

アリの秘密

～アリはどうやって滑らかな壁を登っている？～

大阪教育大学附属高等学校天王寺校舎3年

ブランデル 葉奈

【目次】

1. 研究動機・目的
2. 関連研究
3. 仮説
4. 研究方法
5. 研究結果・考察
6. 結論
7. 展望
8. 参考文献

【研究動機・目的】



【図1】アリがガラス板を登る様子

アリが窓ガラスを登っていた

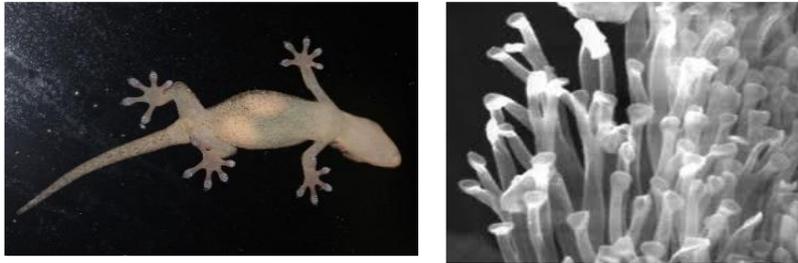


不思議に思い

アリは滑らかな壁をどうやって登っているのか明らかにする

【関連研究】

① ヤモリなどはファンデルワールス力を使用



【図2】左)ヤモリ(Wikipediaより) 右)ヤモリの足先
1) *Science*, “How Geckos Stick on der Walls”

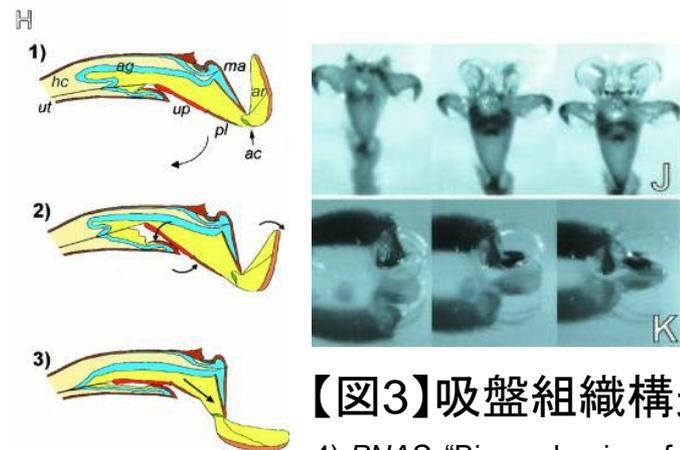
② アリには爪や毛が存在

2) *TECHNEX HP*より

③ アリは粘着物質を持つ

3) *J. Exper*, “Biomechanics of ant adhesive pads: Frictional forces are rate- and temperature dependent”

④ アリの足には吸盤組織が存在

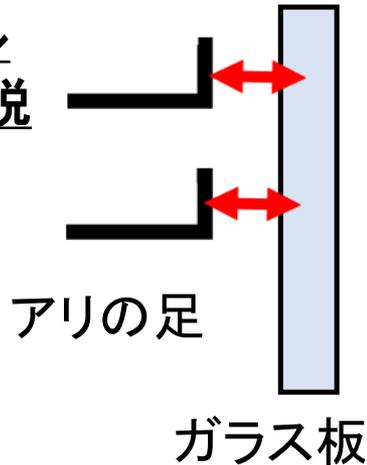


【図3】吸盤組織構造

4) *PNAS*, “Biomechanics of the movable pretarsal adhesive organ in ants and bees”

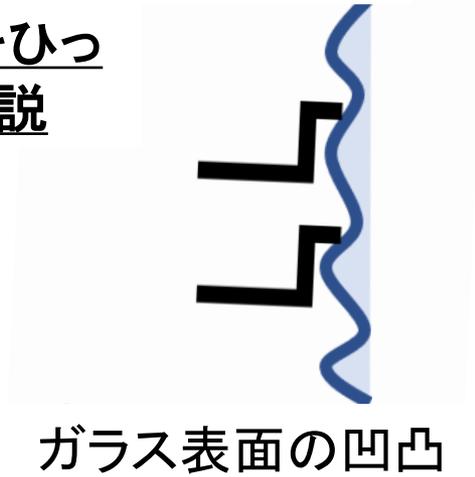
【仮説】

A: ファンデルワールスカ説



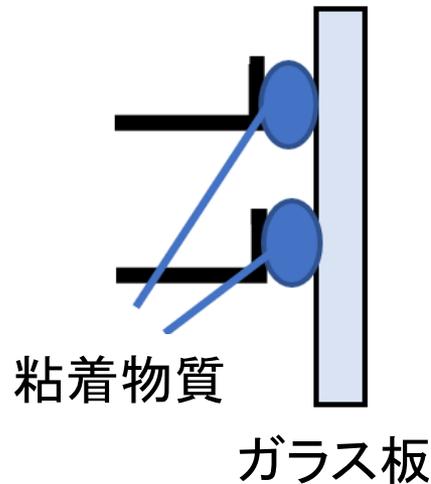
【図4】ファンデルワールスカ 概念図

B: 爪や毛をひっかけている説



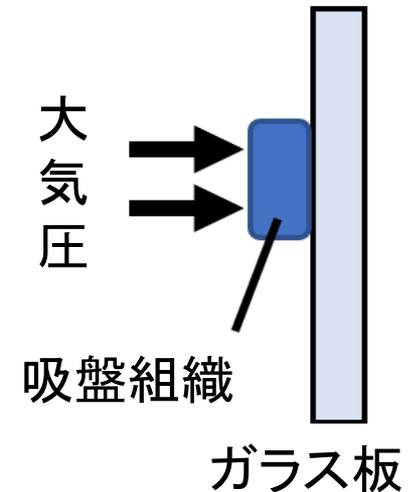
【図5】爪や毛 概念図

C: 粘着説



【図6】粘着 概念図

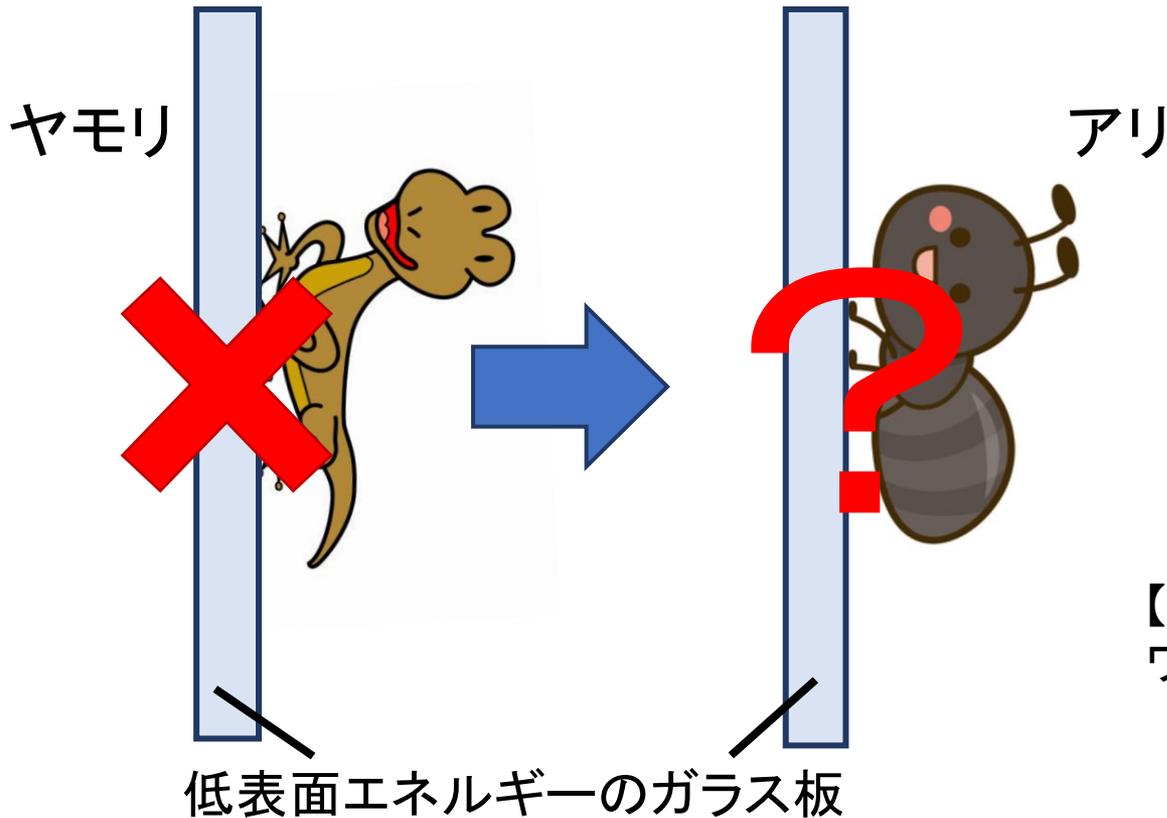
D: 吸盤説



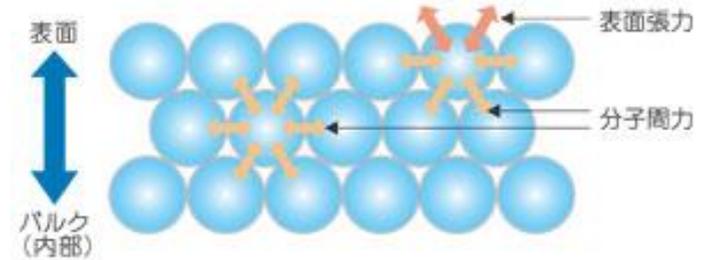
【図7】吸盤 概念図

【研究方法】

A:ファンデルワールスカ説



【図8】低表面エネルギーのガラス板を登るヤモリ・アリ 概念図



【図9】表面エネルギーとファンデルワールスカの関係 (KYOWA HPより)

【研究方法】

A:ファンデルワールス力説

ガラス板を超音波洗浄、オゾン洗浄



- ・離型剤、撥水剤でコーティング
- ・コーティング無し



その上にアリを這わせて観察する

【表1】離型剤と撥水剤の表面エネルギー

	Contact angle			Surface energy (mJ/m ²)			
	H ₂ O ($\gamma=72.8$ mJ/m ²)	Mel ($\gamma=50.8$ mJ/m ²)	n-Hd ($\gamma=27.6$ mJ/m ²)	γ^D	γ^P	γ^H	γ_s
FS	 117°	 94°	 73°	11.5	0.0	8.3	19.9
FG93	 75°	 89°	 70°	12.4	0.7	9.3	22.5
AGC -RA	 17°	 94°	 42°	21.0	14.8	19.3	55.1

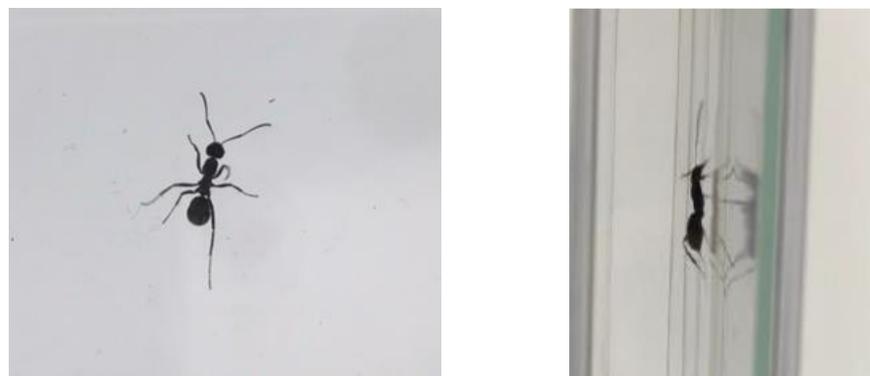
【研究結果・考察】

A:ファンデルワールス力説

通常のガラス板



離型剤・撥水剤でコーティングされたガラス板



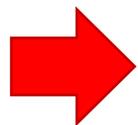
【図10】通常のガラス板を登るアリの様子

【図11】低表面エネルギーのガラス板を登るアリの様子

表面エネルギー500～1200mJ/m²

表面エネルギー20～55mJ/m²

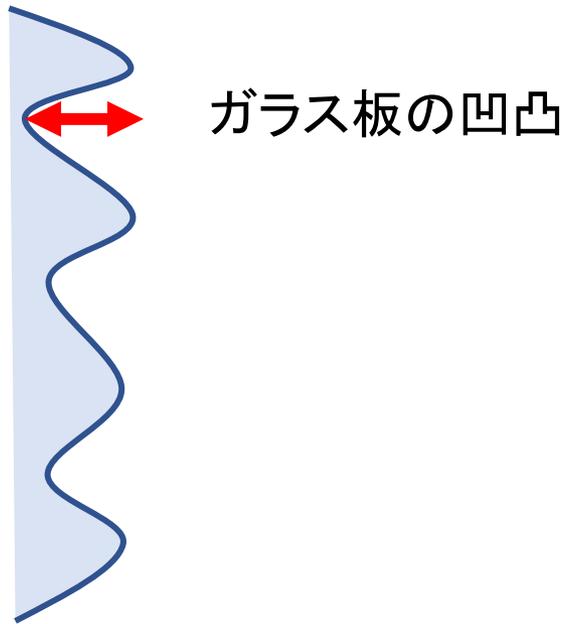
表面エネルギーの大小に関わらず壁を登ることが出来た



ファンデルワールス力の影響は小さい

【研究方法】

B:爪や毛をひっかけている説



【図12】ガラス板の凹凸 概念図

原子間力顕微鏡
(AFM)で測定

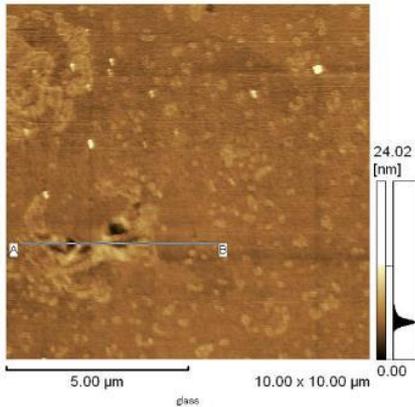


【図13】アリの爪や毛 概念図

走査電子顕微鏡
(SEM)で観察

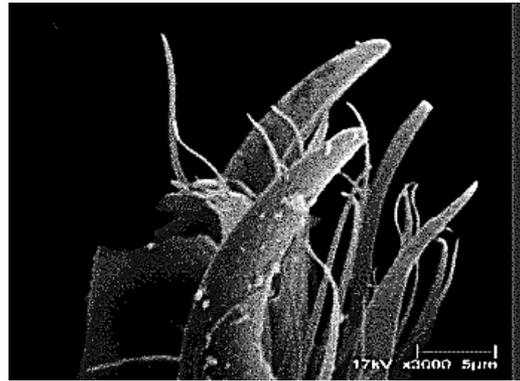
【研究結果・考察】

B:爪や毛をひっかけている説



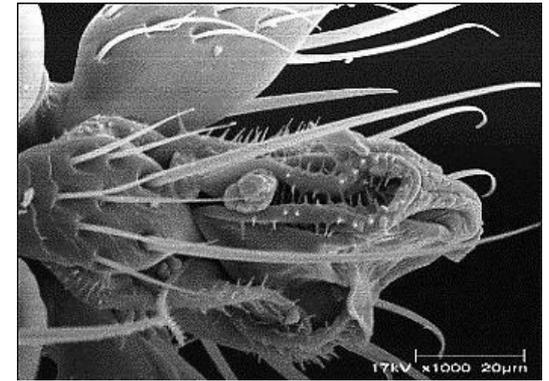
【図14】ガラス板の凹凸 AFM画像

ガラス板の凹凸
高低差 約10nm



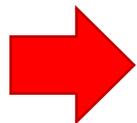
【図15】アリの爪・毛 SEM画像

アリの爪
幅 約5μm
高さ 約20μm



アリの毛
幅 約2μm
高さ 約50μm

ガラス板の凹凸の方が明らかに小さい

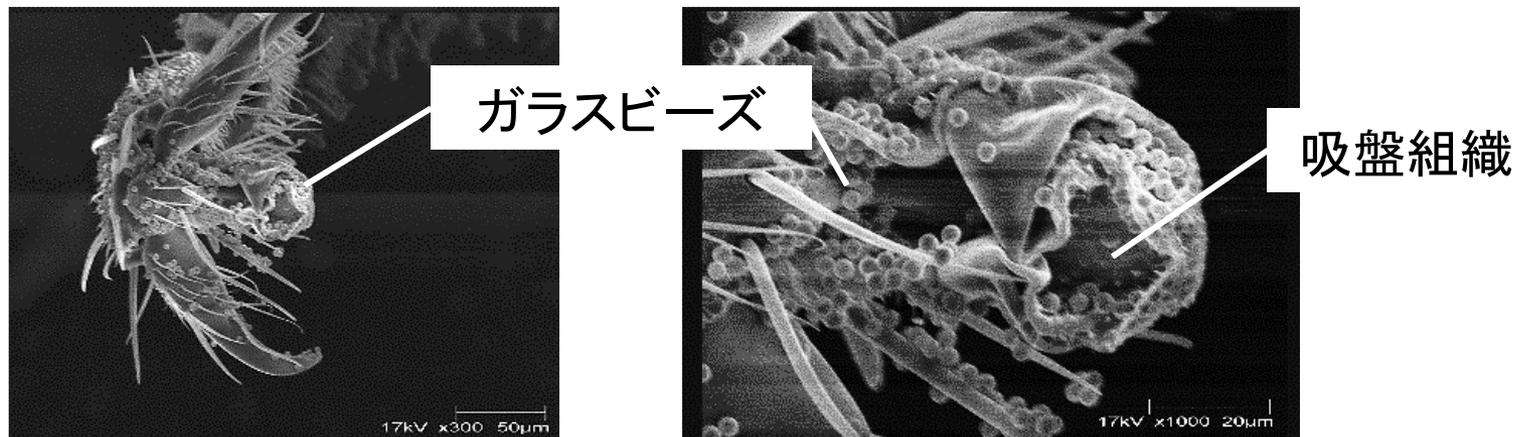


爪や毛をひっかけることは不可能

【研究方法】

C:粘着説

直径 $3\mu\text{m}$ のガラスビーズ(非粘着物質)を足に付着させ、様子を観察



【図16】ガラスビーズが付着した足先 SEM画像

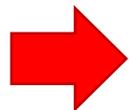
【研究結果・考察】

C:粘着説



【図17】足先にガラスビーズが付着したアリの様子

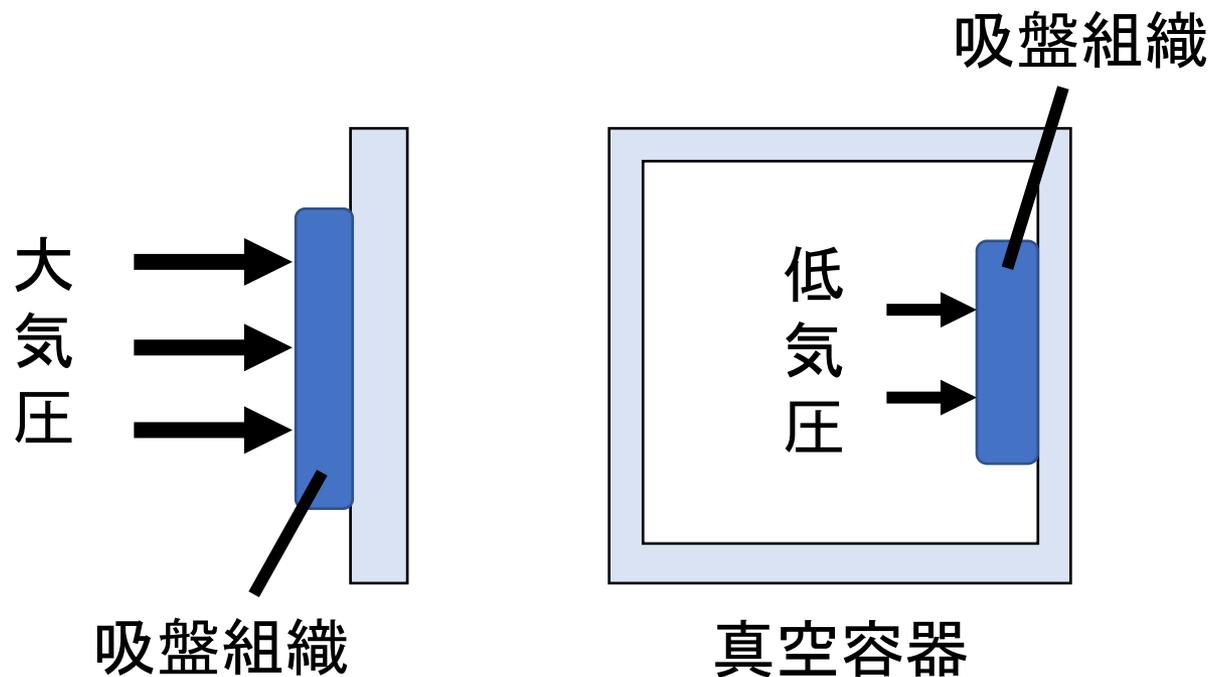
足先にガラスビーズが付着したアリは壁を登れない



粘着物質で登っている可能性が高い

【研究方法】

D:吸盤説



【図18】吸盤による吸着 概念図

アリにアクリル真空容器の壁を登らせ、真空引きする

【研究結果・考察】

D:吸盤説



0.3気圧以下で真空引きすると
アリは落下した



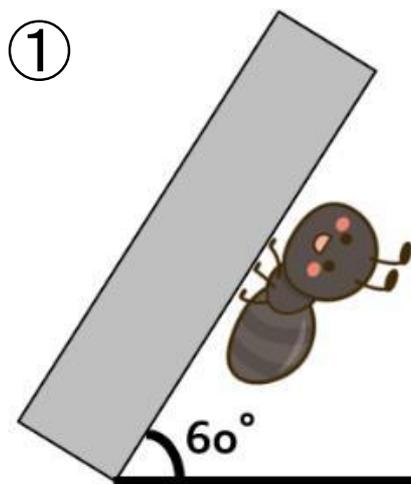
【図19】アリが落下する瞬間

吸盤で登っている

【研究結果・考察】

D:吸盤説

壁3方向で、落下した際の気圧を記録



【図20】壁の向き ①60° のオーバーハング ②垂直 ③天井

約0.87(気圧)

約0.24(気圧)

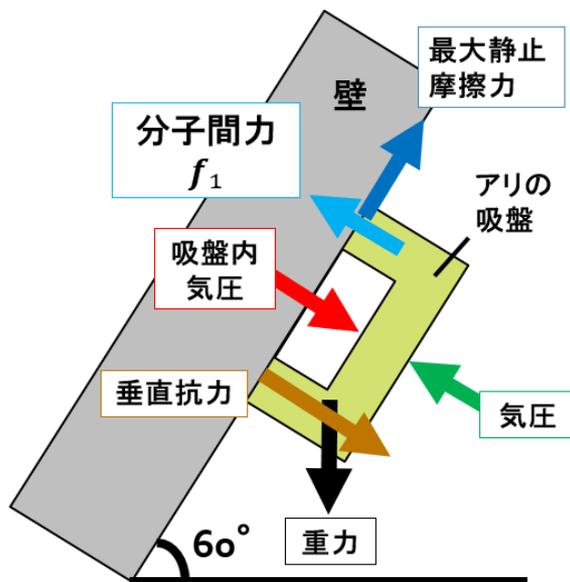
約0.65(気圧)

【研究結果・考察】

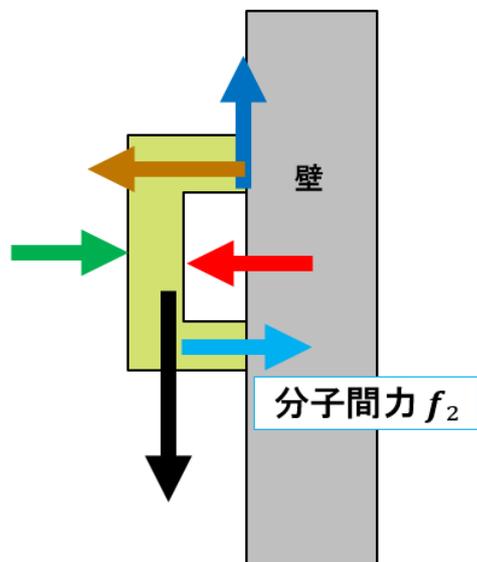
D:吸盤説のモデル化

アリが落下する瞬間の力のつり合いを考える

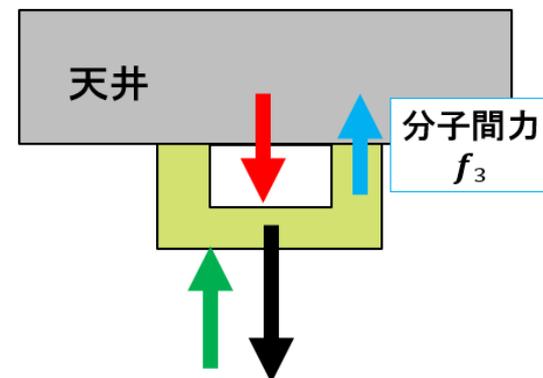
①オーバーハング



②垂直



③天井

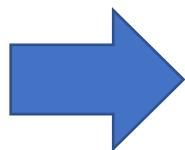


【図21】力の図示 ①60° のオーバーハング ②垂直 ③天井

$$f_1 = 0 \text{ (N)}$$

$$f_2 = 4.2 \times 10^{-5} \text{ (N)}$$

$$f_3 = 0.47 \times 10^{-5} \text{ (N)}$$

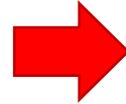


吸盤以外の力(粘着力)が補助として働いている

【研究結果・考察】

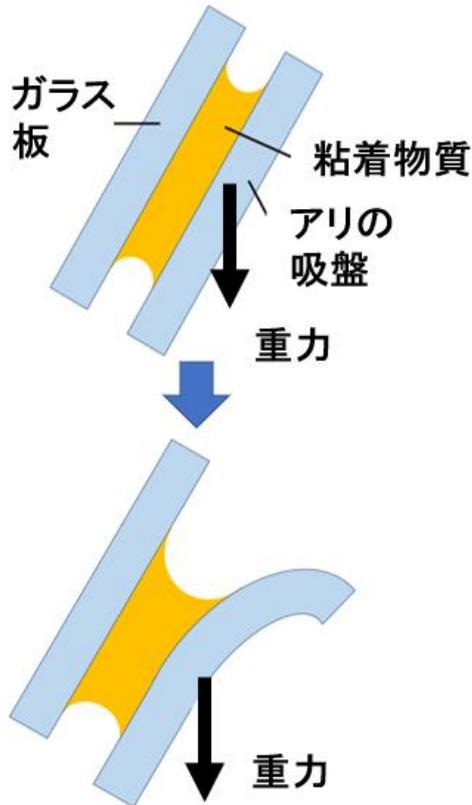
D:吸盤説

③より①の方がすぐに落下した

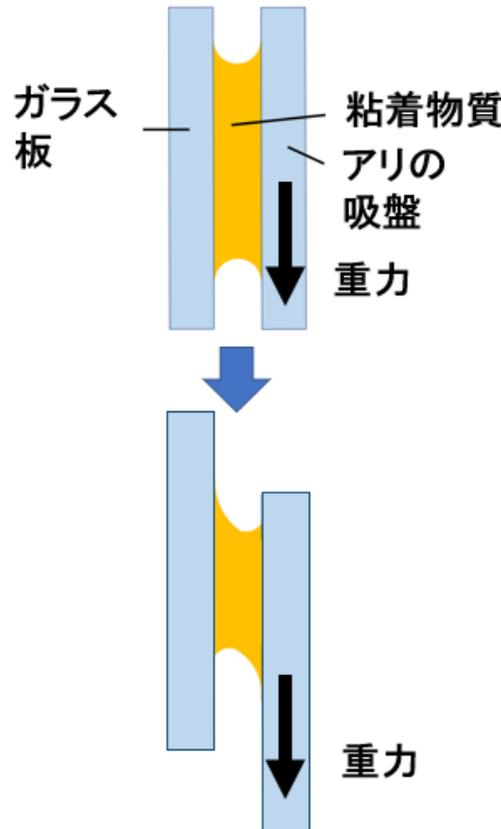


粘着物質にかかる応力の種類が異なるため

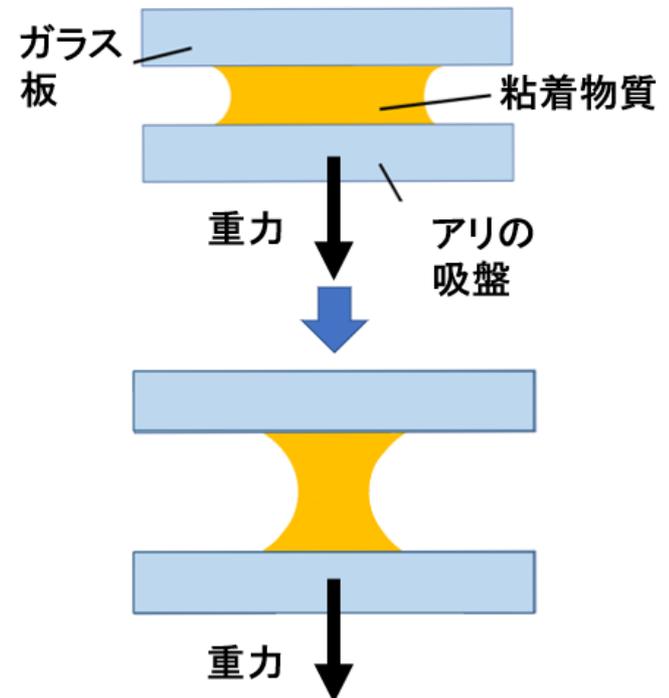
①オーバーハング



②垂直



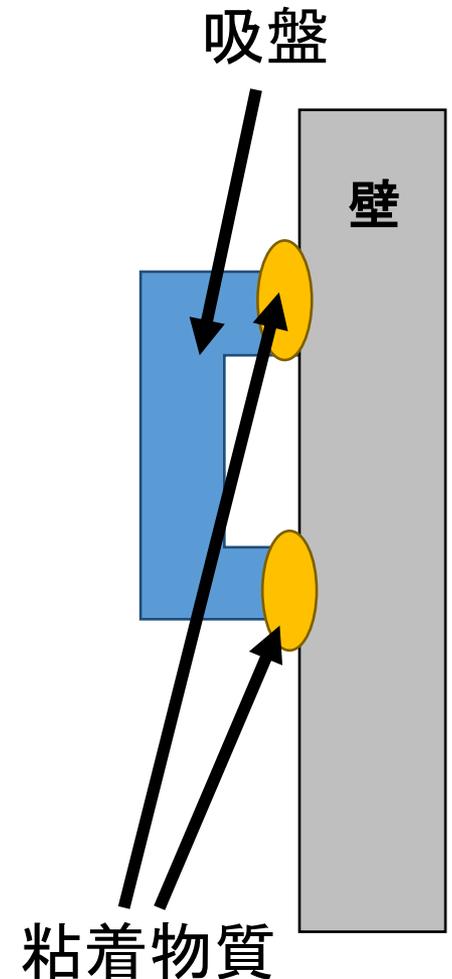
③天井



【図22】応力のかかり方 ①剥離応力 ②せん断応力 ③引張応力

【結論】

- ・アリは滑らかな壁を、主として吸盤、補助として粘着物質を使用して登っている
- ・壁の角度によって粘着物質のはがれやすさが異なり、吸着力にも影響する
- ・ファンデルワールス力の影響は小さく、爪や毛は使用できない



【図23】吸着と粘着 概念図

【展望】

- ・虫の種類によって壁を登る際に使う力が異なるのはなぜか調べる。(テントウムシはファンデルワールス力)
- ・アリが自然界のどのような場面でこれらの力を必要とするのか考察する。(自然界にはつるつるの面は少ない)
- ・人工的にこの吸着システムを再現し、半導体を操作するマニピュレーターの作成が可能であると期待できる。

【参考文献】

【ウェブサイト】

- ・Science, “How Geckos Stick on der Walls”, <https://www.science.org/content/article/how-geckos-stick-der-waals>, (参照 2022-05-10).¹⁾
- ・TECHNEX、“お御足を拝見します(アリ)”、<http://www.technex.co.jp/tinycafe/discovery27.html>、(参照 2022-05-10)。²⁾
- ・3M、“テープ・接着剤による接合部分にかかる一般的な応力の種類”、https://www.3mcompany.jp/3M/ja_JP/bonding-and-assembly-jp/support/science-of-adhesion/common-stress-types-adhesive-joints/、(参照 2022-10-27)。

【書籍】

- ・中島章、“固体表面の濡れ制御” 2007、内田老鶴園社。

【論文】

- ・W. Federle, W. Baumgartner and B. Hölldobler, “Biomechanics of ant adhesive pads: Frictional forces are rate- and temperature dependent”, *J. Exper. Biol.*, 2004, vol.207, 67-74.³⁾
- ・W. Federle, E. L. Brainerd, T. A. McMahon, B. H. Hölldobler, “Biomechanics of the movable pretarsal adhesive organ in ants and bees”, *PNAS*, 2001, vol.98, 6215-6220.⁴⁾
- ・Stark, et al., “Surface wettability plays a significant role in gecko adhesion underwater”, *PNAS*, 2013, 110 (20213) 6340–6345.
- ・山本隆司、“摩擦の発生機構と真実接触面積”、*JTEKT Eng. J.*、2007、No. 1003、2-8.

【謝辞】

本研究の遂行にあたり、終始多大なご指導を賜った、大阪教育大学理数情報教育系教授辻岡強先生に深く感謝いたします。