出発、それぞれ1140万4800通りについて計算
- 相手惑星の重力半径内に入ったら、その惑星に「到着した」とみなして計算終了
- 重力半径: 惑星による重力と潮汐力の和が太陽重力を上回る範囲。惑星半径を d_p として、近似的に $(M_p/M_{\text{sun}})^{2/5} d_p$ で与えられる。

地球を出発した様々なパラメータの粒子のある時刻における位置





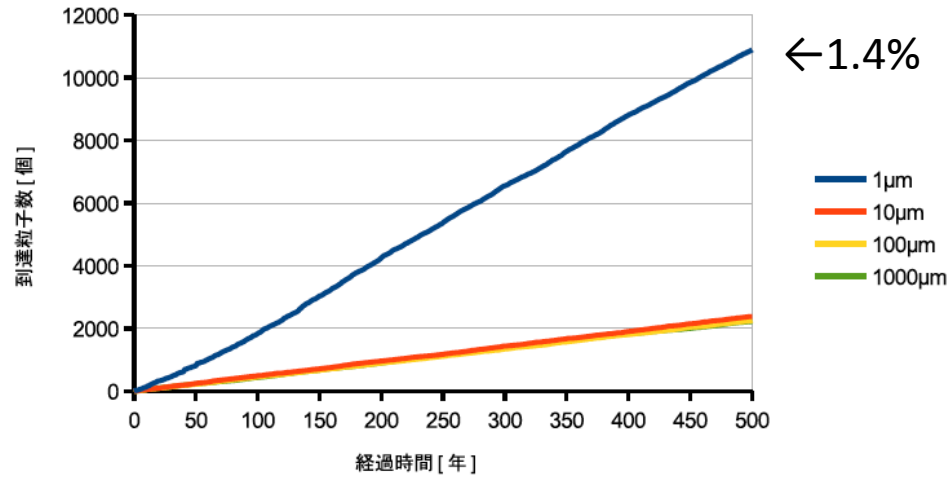
Effect of radiation pressure significant in $<10\mu\text{m}$



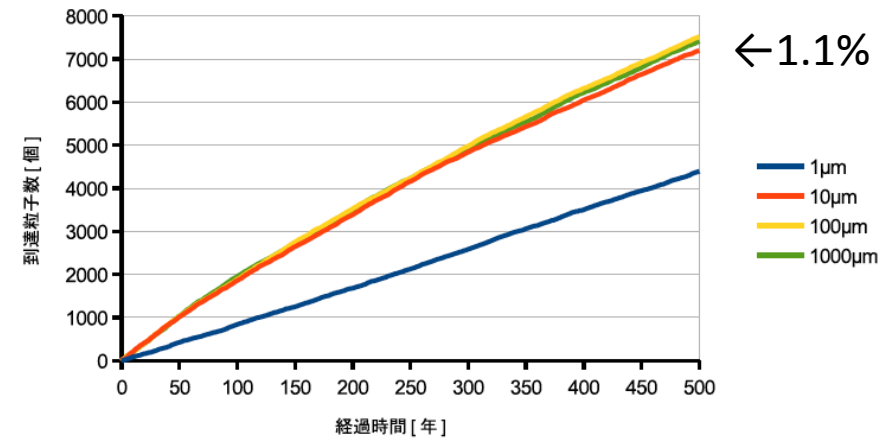
Effect of solar wind: perturb the orbit

Number of particle arrived (500 years integration)

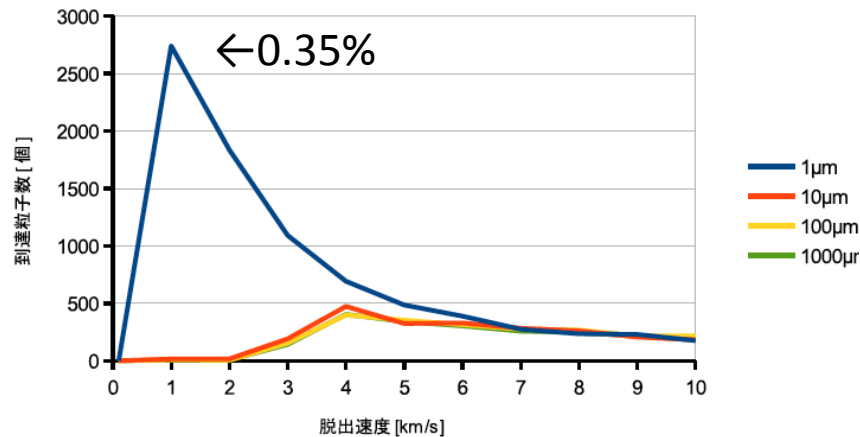
From Earth, outward



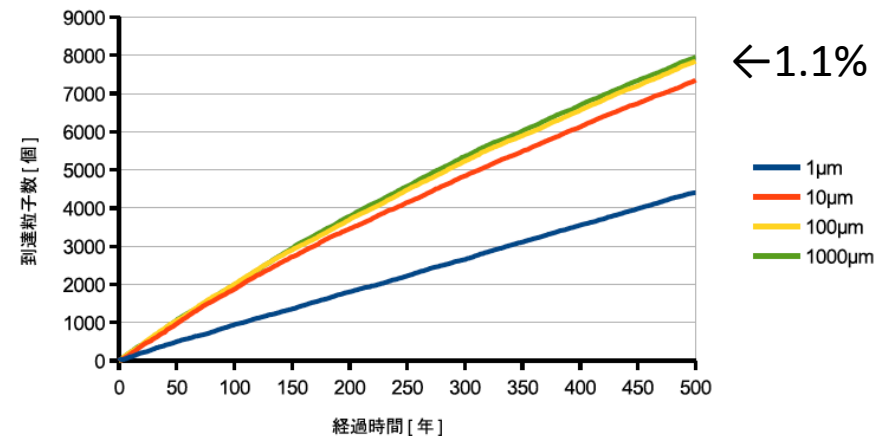
From Mars, outward



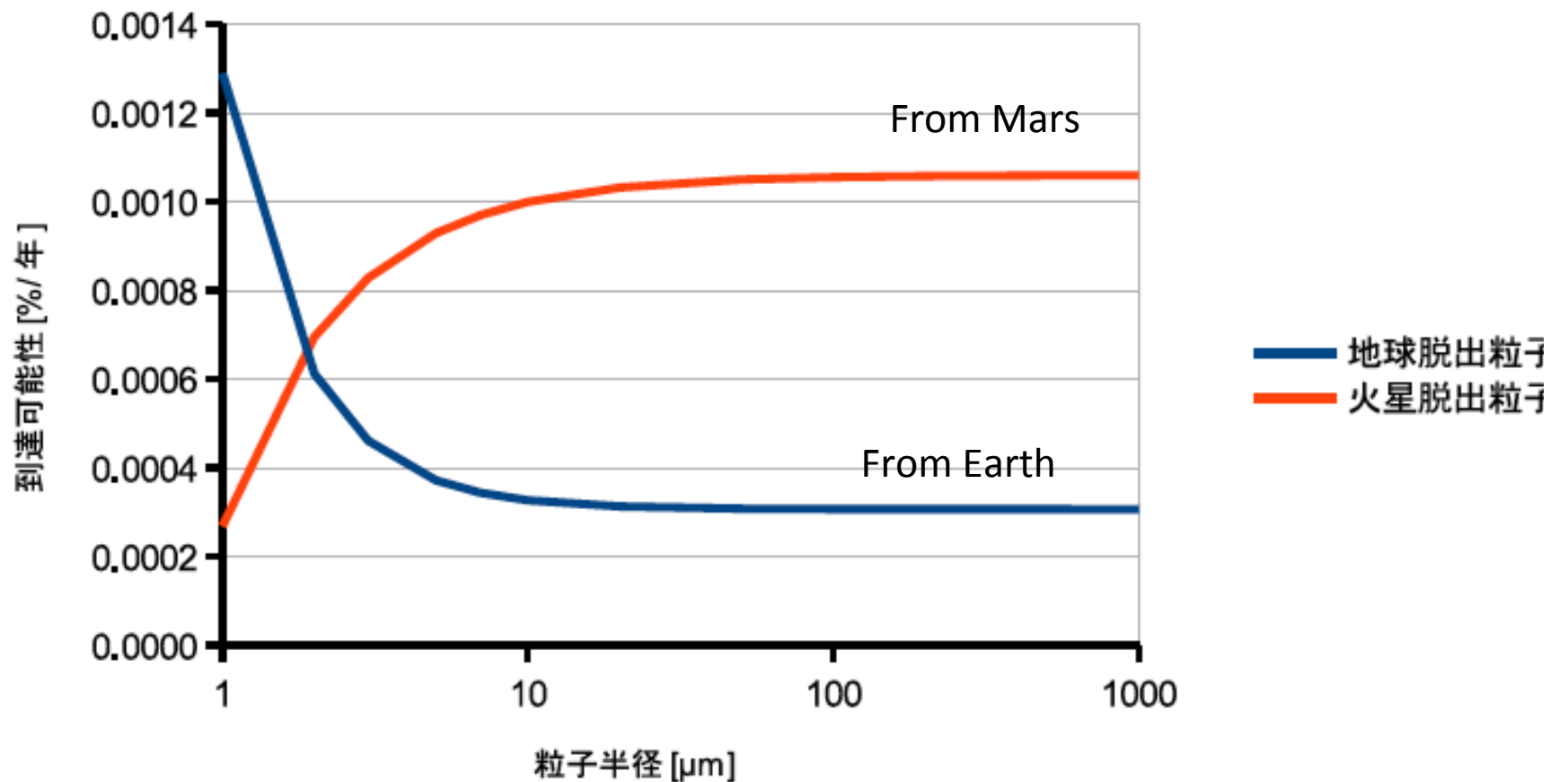
From Earth, inward



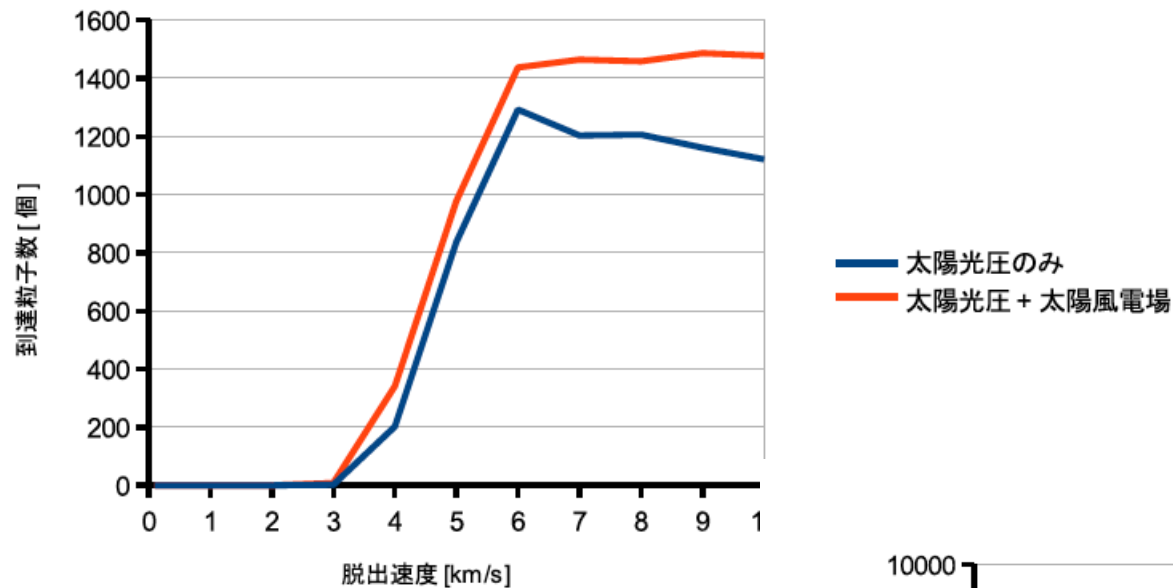
From mars, inward



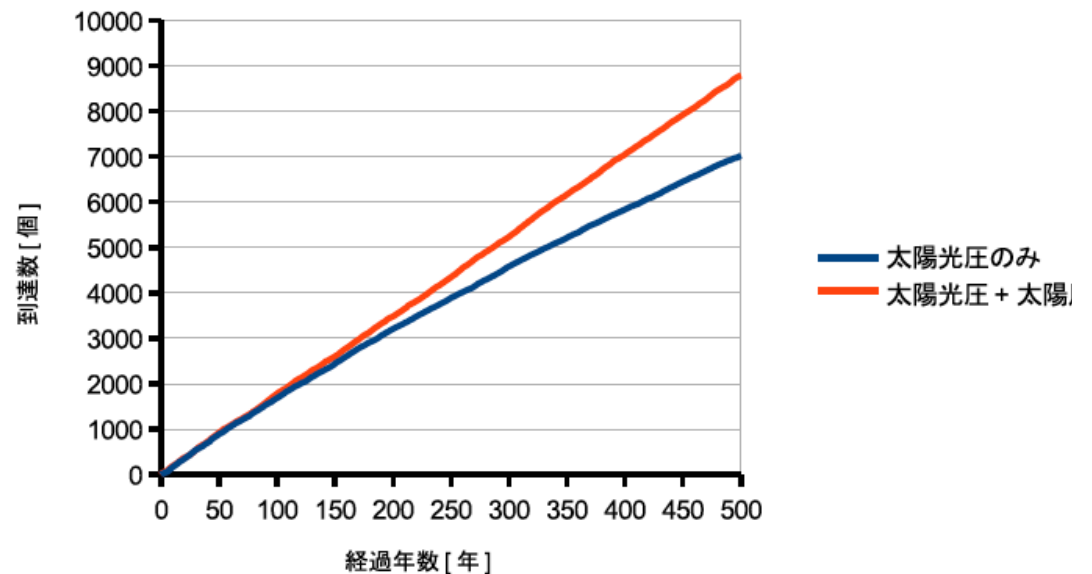
Particle size and probability of arrival



Turbulent solar wind increases the arrival probability?



Conjecture: solar wind perturb the orbit so that the volume in space-time occupied by the particle orbits increases.



まとめ

- $<10\mu\text{m}$ 程度のダスト(密度が小さければもう少し大きくても)は太陽光圧が効く(オーダー計算で分かる)
- 最短航路は1年弱(まあballisticでもそうだけど)
- 500年以内にざっくり1%くらいは地球 $\leftrightarrow$ 火星移動する。
 - オーダー計算でも分かりそうな気はするが、思ったより多い？
- 太陽光圧は特に地球 $\Rightarrow$ 火星の到達確率を増大させる
- 太陽風電場による擾乱は到達確率を増大させる
 - ダストの形状により、太陽光圧による力が変化しても同じ効果があると思われる
- 小惑星衝突で巻き上げられる微生物(or生命関連物質)の数、宇宙空間での生存可能性、行き先の星での着陸の仕方などの検討中