

# スケールの科学



総合生存学館 趙 亮

2025年度ILASセミナー #1

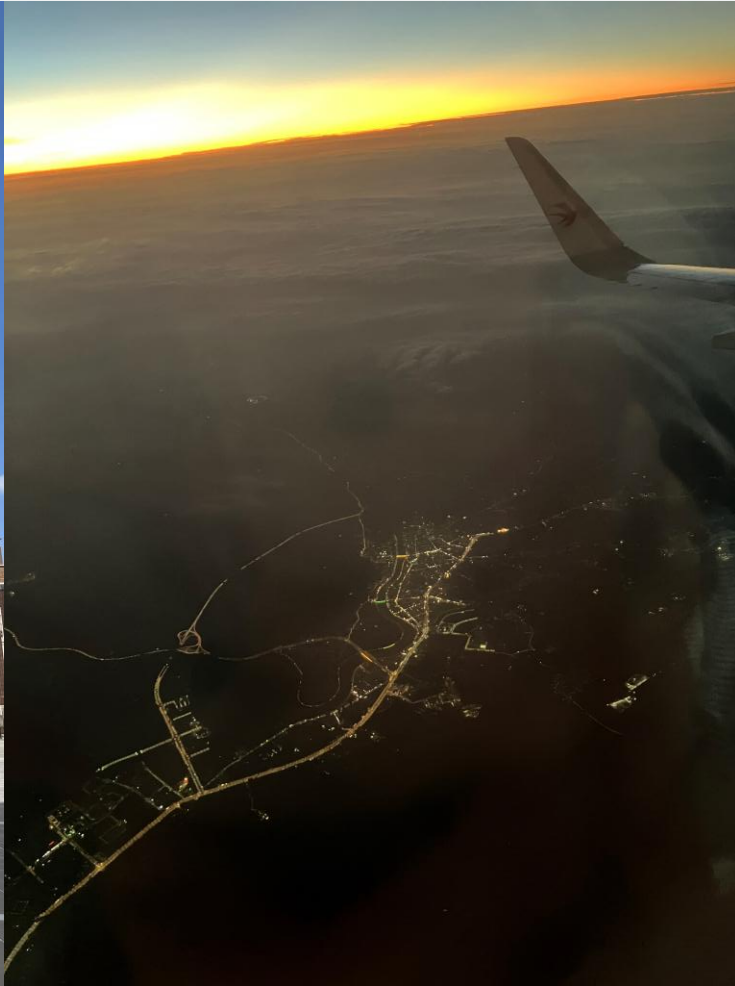
[liangzhao@acm.org](mailto:liangzhao@acm.org)



# スケールが違うと見えるものも違う

筆者撮影

<https://www.businessinsider.jp/post-263146>



地球から2万9000キロメートルの距離から撮影された「ザ・ブルー・マーブル」

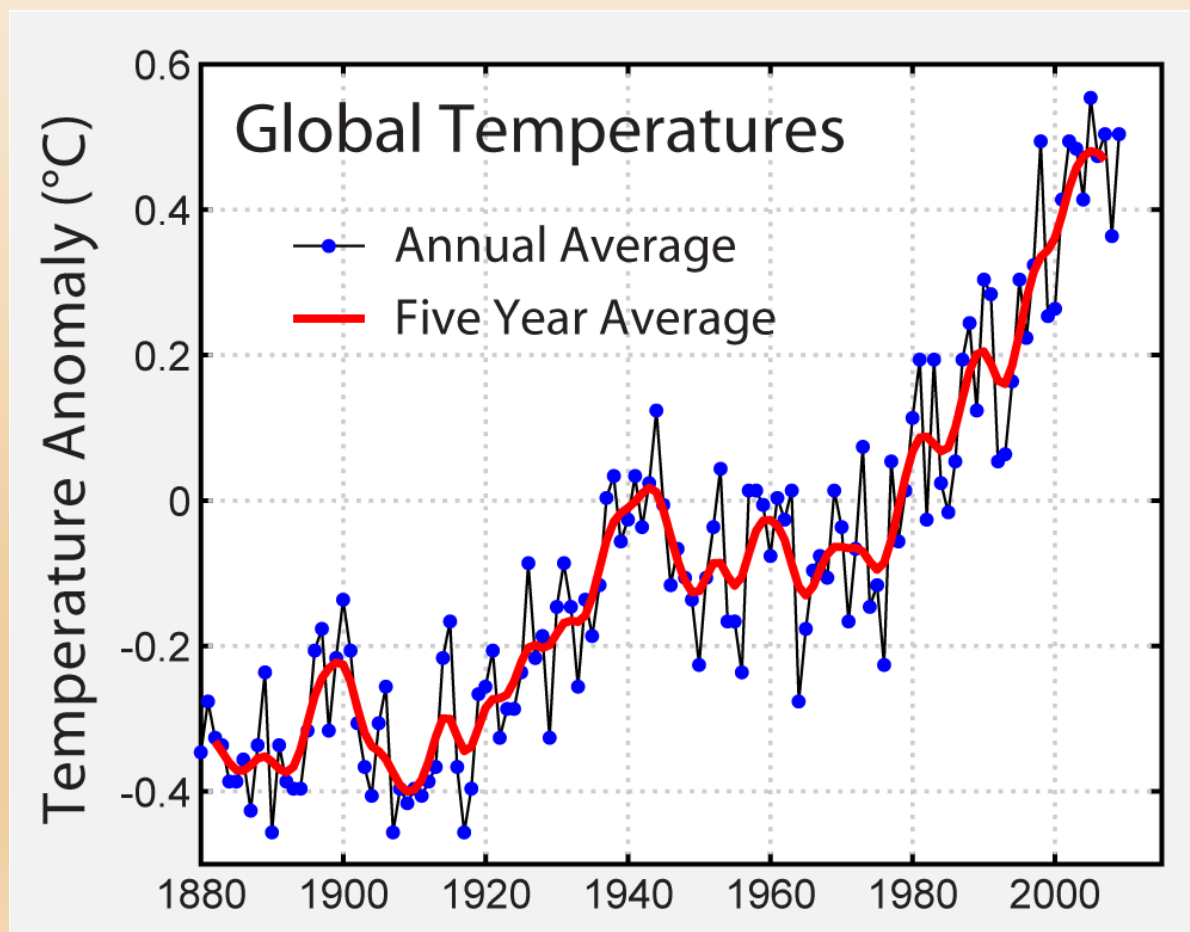


1972年12月7日にアポロ17号の宇宙飛行士によって撮影された地球。

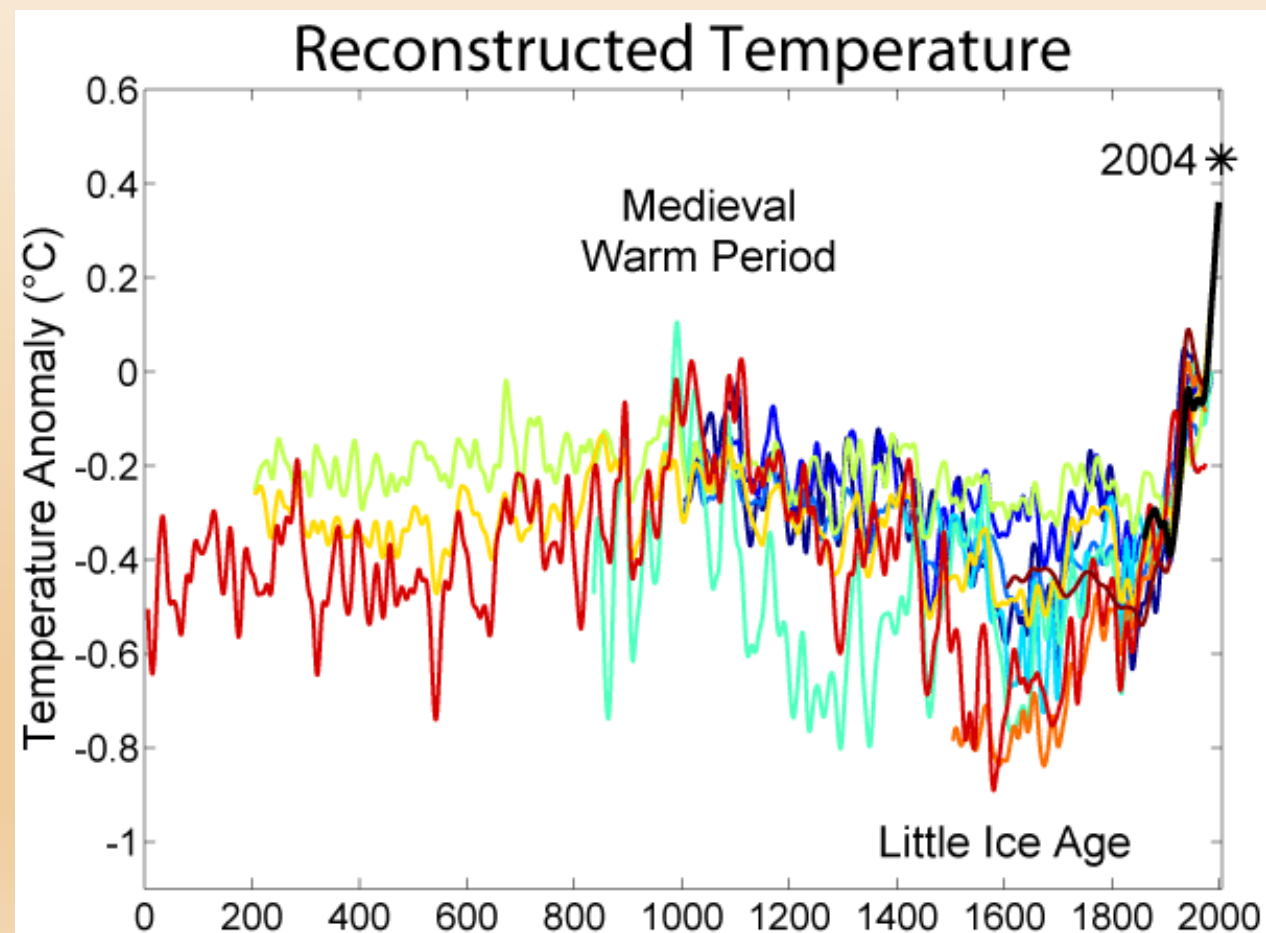
NASA

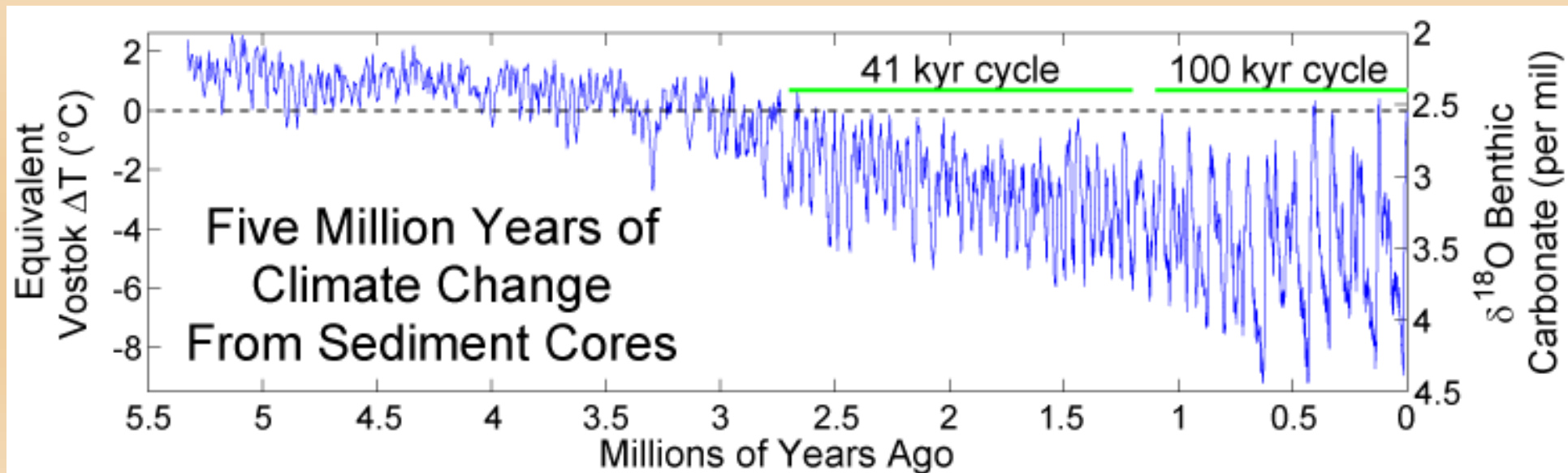
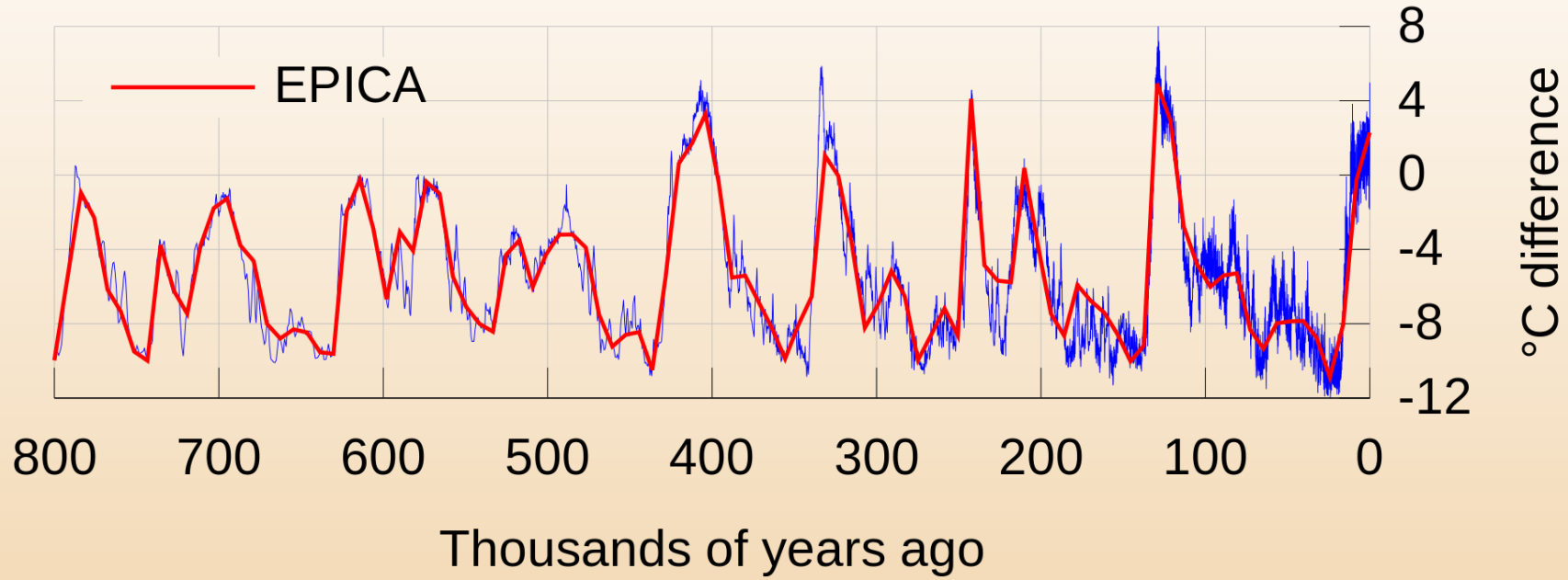
# 例：異なるスケールで気候変動をみてる

<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/>



[https://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_temperature\\_record](https://en.wikipedia.org/wiki/Global_temperature_record)







# 概要・目的

---

さまざまな問題に対して**スケール**を用いて考える。客観的かつ科学的に世界や生命、人間社会を見ることの重要性と面白さを紹介する。

# 到達目標

シンプルで有効なスケール確認法（回帰分析や線形回帰）を習得する。



その結果に対してモデルを立てて理論分析ができる。



思い込みではなく学際的に科学的に生命や社会現象をより深く考察できる。

## 履修要件・成績評価

- 履修要件：PC (WindowsもMacも可), 予備知識：べき乗、対数、平均、線形回帰
- 成績評価：平常点：30%, 中間発表：20%, 発表：20%, レポート：30%

# 演習・調査について

- WIFI：学内ではECS-IDを使って KUINS Air につなぐ。
- 演習はR言語 (<https://cran.ism.ac.jp/>) を利用する。
- 調査：参考書を読む&ネット検索など。ChatGPTも利用可だが、正確さや出典には十分気を付ける（確認する）こと。
- レポート：自動生成は不可。自分の書いた文章の校正なら可。

# スケジュール（予定）

- 4/11 全体紹介（今日）
- 4/18, 5/2 様々なスケールを見る（体重と力、メタボリック・レート等）
- 5/9, 16, 23, 30 スケールの分析とその実践：回帰分析、過学習、ゴジラ等
- 6/6 中間発表：与えられた練習問題に対する分析の報告
- 6/13, 20, 27, 7/4 スケール分析の理論開発と検証：BMI、寿命、国会、都市等
- 7/11 社会現象または時事の分析
- 7/18 期末発表：与えられた課題に対する分析
- 第15回 フィードバック

注意 4月25日：休講、7月18日：補講



# KONG

# GODZILLA

117.3M

Height

119.8M

8,003t

Weight

99,634t

## 話題 1 : これら巨大生物は存在しうるか

<能力>

- ・優れた知性
- ・並外れた体力
- ・桁外れの怪力
- ・頑丈な皮膚と毛皮
- ・高い機動力と俊敏性

<装備>

タイタンの骨で造られたと思われる青く光る斧

<能力>

- ・非常に頑丈な表皮
- ・青い放射熱線/光線
- ・放射性物質を吸収
- ・陸/海を問わず俊敏な動き

<装備>

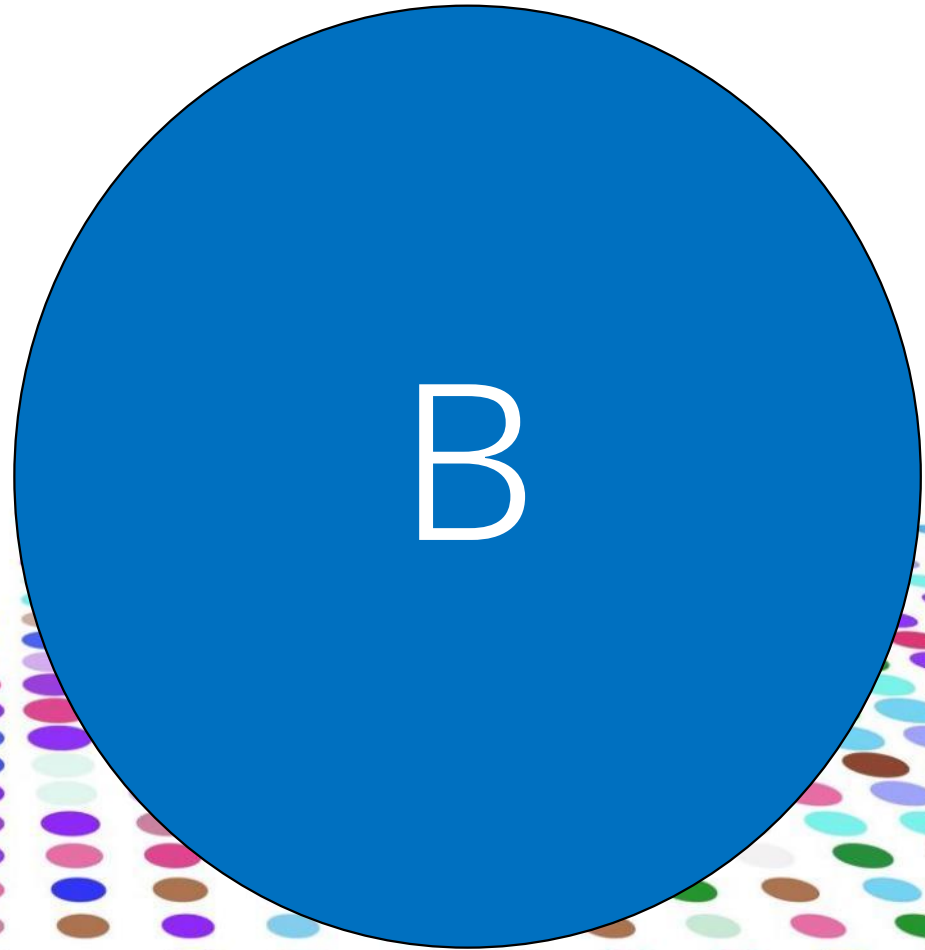
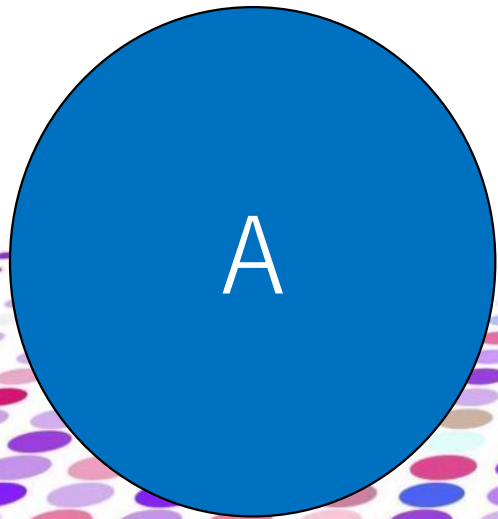
無し

Weapon

出典 : [https://www.gokitsu.com/movies-feature/godzilavskong\\_forcedifference/2/](https://www.gokitsu.com/movies-feature/godzilavskong_forcedifference/2/)

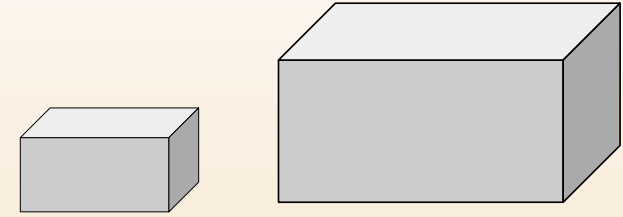


# 予備知識



Bの半径 : Aの半径 = 2 : 1  
⇒ Bの周長 : Aの周長 = ?、また面積比は ?

# スケール



- ある量  $X$  が  $k$  倍になったときに、対応して量  $Y$  が何になるかを表す関係。
- Ex1. 円の半径が  $k$  倍になったら周長も  $k$  倍になる。これは、**線形スケール**といい、「円の周長  $\propto$  半径」で表す（式「周長  $= 2\pi \times$  半径」より簡単に変化が分かる）。
- Ex2. 「円の面積  $\propto$  半径<sup>2</sup>」。 **二乗のスケール**という。
- Ex3. 「球の体積  $\propto$  半径<sup>3</sup>」。 **三乗のスケール**という。
- Q: 直方体は、形がそのまま断面面積が  $k$  倍になったら体積は何倍になるか。
- Q: 体重  $\propto$  身長<sup>□</sup>、力  $\propto$  身長<sup>□</sup>  $\Rightarrow$  力  $\propto$  体重<sup>□</sup>（ヒント：次元に留意しよう。なお、力は大まか筋肉の断面面積に比例すると考えて良い。）

怖い！このアリさん怖い！

バイオテクノロジー・生物科学研究会議（BBSRC）での写真展優勝作品のこの写真。

写真：

<https://www.popsci.com/science/article/2010-02/load-bearing-ant-carries-100-times-its-body-weight-well-photo-competition/>

蟻は本当に力持ちか、  
真剣に考えてみよう

これ本当に蟻が500mgの重りを持ち上げているところですよ！

500mg...、蟻自身の体重の約100倍！

うへえ、自分の体重の100倍=5?00kgを持ち上げるなんて自分には絶対無理だ！

出典：[https://www.gizmodo.jp/2010/03/post\\_6818.html](https://www.gizmodo.jp/2010/03/post_6818.html)



怖い！このアリさん怖い！

バイオテクノロジー・生物科学研究会議（BBSRC）での写真展優勝作品のこの写真。

写真：

<https://www.popsci.com/science/article/2010-02/load-bearing-ant-carries-100-times-its-body-weight-well-photo-competition/>

この考え方は、成立しない「力 $\propto$ 体重」のスケールを暗黙的に仮定している

これ本当に蟻が500mgの重りを持ち上げているところですよ！

500mg...、蟻自身の体重の約100倍！

うへえ、自分の体重の100倍=5?00kgを持ち上げるなんて自分には絶対無理だ！

出典・[https://www.gizmodo.jp/2010/03/post\\_6818.html](https://www.gizmodo.jp/2010/03/post_6818.html)





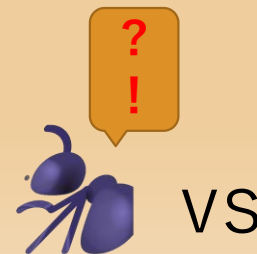
# 「蟻vs人間」を正しく考える

	蟻	人間	スケール
体重	0.005g	50kg	
力	0.5g	25kg	
倍率	100倍	0.5倍	

力では人間、倍率では蟻、の勝ち

⇒ 同レベルでの比較が必要

⇒ 人間を蟻と同じ体重にスケールダウン



VS



# KONG

# GODZILLA

117.3M

Height

119.8M

8,003t

Weight

99,634t

スペック	最強人間のスクワット： S. Andrzej (Wikipedia等)	コング	ゴジラ
高さ	1.22m	117.3m	119.8m
体重	52kg	8,003t	99,634t
足の力	310kg	?	?

思われる青く光る斧

出典：[https://www.gokitsu.com/movies-feature/godzilavskong\\_forcedifference/2/](https://www.gokitsu.com/movies-feature/godzilavskong_forcedifference/2/)

# スケール的に推定した結果

コングもゴジラも、地球上生物である可能性は限りなく小さい（自重に対して足の力が足りないから。特にゴジラ）



# 科学的研究方法

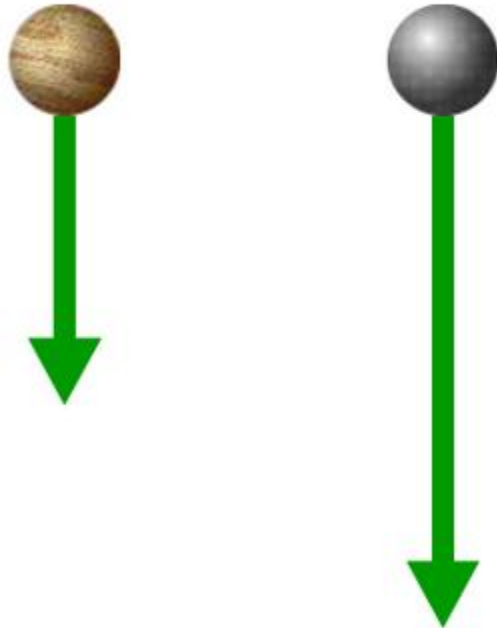
1. 仮説を立てる (例：力  $\propto$  体重<sup>2/3</sup>)
2. 考察と分析
3. 証明、必要なら見直して1へ



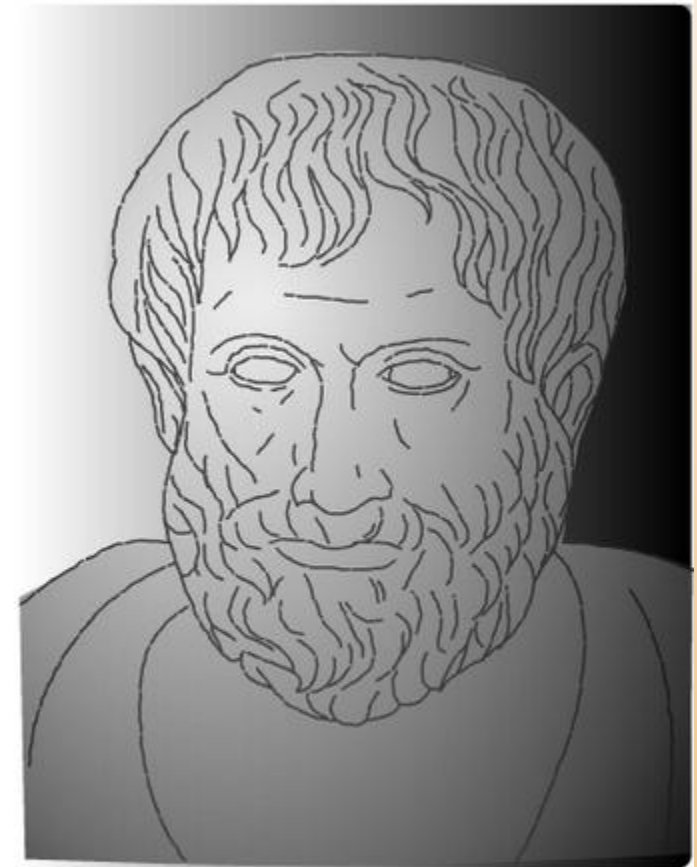
# 仮説検証例：2千年も信じられていた思想

## アリストテレス派の自然哲学体系④

重いものほど速く落下する。



出典：<http://taiken.tokyo-shoseki.co.jp/webxp/other/Chusu3/cs03900.html>



アリストテレス  
前384年～前322年 ギリシャ



# 検証実験



ガリレオによるピサ斜塔の実験 (1589年)

図 : <https://natgeo.nikkeibp.co.jp/nng/article/news/14/8909/>



アポロ15号乗組員による月上の実験 (1971年)

<https://www.youtube.com/watch?v=l7tEA8Vtc0o>

# 思い込みによる間違った仮説の例

- 地球は宇宙の中心にある
- 力は体重に比例する
- 重いものは軽いものより早く落下する
- 人工知能は、人間が設計したものだから、人間の知能を超えることがない
- 先生はいつも正しい
- 先生はいつも間違っている

# 手法：科学と非科学の比較

- 明確の定義はないが、いくつかの特徴づけが考えられている。
- 科学：1. 再現性 2. 因果関係 3. 否定への許容 4. 客観的 5. 定量的など
- 非科学（手法こそ科学と矛盾しないものもあるが）1. 再現性に欠ける 2. （相関があっても）因果関係なし 3. 否定を許容しない 4. 主観的 5. 定性的など
- ※ 科学の結果が必ずしも正しいとは限らない
- 科学の限界：仮説（帰納的バイアス）、人を動かす方法など
- 参考：自然科学と広い意味の科学、存在と認知の問題



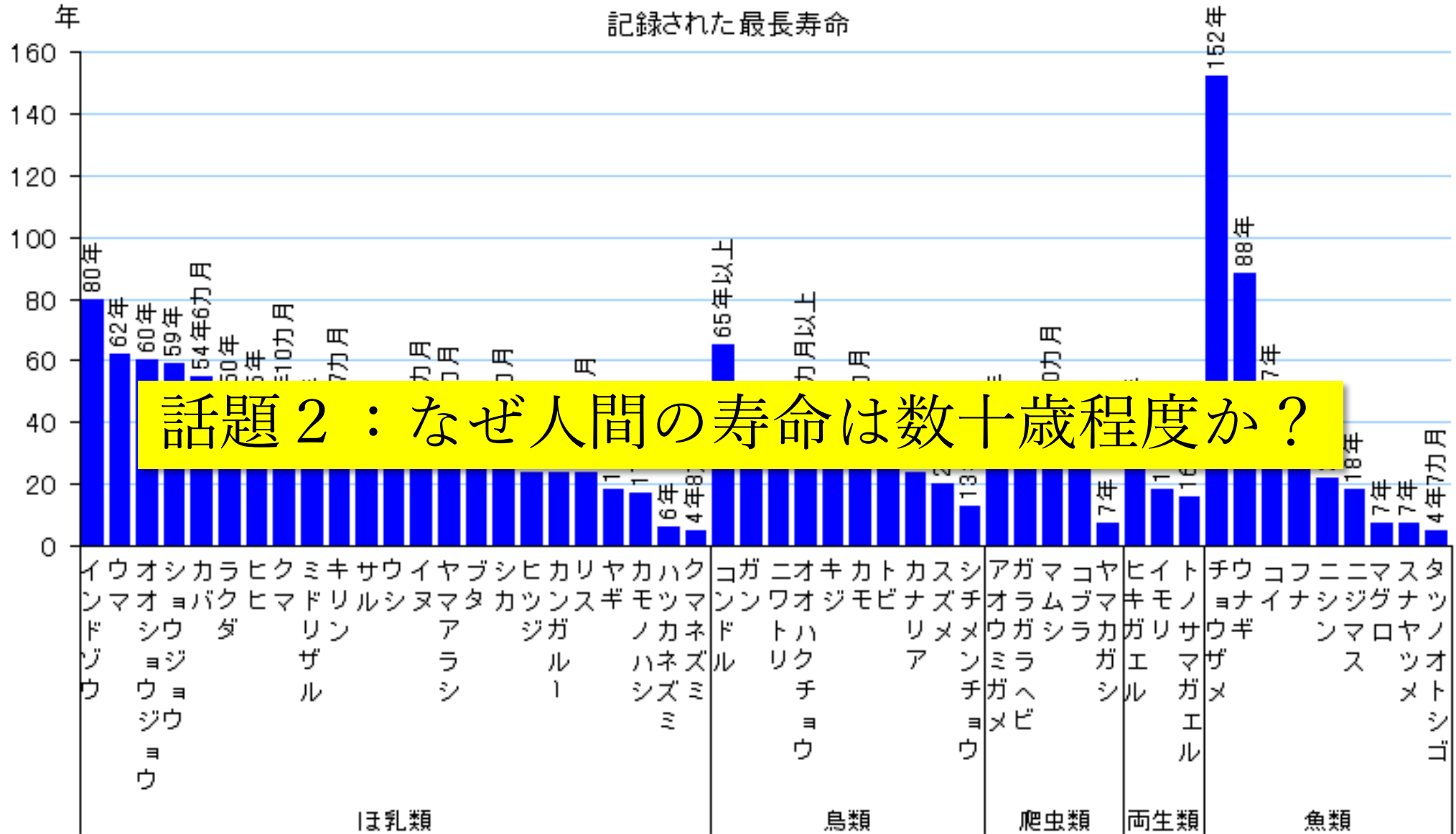
# なぜ「スケールの科学」を学ぶべきか



<https://ja.wikipedia.org/wiki/群盲象を評す>

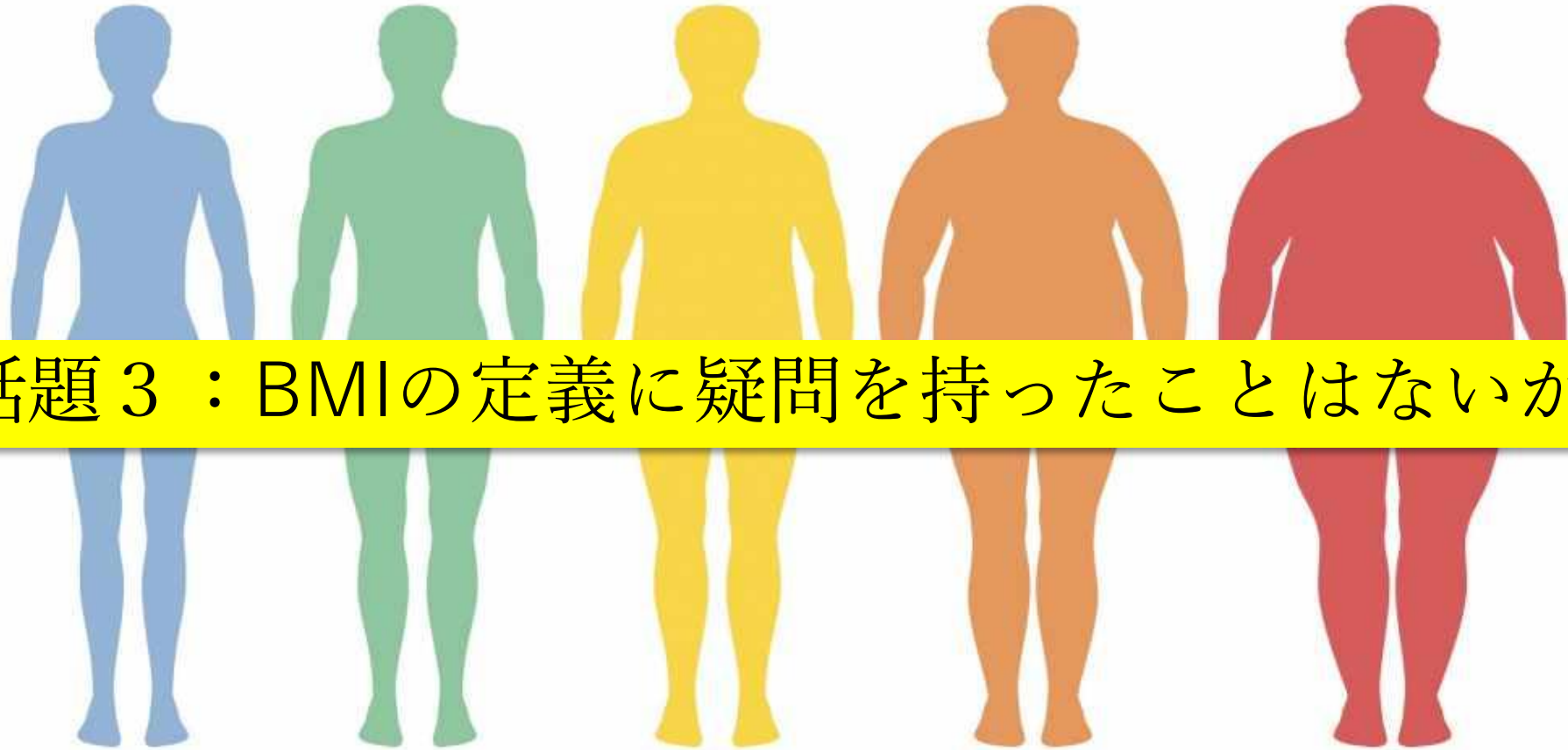
- 局所な情報しか持たない個体が大きな全体秩序を作る場合がある。例：生物、社会など。還元論（=個体を考察することによって全体を説明しようとする手法）では当たらない。
- 一方、スケールに着目して、定量的にシンプルに**全体**の説明を与え、未知のことを推測できることもある。







# Body Mass Index



話題3：BMIの定義に疑問を持ったことはないか？



出典：<https://melos.media/wellness/69661/>



## 総額1000億円超の「議員特権費用」

名目	合計(衆議院・参議院)
歳費	108億6865万円
ボーナス	44億7410万7000円
公設秘書給与(3人分)	191億6493万4000円
秘書退職金	15億4427万9000円
弔慰金(元議員の香典代)	8281万6000円
旅費(外遊費など)	5億3600万円
文書通信交通滞在費	85億2000万円
議員会館管理運営費	109億6321万2000円
赤坂宿舎管理運営費	6億1227万2000円
JR無料バス・無 立法事務費	33億3300万円
<b>合計</b>	<b>1051億9875万7000円</b>

※令和3年度衆議院・参議院予算を元に主な費用を抽出。

出典：[https://www.news-postseven.com/archives/20211129\\_1710288.html/2](https://www.news-postseven.com/archives/20211129_1710288.html/2)

異例

39歳市長が怒り「恥を知れ」  
議員半減する案 大差で否決

“居眠り政治家”リストラ狙い？



出典：<https://www.tokyo-np.co.jp/article/193600>

話題4：適切な国会・議会規模は何人でいいのか？

石丸伸二市長

出典：<https://www.nippon.com/ja/news/fnn20220610373094/>

京都大学経済学部卒業 → 三菱UFJ銀行に

分析の手法も  
学んでもらう

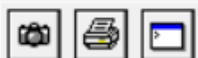
Rのインストール

Rの起動

データの準備

データの可視化

回帰分析と結果の描画



```
> data = read.csv("man_squat_records.csv")
> data$weight
[1] 57.05 65.75 73.75 82.25 92.95 105.00 119.50 162.26
> data$squat
[1] 240.0 263.0 283.0 313.0 331.0 343.0 386.0 477.5
> x = log10(data$weight)
> y = log10(data$squat)
> plot(x,y)
> model = lm(y~x)
> summary(model)
```

```
Call:
lm(formula = y ~ x)
```

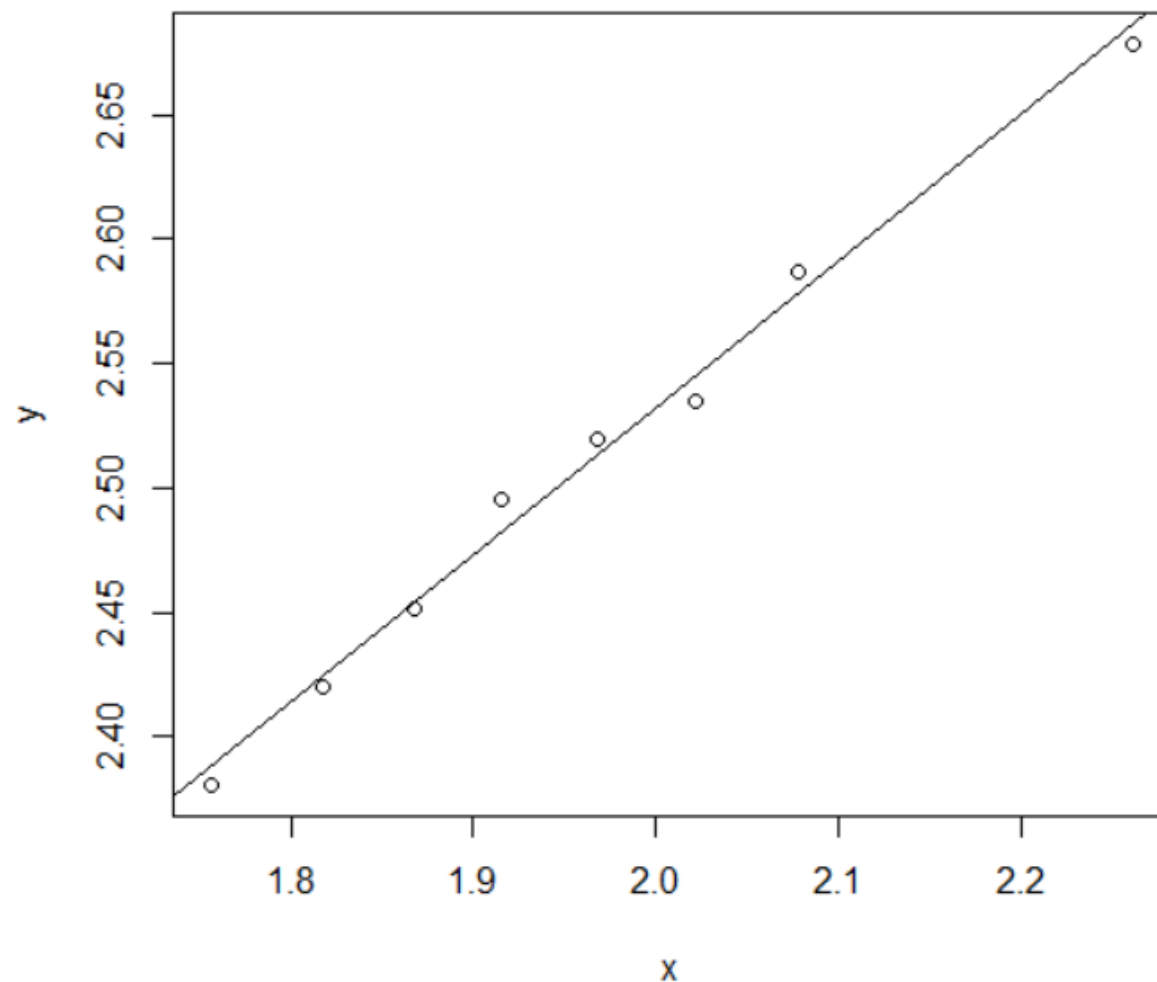
```
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.009115 -0.007253 -0.002952  0.007299  0.013917
```

```
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1.34790    0.04347   31.01 7.47e-08 ***
x             0.59198    0.02211   26.78 1.79e-07 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Residual standard error: 0.009384 on 6 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9917,    Adjusted R-squared:  0.9903
F-statistic: 717.2 on 1 and 6 DF,  p-value: 1.79e-07
```

```
> abline(model)
> |
```

分析の例：力と体重の関係  
男性スクワット世界記録  $\Rightarrow$  力  $\propto$  体重<sup>0.6</sup>





# 参考書

- 右の2冊は購入をお薦めする。  
(図書館には2セットがある)
- 下は六章のみ (授業中に紹介)
- その他の資料も授業中に紹介

蔵書検索 MyKULINE 閲覧履歴

書誌詳細 印刷

▲ 検索結果一覧へ戻る

 選挙・投票・公共選択の数理  
大山達雄編. -- 共立出版, 2022. -- (シリーズ応用数理 / 日本応用数理学会監修 ; 第7巻). <BB08536189>

総合評価: ★★★★★

登録タグ: 登録されているタグはありません

便利機能:  ブックマーク  出力  メール  文献管理

▶ 目次・あらすじを見る ▶ レビューを見る ▶ 詳細情報を見る

書誌URL:  選択

試し読み↓



スケール<sup>上</sup>  
万物を支配する「大きさ」の法則  
ジョフリー・ウェスト  
山形浩生・森本正史

哺乳類の大きさが2倍になると、  
心拍数は25%減り、  
寿命は25%延びる

「生命・経済・企業・都市・経済の成長と限界はすべて同じ原理で説明できる。コロナ後の未来を予言する画期的な文明論書！」  
ハヤカワノンフィクション文庫 福岡伸一

試し読み↓



スケール<sup>下</sup>  
万物を支配する「大きさ」の法則  
ジョフリー・ウェスト  
山形浩生・森本正史

都市のサイズが2倍になると、  
賃金、資産、イノベーションが  
一人あたり15%増える

「微生物から都市までの躍世界を行き来するために、  
認知のスケールビリティを獲得しよう」  
ハヤカワノンフィクション文庫 ドミニク・チェン

スケール 上: 万物を支配する「大きさ」の法則 (ハヤカワ文庫NF NF 596) 文庫 - 2022/12/6

ジョフリー・ウェスト (著), Geoffrey West (著), & 2 その他

★★★★★ 1個の評価

すべての形式と版を表示

Kindle版 (電子書籍)  
¥1,129  
獲得ポイント: 11pt

今すぐお読みいただけます: **無料アプリ**

文庫  
¥1,254  
獲得ポイント: 38pt

その他の新品、中古品と  
コレクター商品 ¥898か  
ら

Amazon.co.jpより

スケール 下: 万物を支配する「大きさ」の法則 (ハヤカワ文庫NF NF 597) 文庫 - 2022/12/6

ジョフリー・ウェスト (著), Geoffrey West (著), & 2 その他

★★★★☆ 2個の評価

すべての形式と版を表示

Kindle版 (電子書籍)  
¥1,129  
獲得ポイント: 11pt

今すぐお読みいただけます: **無料アプリ**

文庫  
¥1,254  
獲得ポイント: 38pt

その他の新品、中古品と  
コレクター商品 ¥1,254  
から





英語原著の電子版も利用可能：  
<https://ebookcentral.proquest.com/lib/kyotouniv/detail.action?docID=6052834>

## Mini Report #1 (15分)

- 予備知識の確認
- この授業に興味を持ったきっかけ
- 期待や要望など

# 補足：パソコンの操作と用語

- OS : Windows, Mac OS, Linuxなど

- Microsoft 365 の利用:

<https://www.iimc.kyoto-u.ac.jp/ja/services/cloud-service/microsoft/>

- Rのインストール、その他の質疑

# スケール推定の例：人からアフリカゾウへ



	人間 (日本人男性)	アフリカゾウ( <a href="#">Wikipedia</a> )
長さ (含足)	1.72m (平均)	9m (おおよそ 7m+2m)
体重	67kg (平均)	6t (平均)
足の力 ( <a href="#">参考</a> )	150kg (強い)	<b>8t (足4本の推定値)</b>

実際ゾウの運べる荷物の重さは数百kg程度



# さらに（大胆に）ティラノサウルスを推定

	人間 (日本人男性)	アフリカゾウ	ティラノサウルス
身長 (体+足)	1.72m	9m	12m (化石+推定)
体重	67kg	6t	9t (大腿骨で推定)
足の力	150kg	8t (推定値)	? (足2本に注意)

