

科学的推論(1)

Q 新型コロナウイルス感染症を拡げないためには、どのような場面に注意する必要がありますか。

A 飲酒を伴う懇親会等、大人数や長時間におよぶ飲食、マスクなしでの会話、狭い空間での共同生活、居場所の切り替わりといった場面でも感染が起きやすく、注意が必要です。

新型コロナウイルス感染症は、3密（密閉・密集・密接）や混雑、大声を出すような場面などの環境で感染リスクが高まります。

感染リスクが高まる「5つの場面」

場面① 飲酒を伴う懇親会等

- 飲酒の影響で気分が高揚すると同時に注意力が低下する。また、感覚が鈍麻し、大きな声になりやすい。
- 特に数密などで交わられている狭い空間に、長時間、大人数が滞在すると、感染リスクが高まる。
- また、回し飲みや箸などの共用が感染のリスクを高める。



場面② 大人数や長時間におよぶ飲食

- 長時間におよぶ飲食、接待を伴う飲食、深夜のほしご面では、短時間の食事と比べて、感染リスクが高まる。
- 大人数、例えば5人以上の飲食では、大声になり飛沫が飛びやすくなるため、感染リスクが高まる。



場面③ マスクなしでの会話

- マスクなしに近距離で会話をすることで、飛沫感染やマイクロ飛沫感染での感染リスクが高まる。
- マスクなしでの感染例としては、居カラスオケなどでの事例が確認されている。
- 車やバスで移動する際の車中에서도注意が必要。



場面④ 狭い空間での共同生活

- 狭い空間での共同生活は、長時間にわたり閉鎖空間が共有されるため、感染リスクが高まる。
- 寮の部屋やトイレなどの共用部分での感染が疑われる事例が報告されている。



場面⑤ 居場所の切り替わり

- 仕事での休憩時間に入った時など、居場所が切り替わると、気の流れみや電気の变化により、感染リスクが高まる可能性がある。
- 休憩室、喫煙所、更衣室での感染が疑われる事例が確認されている。



Q 新型コロナウイルス感染症と診断された人のうち、重症化しやすいのはどんな人ですか。

A 新型コロナウイルス感染症と診断された人のうち**重症化しやすいのは、高齢者と基礎疾患のある方、一部の妊娠後期の方です。**

重症化のリスクとなる基礎疾患等には、**慢性閉塞性肺疾患（COPD）、慢性腎臓病、糖尿病、高血圧、心血管疾患、肥満、喫煙**があります。

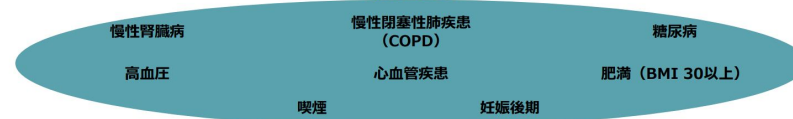
また、ワクチン接種を受けることで、重症化予防効果が期待できます。

30歳代と比較した場合の各年代の重症化率

年代	10歳未満	10歳代	20歳代	30歳代	40歳代	50歳代	60歳代	70歳代	80歳代	90歳以上
重症化率	0.5倍	0.2倍	0.3倍	1倍	4倍	10倍	25倍	47倍	71倍	78倍

※「重症化率」は、新型コロナウイルス感染症と診断された症例（無症状を含む）のうち、集中治療室での治療や人工呼吸器等による治療を行った症例または死亡した症例の割合。

重症化のリスク



7

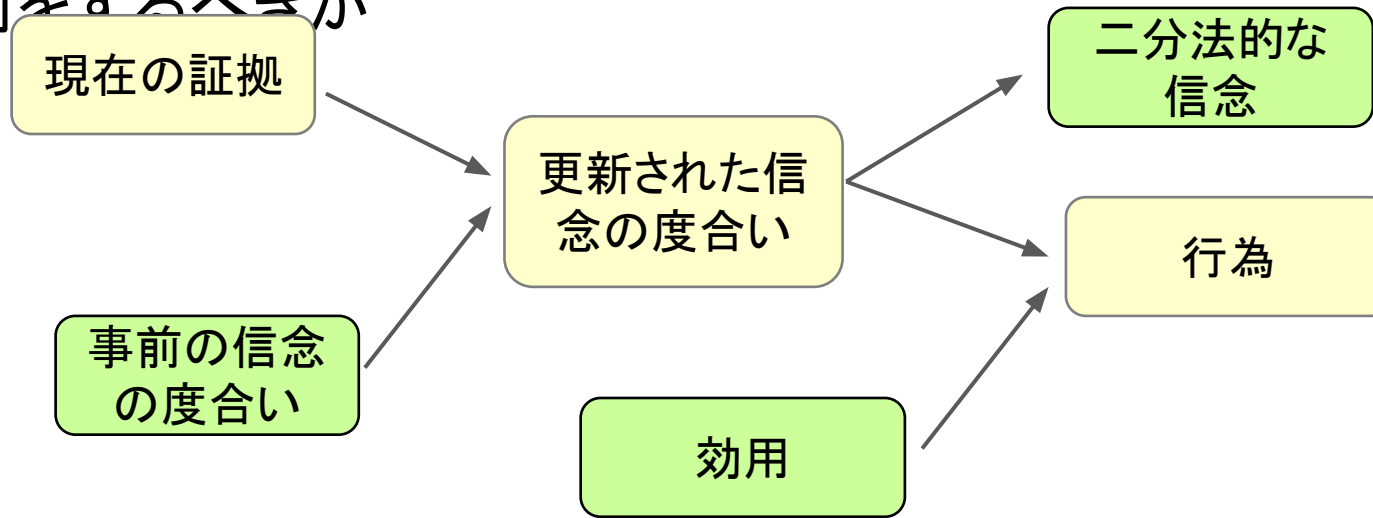
出典：京都大学西浦教授提供データ及び新型コロナウイルス感染症（COVID-19）診療の手引き・第7.2版に基づき厚生労働省にて作成

厚生労働省. (2023年4月版)「新型コロナウイルス感染症の“いま”についての11の知識」.
<https://www.mhlw.go.jp/content/000927280.pdf>, (参照 2023/ 9/29)

科学的推論(2)

ロイヤルの3つの問い (Royal, 1997)

- 現在の証拠から何がわかるか
- 何を信じるべきか
- 何をすべきか



現在の証拠とその先にある結果

科学的推論(3)

- 薬の有効性について結論を得たり, 新たな環境下において行動指針を策定するためには, 科学的推論から新しい知識を創り出すことが必要となる.
- 科学と証拠を結びつけるものが「科学的推論」.
- 実は科学者の立場の数だけ科学的推論についての議論があり一定の結論には到達していない.
- 一方でその論点は無視できない.

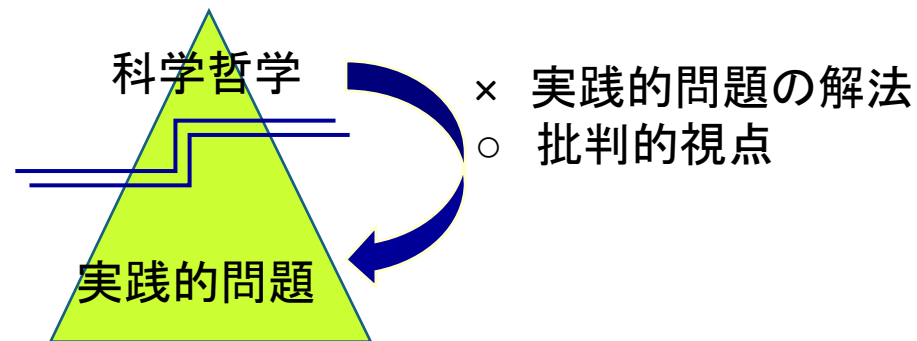
科学的推論(4)

- 科学的推論を扱う「科学哲学」

→ 実践的問題の解法を必ずしも教えてくれない

一方で, 科学的推論による知識の創造に関する者にとって, これに対する批判的視点を養うことは重要.

- 『科学と証拠』E.ソーバー: 歴史を踏まえた統一的理解である, 科学的推論の3つの主義



科学的推論(5)

代表的な3つの主義

- **科学哲学**:「科学がどうあるべきか」を研究する規範的な学問である.
- その中で**科学的方法**は「この素晴らしい方法は安定しており確立されている」との印象をうけるが, 科学的方法として何が必要かについては未だ探求の途上であり,まだ多くの論争がある.
- 証拠と結論, 行動を結びつける**科学的推論**の本質についての代表的な3つの主義

3つの主義: **ベイズ主義** **尤度主義** **頻度主義**

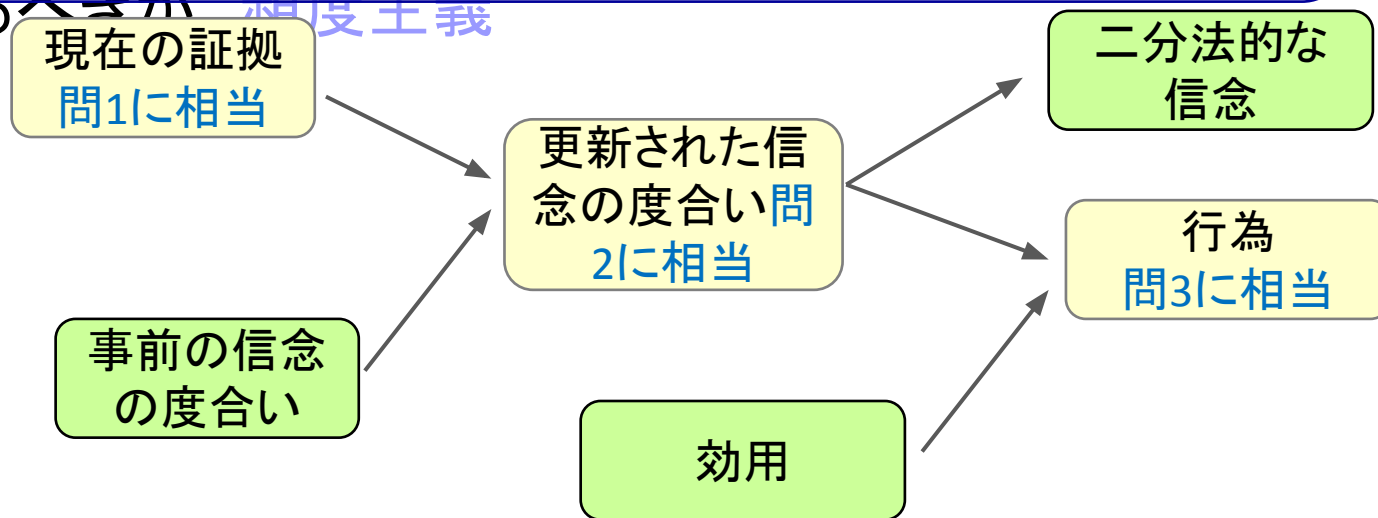
科学的推論(6)

ロイヤルの3つの問い(Royal, 1997)

問1. 現在の証拠から何がわかるか。尤度主義

問2. 何を信じるべきか。ベイズ主義

問3. 何をすべきか。頻度主義



現在の証拠とその先にある結果

科学的推論(7)

一緒に考えてみよう



あなた: 医者



患者S

- 事前の問診から

「患者Sは新型コロナに感染しているであろう」
現在の信念
信念の度合いを更新

- 検査室から

「患者Sの検査結果は陽性」
あなたの証拠

- あなたから患者Sへ

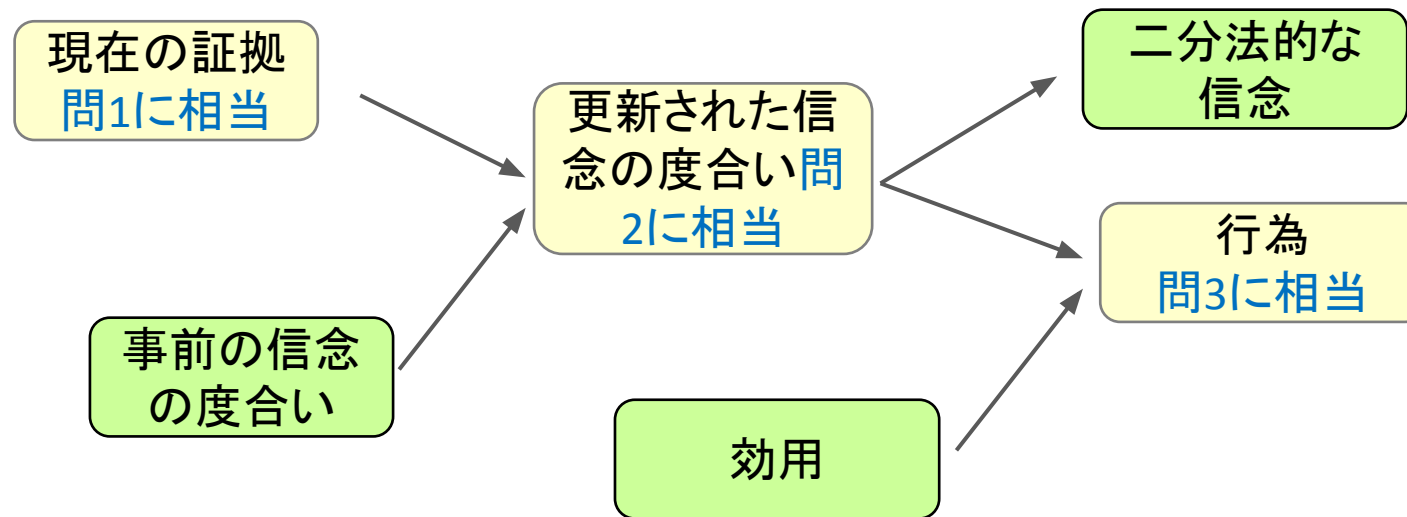
「あなたが新型コロナに感染している確率は、0.9です」

- 患者S「自分が新型コロナに感染していることがどれだけ確からしいかではなく、自分が感染しているか、していないかを知りたい」

- 「ある命題が0.9の確率をもっていれば, その命題は信じるに足るのかどうか？」

このような2分法的な信念の捉え方が本当に必要か？

- 信念の度合いが高い(0.9)からといって, **何をなすべきか**が示されるわけではない. 行為の選択を合理的に決めるには,さらなる情報が必要である.



現在の証拠とその先にある結果(再掲)

記号の準備①

O : 事象（観察）, H : 仮説

$P(H)$: H に関する事前の確率（事前確率・事前分布）

$P(O)$: 事象 O の確率

$P(O|H)$: 尤度：仮説 H が成り立つときに事象 O が生じる確率

$P(H|O)$: 事後確率：事象 O が生じたときに仮説 H が成り立つ確率

$$P(H|O) = \frac{P(H \& O)}{P(O)}, \quad P(O) \neq 0$$

条件付き確率

$$P(H \& O) = P(O|H)P(H)$$

ベイズの定理

記号の準備②

条件付き確率の例：ジョーカーを除いた52枚のトランプから1枚カードをひく。そのカードが赤であるとき、それが♥(ハート)である確率は、

$$P(\heartsuit | \text{赤}) = \frac{P(\heartsuit \& \text{赤})}{P(\text{赤})} = \left(\frac{1}{4}\right) \div \left(\frac{1}{2}\right) = \frac{1}{2}.$$

			
A~K 13枚	A~K 13枚	A~K 13枚	A~K 13枚

トランプ

尤度と事後確率の例

O : 屋根裏の物音

H : グレムリン** のボーリング入云

尤度 $P(O|H)$ は高い。

事後確率 $P(H|O)$ は低い。



** グレムリン “gremlin: An imaginary little creature that gets inside things, especially machines, and makes them stop working”.

<https://dictionary.cambridge.org/ja/dictionary/english/gremlin>, Cambridge Advanced Learner's Dictionary & Thesaurus @ Cambridge University Press. (参照 2023/9/29)

ベイズ主義①

ベイズ主義は認識論であり、証拠、推論、合理性の問題にかかわる様々な概念の解明に、ベイズの定理といわれる数学的結果を役立てようとするもの。

ベイズ主義における科学の目的

証拠 O が与えられたときに、真であることが確からしい仮説 H はどれか、を見つけ出すこと。観察 O が得られたときに、仮説 H がどのような確率をもつか $P(H|O)$ を考える。

- 観察 O が得られる前に、仮説 H に確率を割り当てる。 $P(H)$
- 観察 O が得られたら、ベイズの定理より、 H に割り当てていた確率を更新する。

ベイズ主義②

(Royal, 1997)

問1. 現在の証拠から何がわかるか。尤度主義

問2. 何を信じるべきか。ベイズ主義はこれに答えるもの

問3. 何をすべきか。頻度主義

問2を洗練し、「命題を信じるか信じないか」(2分法的概念)を「信念の度合い」の概念に置き換えた。

例) あなた: 医者 相手: 患者S

患者Sの検査結果が陽性と知ったとき、「どの程度患者が新型コロナに感染していると確信すべきか」を問題にする。

ベイズ主義③

いま、患者Sについて、検査結果が陽性という観察を得た。これによって、信念の度合いは変化するか？

$$P(\text{感染している}|\text{陽性}) = \frac{P(O|H)P(H)}{P(\text{陽性})P(O)}$$

$$P(\text{感染していない}|\text{陽性}) = \frac{P(O|\neg H)P(\neg H)}{P(\text{陽性})P(O)}$$

$$\frac{P(\text{感染している}|\text{陽性})}{P(\text{感染していない}|\text{陽性})} = \frac{P(\text{陽性}|\text{感染している})}{P(\text{陽性}|\text{感染していない})} \times \frac{P(\text{感染している})}{P(\text{感染していない})}$$

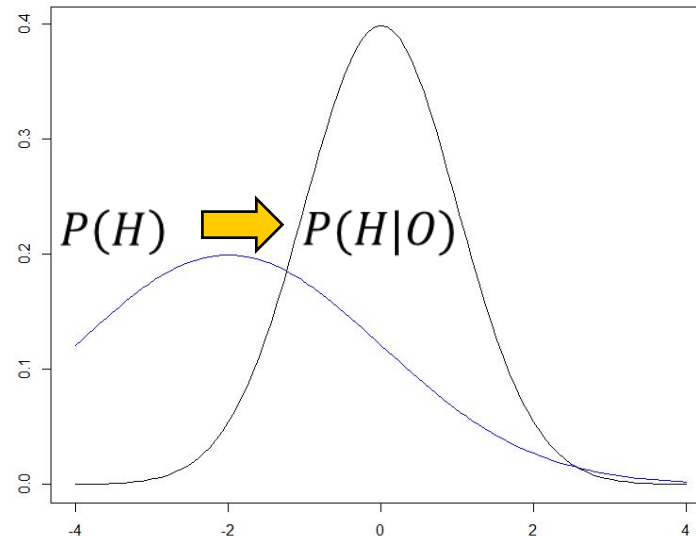
事後確率の比 = 尤度の比 × 事前確率の比

ベイズ主義にとっては、検査結果という証拠を得たのち、患者Sが感染しているかどうかに関する信念度合いが変わる際の唯一無二の通り道が、**尤度の比**となる。

ベイズ主義④

ベイズ主義のまとめ

- 「今、この場で、データが仮説に関する情報をどう変化させるかを捉えよ」
- 「他のデータの可能性は一切捨てよ」



例)

H: 患者Sは新型コロナに感染している

O: 患者Sの検査結果陽性

尤度主義①

(Royall: 1997)

- 問1. 現在の証拠から何がわかるか。尤度主義はこれに答えるもの
問2. 何を信じるべきか。証拠に関する問い「確からしさ」
問3. 何をすべきか。

- ベイズ主義が困難に陥ったときの代替手段でもある。ベイズ主義における主観的な哲学的要素は捨てられつつも、ベイズ主義が提供する多くのことは保持される。
- 明確な尤度をもつような仮説のみを互いに比較する。
- $P(H|O)$ の形の確率を考慮しない点がベイズ主義とは異なり、頻度主義に似ている。

尤度の法則 Hacking: 1965

- 観察 O が仮説 H_2 よりも仮説 H_1 を支持するのは

$$P(O|H_1) > P(O|H_2)$$

のとき、かつそのときに限る。

- 仮説 H_2 よりも仮説 H_1 を支持する度合いは、尤度の比

$$\frac{P(O|H_1)}{P(O|H_2)}$$

で与えられる。

尤度主義③

- 尤度主義者の支持の概念

手持ちのデータに確率を与える任意の2つの仮説の競合について、証拠から何が言えるかを示すもの。

O が H_1 を確認するとき: $P(O|H_1) > P(O|H_2)$

- バイズ主義者の確証の概念

ある仮説とその否定との競合について証拠が示すことから。

O が H_1 を確認するとき: $P(O|H_1) > P(O|\neg H_1)$

尤度主義④

- 観察 O が与えられた時に、尤度主義では H_1 は H_2 より支持されないが、ベイズ的確証は得られる例

$$O = \text{赤}, H_1 = \heartsuit, H_2 = \diamondsuit$$

$$P(O|H_1) = 1, \quad P(O|H_2) = 1 \quad \longrightarrow \quad H_1 \text{ は尤度主義では支持されない}$$

$$P(O|H_1) = 1, \quad P(O|\neg H_1) = \frac{1}{3} \quad \longrightarrow \quad H_1 \text{ はベイズ的確証が得られる}$$

- 逆のパターン：観察 O が与えられた時に、尤度主義では H_1 は H_2 より支持されるが、ベイズ的確証が得られない例

$$O = 7, H_1 = \heartsuit, H_2 = \spadesuit A$$

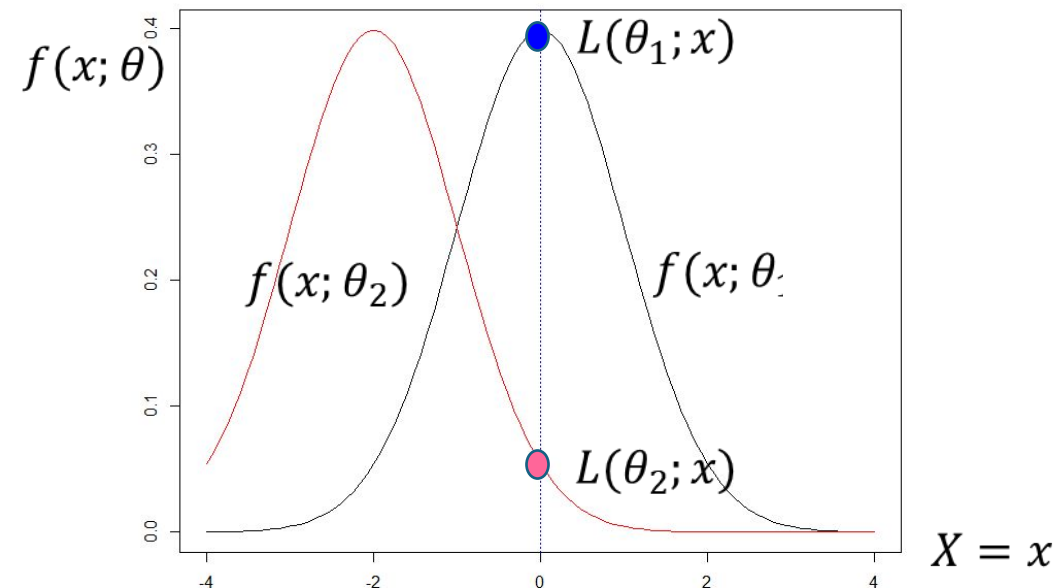
$$P(O|H_1) = \frac{1}{13}, \quad P(O|H_2) = 0. \quad \longrightarrow \quad H_1 \text{ は尤度主義では支持される}$$

$$P(O|H_1) = \frac{1}{13}, \quad P(O|\neg H_1) = \frac{1}{13}. \quad \longrightarrow \quad H_1 \text{ はベイズ的確証が得られない}$$

尤度主義⑤

尤度主義のまとめ

- 尤度の法則： $L(\theta_1; x) > L(\theta_2; x)$ であれば、データ x は仮説 $\theta = \theta_2$ より仮説 $\theta = \theta_1$ を支持する。
- 証拠の強さは $L(\theta_1; x)/L(\theta_2; x)$ で測られる。



頻度主義①

(Royall: 1997)

問1. 現在の証拠から何がわかるか。

問2. 何を信じるべきか。

問3. 何をすべきか。頻度主義はこれに答えるもの。

- 頻度主義は認識論に関わる1つの考え方。
- 統一された理論ではなく、様々な手法が互いに緩やかに結びついたもの。
- 同じ規則を用いて何度も繰り返し判断を行ったときに、誤りの頻度が小さいものがよい推論規則であると考ええる。
- ある仮説が正しいとしたとき、観察がどれほど確からしいか、 $P(O|H)$ という形の確率だけに注目し、仮説に確率を割り当てるといった目的を認めない。

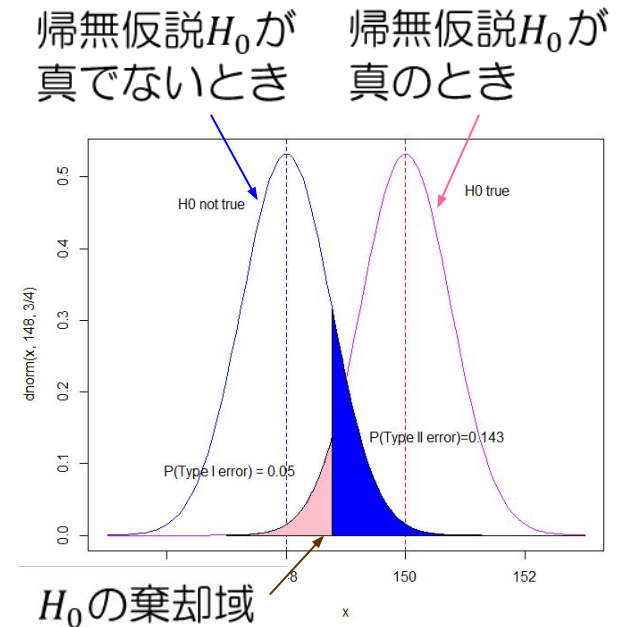
頻度主義②

- 有意検定、仮説検定

得られたデータ O と帰無仮説 H_0 が真のときの分布をもとに、仮説を棄却できるかどうか、といった判断を行う。

- 今この場で生じていることだけでなく、生じた可能性があることから全て併せて仮説について判断する。

- 低い $P(O|H_0)$ の値は、仮説棄却のサインとみなす。



頻度主義③

-

◆ モーダス・トレンス

前提 1. もし H なら、そのとき O

前提 2. $\neg O$

結論 $\neg H$

有意検定における推論形式：

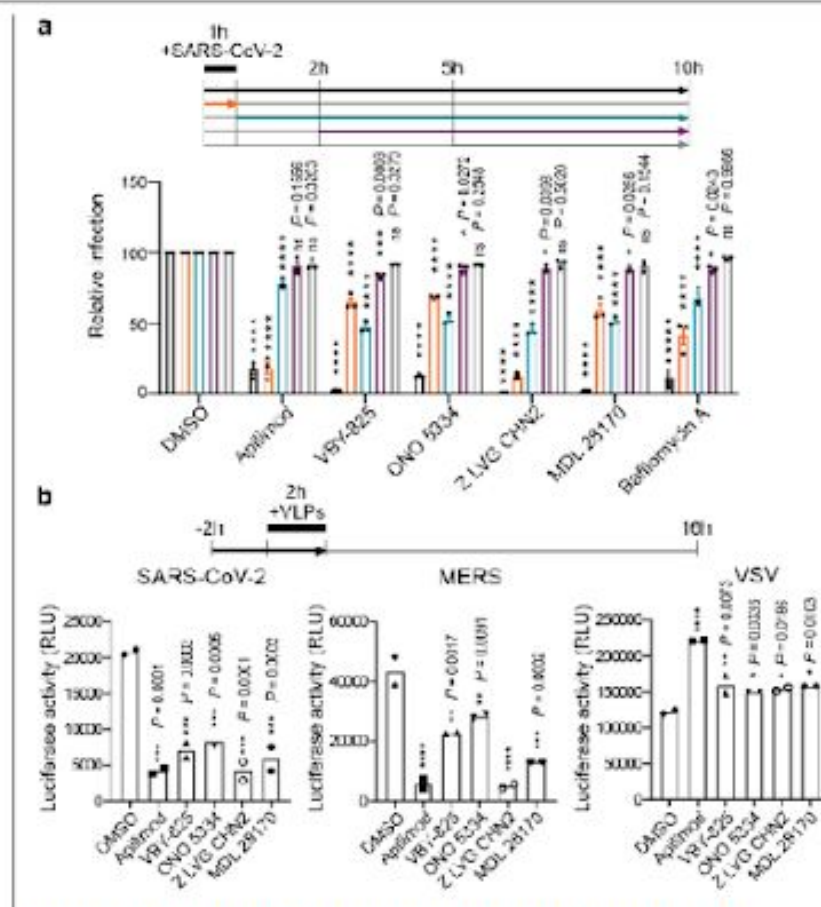
◆ 確率論的モーダス・トレンス

前提 1. $P(O|H)$ は非常に高い

前提 2. $\neg O$

結論 $\neg H$

頻度主義④

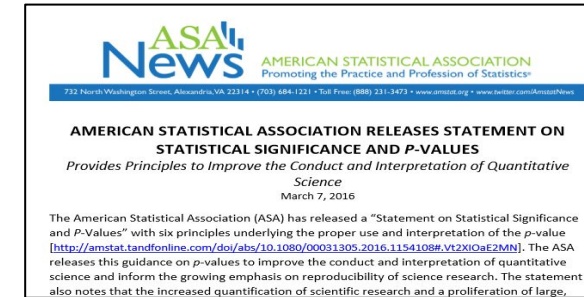


Riva et al. 2020

頻度主義⑤

最近の「伝統的頻度主義」批判

- ASAは『科学的結論、意思決定は、従来の「仮説検定」を適切に使用
する必要がある』とし、適切な仮説
検定の使用に関する原則をまとめた。
- 確率的モダストレンスは、推論として妥当であろうか？
- 仮説検定は「仮説を棄却できるかどうか」を結論とするが、科学
において「仮説の棄却」を目的とすることに意味はあるのか？
- 仮説検定の結論は、サンプルの大きさに敏感である。



American Statistical
Association(ASA),
2016

科学的推論(8)

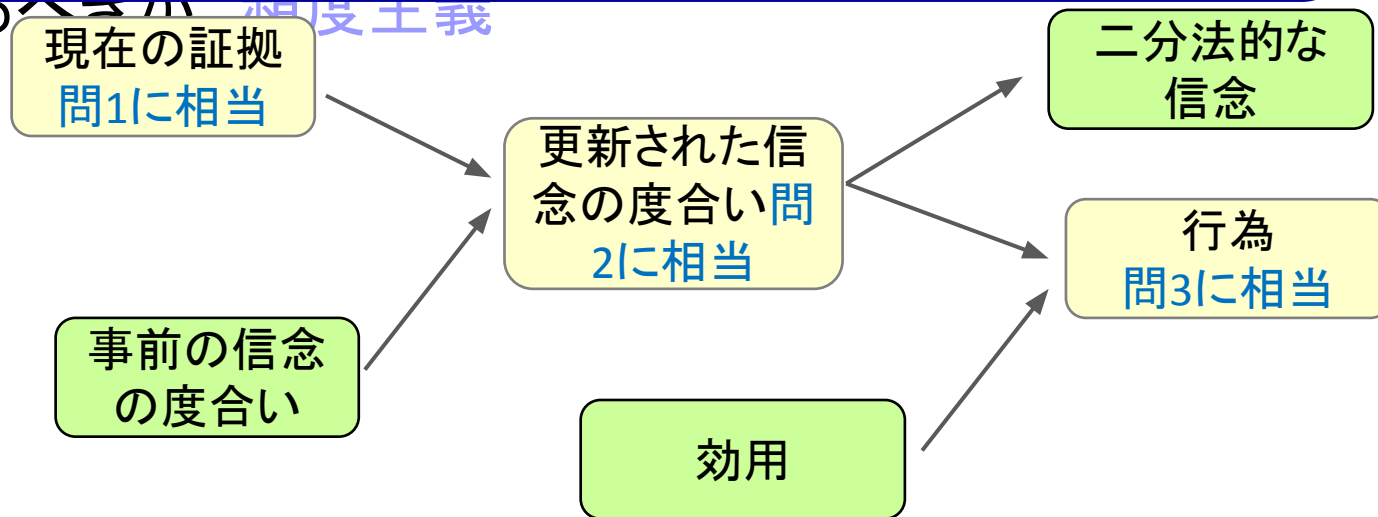
まとめ(1)

ロイヤルの3つの問い(Royal, 1997)

問1. 現在の証拠から何がわかるか。尤度主義

問2. 何を信じるべきか。ベイズ主義

問3. 何をすべきか。頻度主義



現在の証拠とその先にある結果

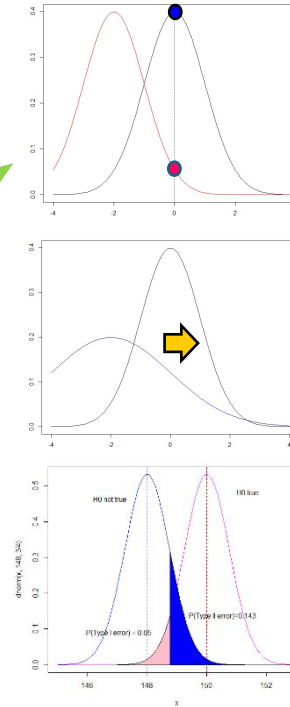
まとめ(2)

(Royall: 1997)

問1. 現在の証拠から何がわかるか。尤度主義

問2. 何を信じるべきか。ベイズ主義

問3. 何をすべきか。頻度主義



知識の創造のために

- 「結局、どの主義がよいのか」という視点ではなく「どの場合はどの主義が最も効果的か」という視点で考えていく必要がある。
- 難しい議論は哲学者に任せるとしても、科学において仮説はどのように正当化されるのか、常に意識して、批判的な視点を持ち続けるべきである。

科学的推論(9)

全体のまとめ

因果推論・因果探索

- ・「因果とはなにか」→「因果性をいかに発見するか」(松王 2020)

ヒューム: 因果論, ヘンペル: 法則説, マッキー: INUS説
ルイス/ウッドワード: 介入説, サモン: 因果的プロセス説
スピアース/ラインバッハ: 確率説

- ・2000年代以降 **計算機への実装でより身近なものに**
パール, スパーティス

ルービン