# Tidally induced velocity gradients in the Milky Way dwarf spheroidal satellites

Martínez-García, Alberto Manuel et al. (2022) https://arxiv.org/abs/2206.06339 GAゼミ Aug 31, 2022, 松井

**[Abstract]**
Carina、Draco、Fornax、Sculptor、Sextans、Ursa Minorの6つの矮小楕円体銀河(dSph)について、3次元の内部運動を調べた。その結果、銀河系に近いdSphや近点に向かっているdSphは平均して大きな速度勾配を持ち、近点から比較的最近離れたdSphは大きな速度勾配を持たず、銀河系中心からの距離が大きなdSphは中程度の強さの勾配を待つことが分かった。これはdSphが近点に近づくと、銀河系の強い潮汐力によるトルクによって強い速度勾配が発生していると考えらえる。またdSphが近点に近づくと潮汐力の方向が急激に変化するため速度勾配が乱れ、遠ざかるにつれて回復する可能性がある。これらをTNG50シミュレーションから解析・評価した。

**[Goal]** 銀河系周辺のdSphの内部速度勾配を調査し、速度勾配が生じた原因を究明する。

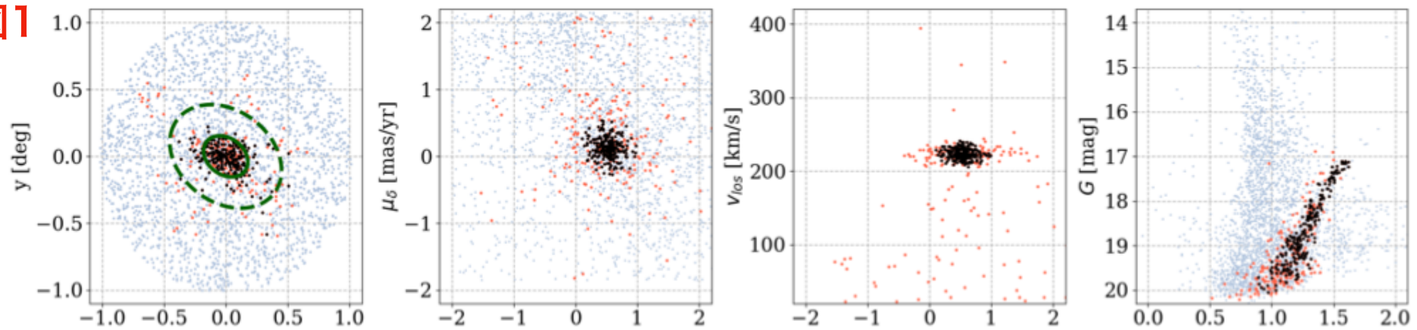
**[Originality]** 先行研究の結果と本研究の結果との整合性を確認するため、本研究で得られたサンプルを用いて多数の先行研究の結果を再現している点。さらにシミュレーションを用いて本研究の結果を評価している。

**[Logic]**

**方法：**

Gaia DR3データからメンバー星の選択→速度の視線方向成分 $v_{\rm los}$ を含む先行研究と、Gaiaデータのクロスマッチ→クリーニングを実行(del Pino et al. (2021))(図1) →これらの系の内部運動を調べ、内部の速度勾配を検出→先行研究の検証・シミュレーションで再現

図1




**結果(表1)：**

- Car, Dra, For, UMiで、$v_z$ に顕著な速度勾配があることが分かった
- 天球面における回転による速度勾配の振幅 $A^{V_T}_{\rm grad}$ より、Car, Forでは時計回りの回転が顕著
- $v_z$ の勾配とMW-dSphの距離との関係に顕著な傾向はなかった

表1

| Galaxy | $d_{GC}$ (kpc) | $n_*$ | PA (deg) | $b$ (km s$^{-1}$) | $\sigma_{v_z}$ (km s$^{-1}$) | $A^{v_z}_{\rm grad}$ (km s$^{-1}$ kpc$^{-1}$) | $A^{V_T}_{\rm grad}$ (km s$^{-1}$ kpc$^{-1}$) | $v_R^{GC}$ (km s$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Draco | $75.9 \pm 5.9$ | 274 | $144^{+35}_{-35}$ | $0.18^{+0.48}_{-0.48}$ | $7.96^{+0.36}_{-0.33}$ | $5.01^{+3.46}_{-3.46}$ | $8.4 \pm 22.6$ | $-103.44 \pm 0.66$ |
| Ursa Minor | $77.8 \pm 3.5$ | 329 | $327^{+43}_{-44}$ | $-0.07^{+0.41}_{-0.41}$ | $6.88^{+0.32}_{-0.30}$ | $2.76^{+2.42}_{-2.42}$ | $2.5 \pm 19.3$ | $-81.00 \pm 0.51$ |
| Sculptor | $86.1 \pm 5.5$ | 930 | $127^{+100}_{-100}$ | $0.25^{+0.27}_{-0.27}$ | $7.69^{+0.20}_{-0.19}$ | $0.76^{+1.18}_{-1.18}$ | $4.1 \pm 9.1$ | $75.88 \pm 0.46$ |
| Sextans | $89.0 \pm 3.9$ | 146 | $246^{+91}_{-91}$ | $-0.29^{+0.51}_{-0.51}$ | $5.59^{+0.40}_{-0.36}$ | $1.08^{+1.58}_{-1.58}$ | $15.0 \pm 21.0$ | $86.96 \pm 0.72$ |
| Carina | $106.8 \pm 6.3$ | 236 | $81^{+49}_{-49}$ | $-0.27^{+0.46}_{-0.46}$ | $6.16^{+0.36}_{-0.33}$ | $3.01^{+1.83}_{-1.84}$ | $25.2 \pm 23.4$ | $8.79 \pm 0.67$ |
| Fornax | $149.1 \pm 12.1$ | 1748 | $153^{+21}_{-21}$ | $-0.14^{+0.28}_{-0.28}$ | $11.02^{+0.20}_{-0.19}$ | $1.30^{+0.45}_{-0.45}$ | $4.5 \pm 3.0$ | $-35.11 \pm 0.31$ |

**議論：**

- 現在近点に近づいている銀河（Dra(図3), UMi）は銀河系の強い潮汐力によるトルクによって大きな速度勾配を示すと考えられる
- dSphが近点で受ける強い力は星のコヒーレントな運動のほとんどを取り除くと考えられるため、近点を通過したばかりの銀河（Scl, Sex）は最も速度勾配が小さい
- MWと距離が離れている銀河（Car, For）で観測された $v_z$ は現在のMWとの相互作用によるものではなく、過去のMWや他の系との相互作用、あるいは系の内部回転の結果である可能性が高い
- シミュレーションの結果、MWとの相互作用がdSphの内部運動に影響を与えるという有力な証拠を得られ、本議論と一致した

図3

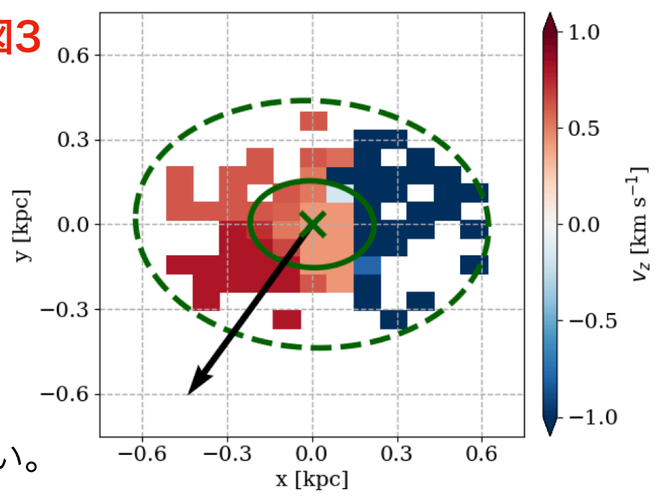
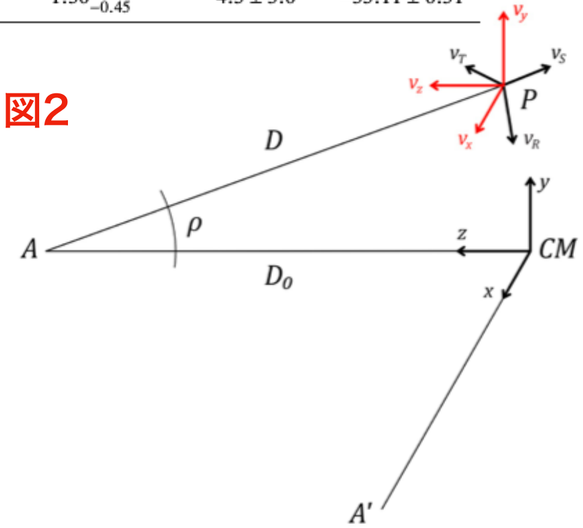



図2




**[Comment]** 他のdSphや、MWだけでなくM31の衛星銀河についても知りたい。

図6

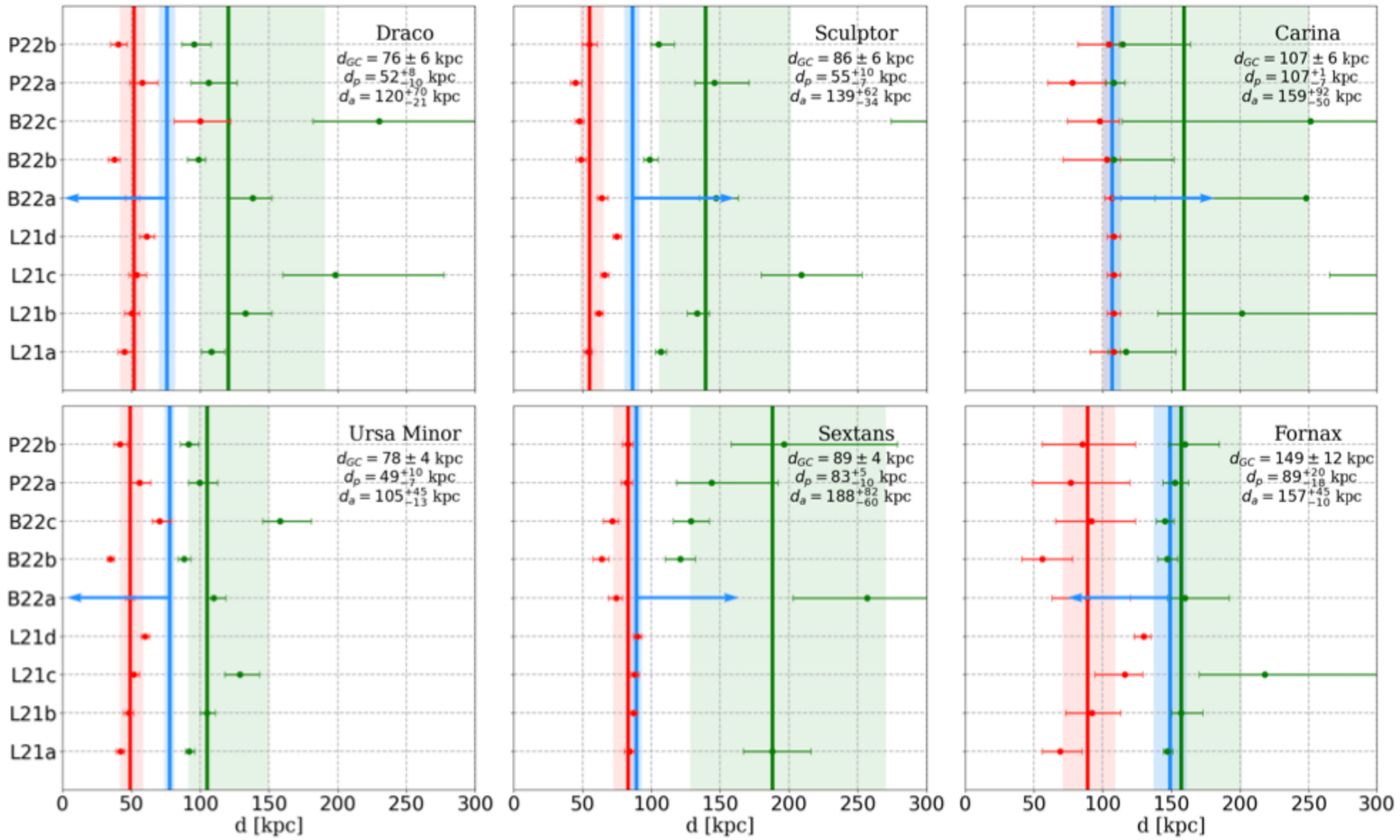

Draco
$d_{GC} = 76 \pm 6$ kpc
$d_p = 52^{+8}_{-10}$ kpc
$d_a = 120^{+10}_{-21}$ kpc
Sculptor
$d_{GC} = 86 \pm 6$ kpc
$d_p = 55^{+10}_{-7}$ kpc
$d_a = 139^{+62}_{-34}$ kpc
Carina
$d_{GC} = 107 \pm 6$ kpc
$d_p = 107^{+1}_{-7}$ kpc
$d_a = 159^{+92}_{-50}$ kpc
Ursa Minor
$d_{GC} = 78 \pm 4$ kpc
$d_p = 49^{+10}_{-7}$ kpc
$d_a = 105^{+45}_{-13}$ kpc
Sextans
$d_{GC} = 89 \pm 4$ kpc
$d_p = 83^{+5}_{-10}$ kpc
$d_a = 188^{+82}_{-60}$ kpc
Fornax
$d_{GC} = 149 \pm 12$ kpc
$d_p = 89^{+20}_{-18}$ kpc
$d_a = 157^{+45}_{-10}$ kpc
P22b
P22a
B22c
B22b
B22a
L21d
L21c
L21b
L21a
d [kpc]

図7

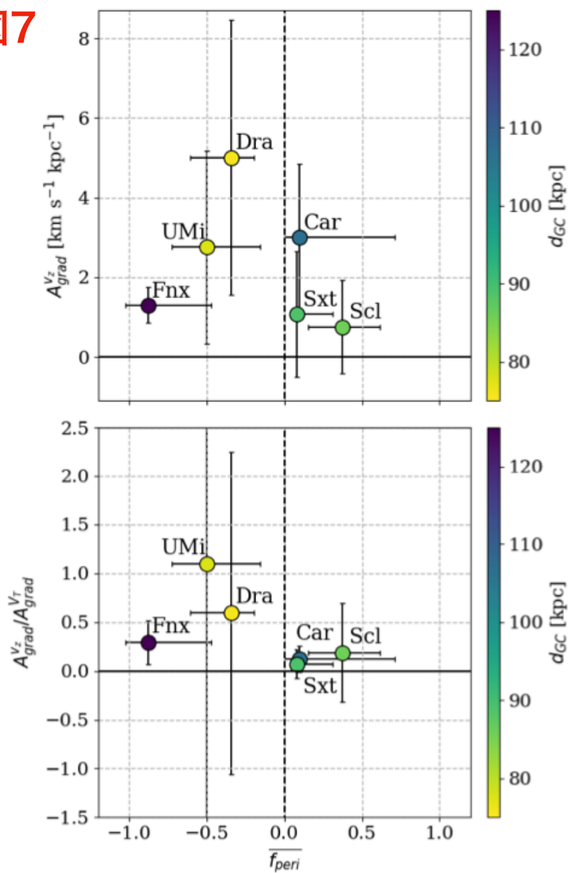
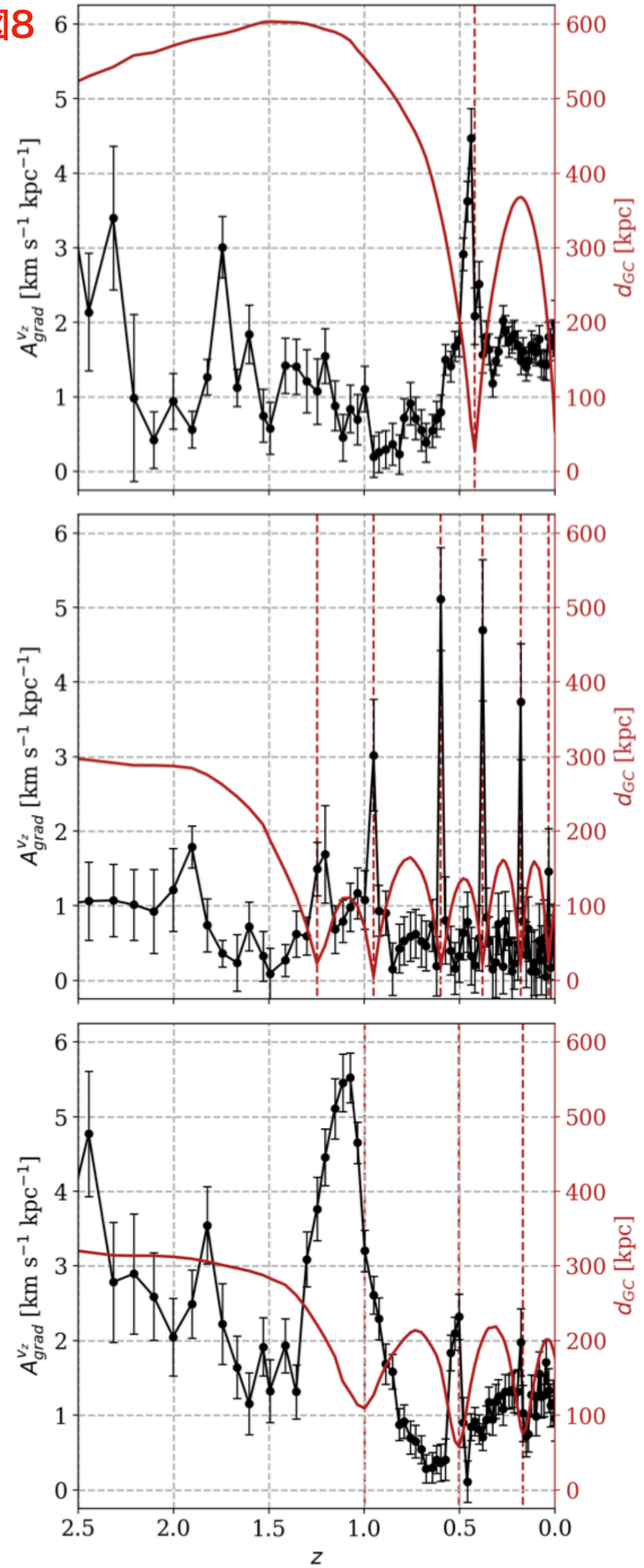

Dra
UMi
Car
Fnx
Sxt
Scl
$A^{v_z}_{grad}$ [km s$^{-1}$ kpc$^{-1}$]
$A^{v_z}_{grad}/A^{V_r}_{grad}$
$\overline{f_{peri}}$
$d_{GC}$ [kpc]

図8


$A^{v_z}_{grad}$ [km s$^{-1}$ kpc$^{-1}$]
$d_{GC}$ [kpc]
$z$