

# 因果と確率の哲学

日本社会心理学会方法論セミナー(2016.3.16)

大塚 淳 (junotk@gmail.com)

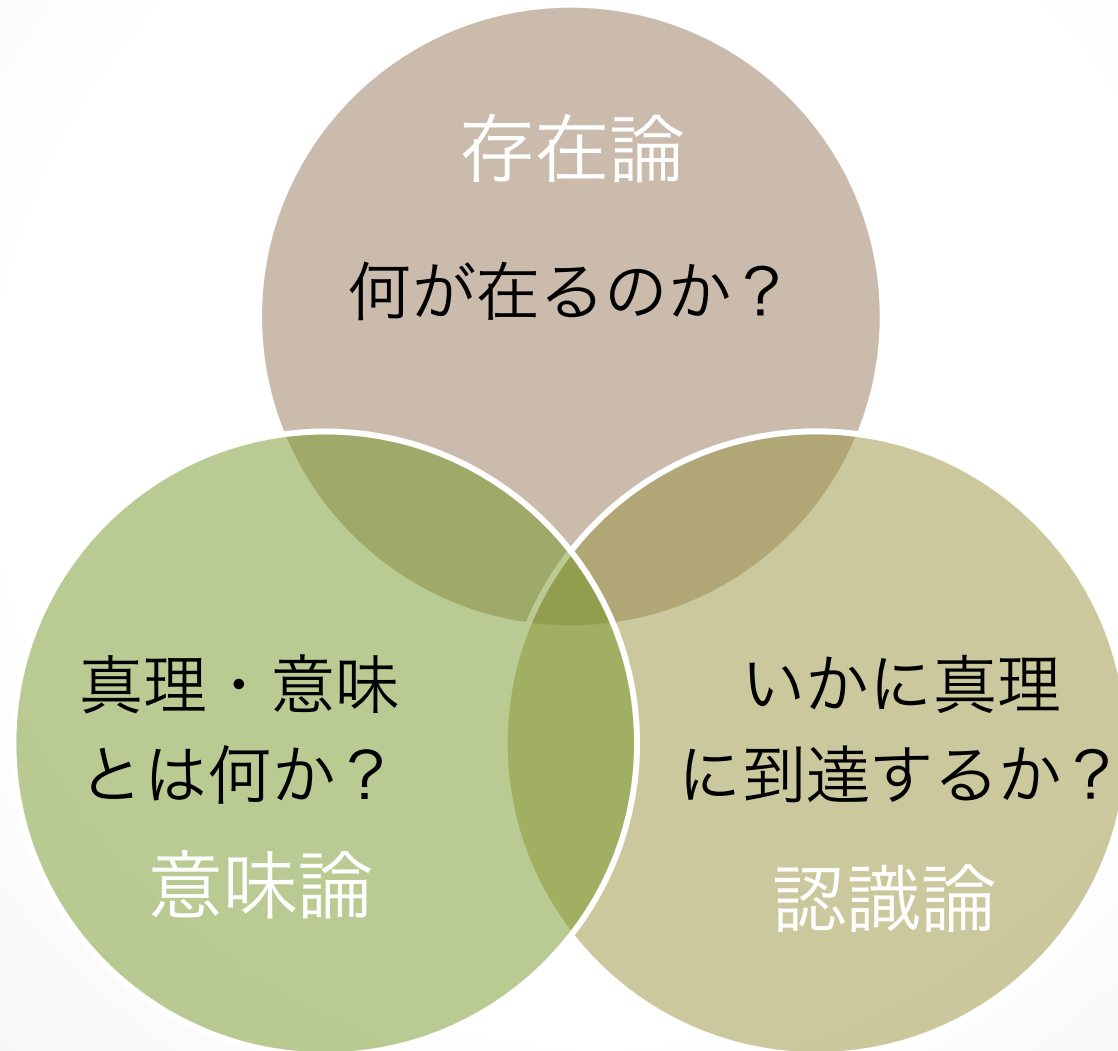
神戸大学 文学部・人文学研究科

因果推論とは

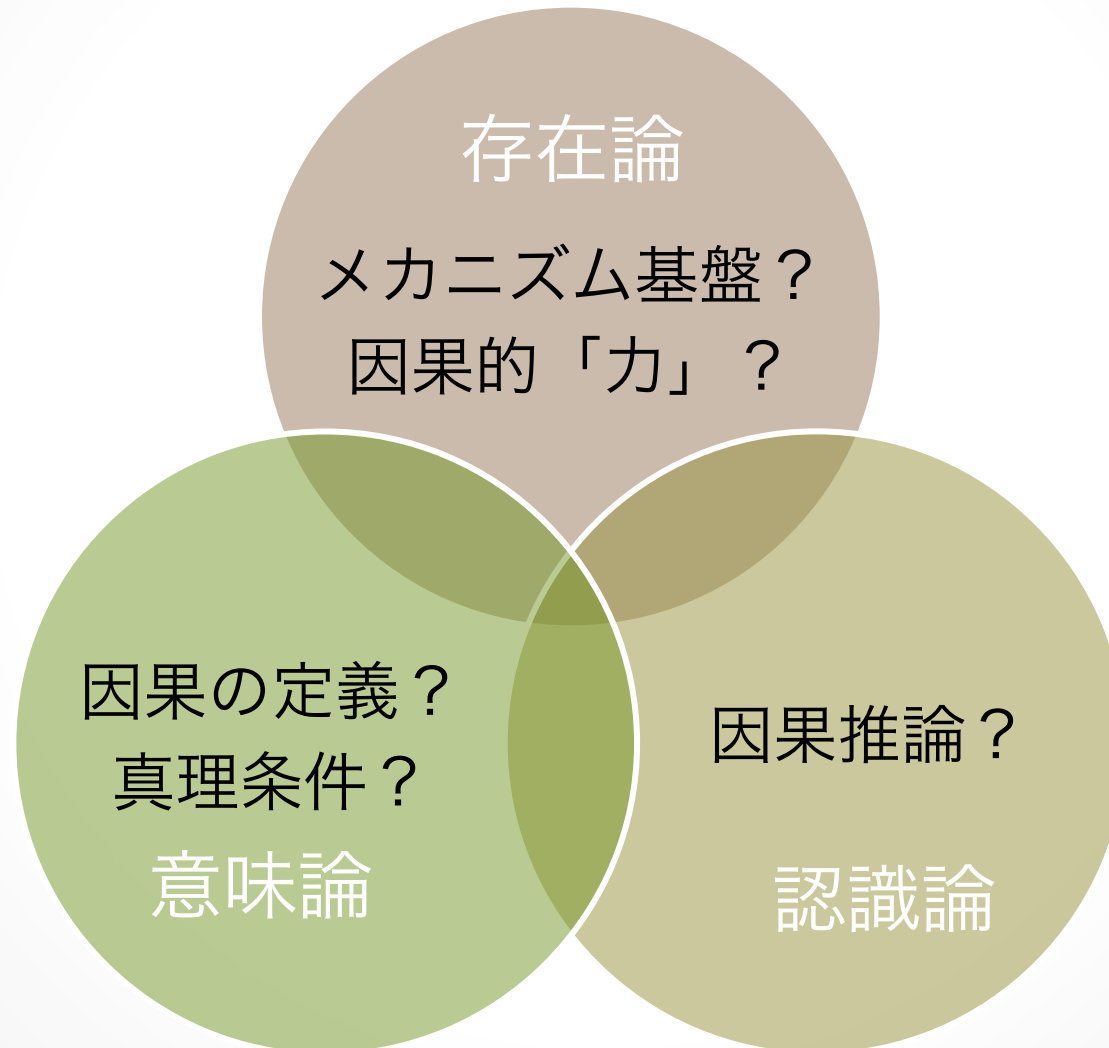
~~最新の統計手法の一つ？~~

一つの哲学である！

# 哲学？



# 「因果」とは何か？



# 概観

1. 近代までの因果概念の変遷
2. 現代哲学の反事実条件アプローチ
3. 統計的因果推論
  1. Rubinの因果モデル
  2. Pearlの因果グラフ理論

# アリストテレスの4原因説

## 4通りの「説明」

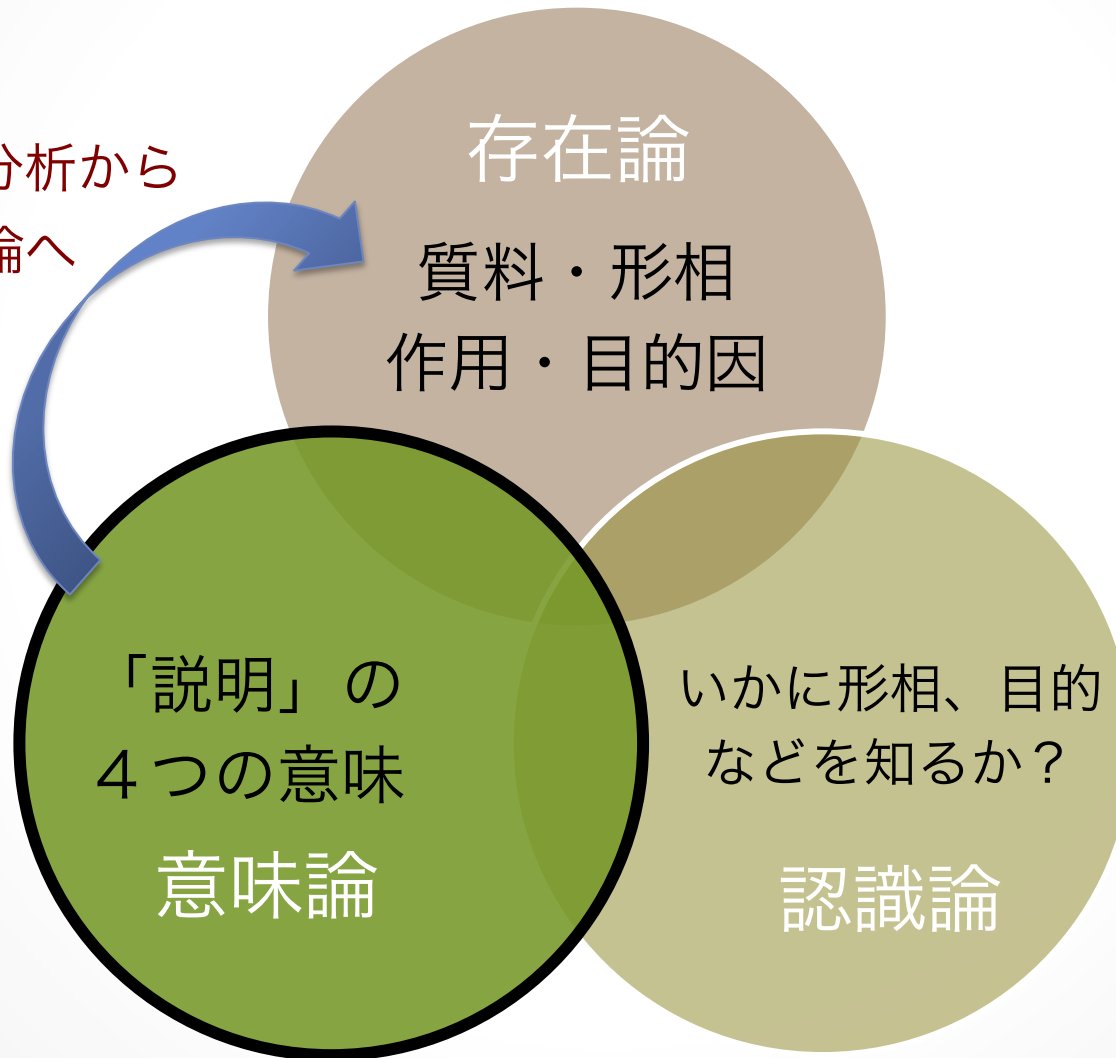
- |                    |     |
|--------------------|-----|
| 1. それは何でできているか     | 質料因 |
| 2. それはどんな形式・設計か    | 形相因 |
| 3. どんな作用によって実現されたか | 作用因 |
| 4. なぜそれがあるのか       | 目的因 |



→ この4つの問いに応じて、答えとなる αἰτία/aitia  
(原因・理由) があるはず

# アリストテレスの4原因説

意味論的な分析から  
因果の存在論へ



# デカルトの認識論的転回

私の意識（コギト）が明晰に認識し得ないものは、存在すると言えない

ところで私が明晰に観察するのは、モノの形と運動のみ・・・

モノの形相・本質や目的は！  
知り得ないツツ！！**故にツ**！！  
そんなものは存在しないツツツツ！！！！



René Descartes  
(1596-1650)



# ヒュームの懐疑

デカルトはん、ほなゆうたら  
「作用」や「力」だって直接見れへ  
んでっしゃる？

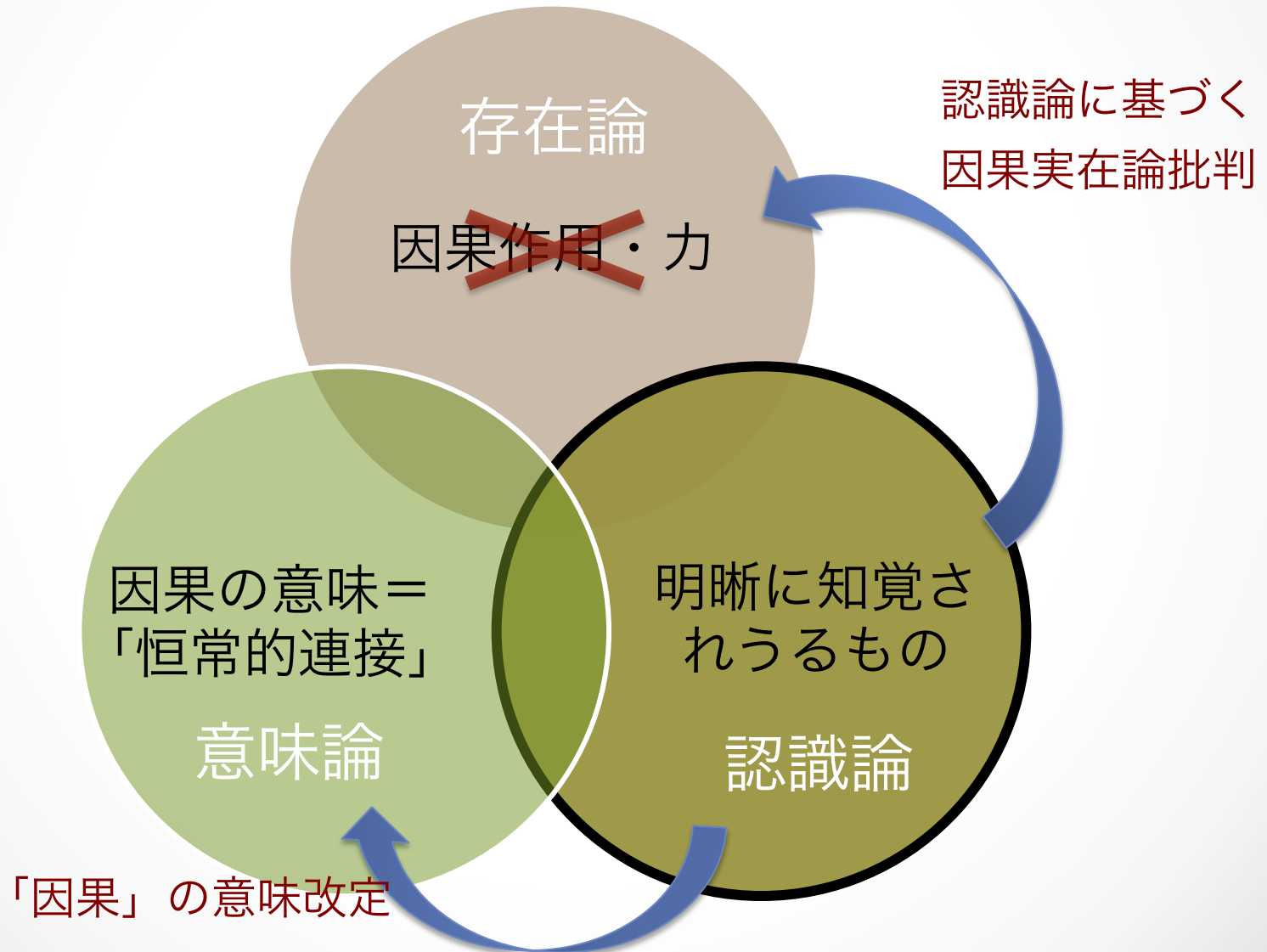
うちが観察するのは、「ある出来事が  
起こり、他の出来事が続いて起こ  
る」ってことだけですさかいに



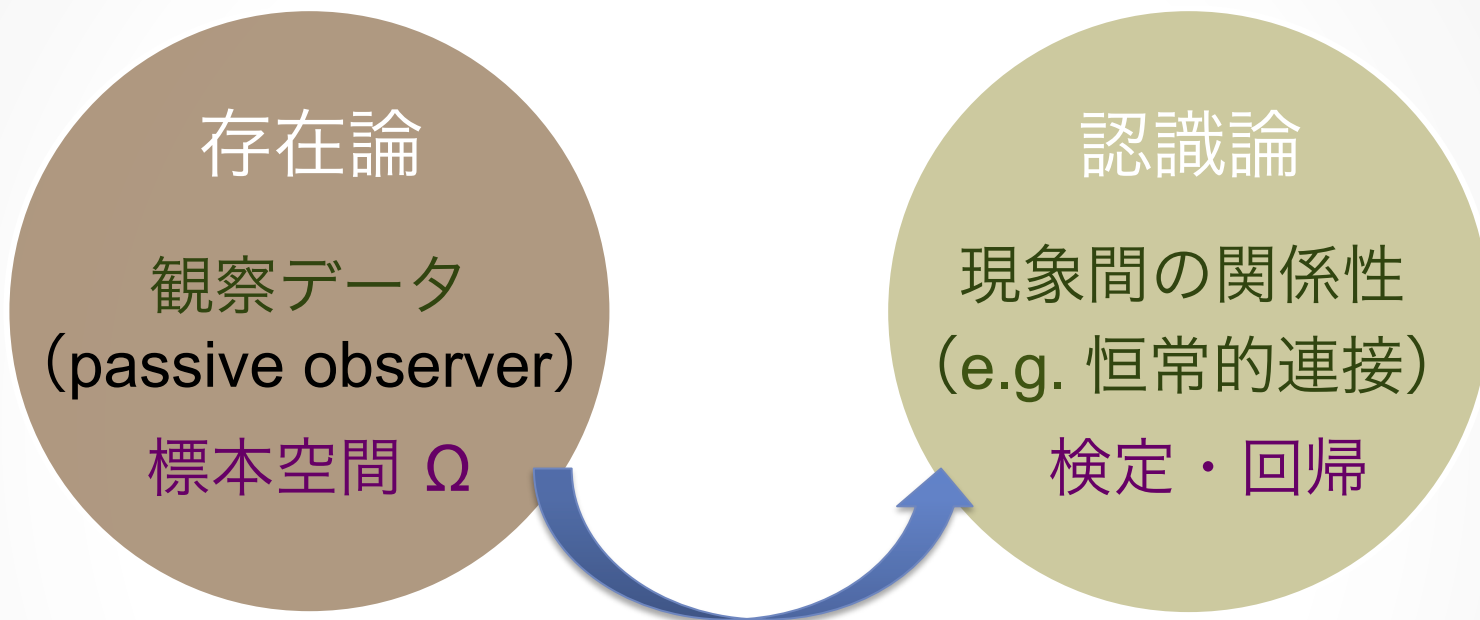
David Hume  
(1711-1776)

結局うちらが因果因果ゆうてるのは、  
「恒常的連接」ってことだけちやい  
まっか？

# ヒュームの因果批判

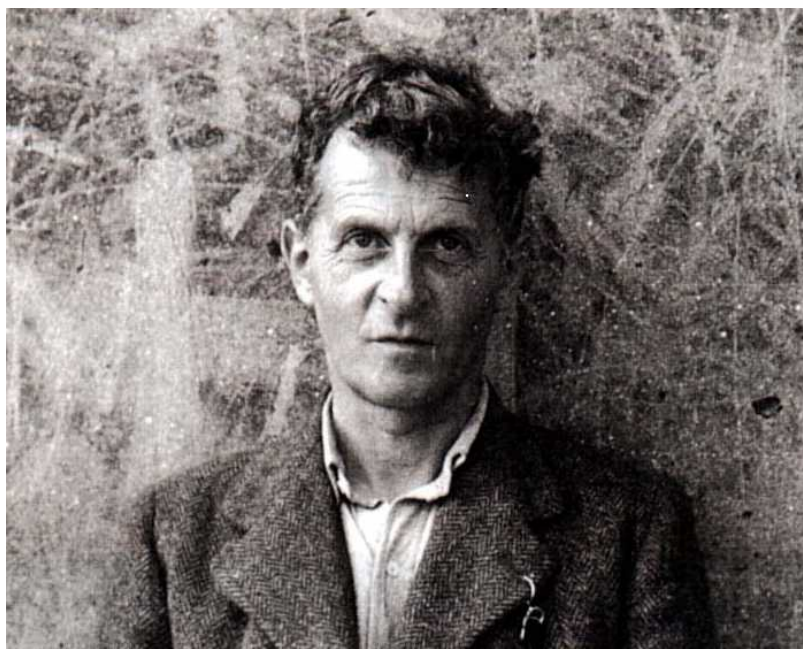


# 経験論・確率論のパラダイム



科学的言語に基づく記述・推論

こうした存在論 & 認識論に合致するもののみが「科学」  
それ以外は「無意味」 (ラッセル、ピアソン、論理実証主義)



語りえぬものについては、沈黙しな  
なければならない

ー ウィトゲンシュタイン 『論理哲学論考』

# 近代科学が「語りえないもの」とは？

- 能動的な世界への働きかけ（介入）
- あり得たけれども実現しなかった事象（反事実的事象）
- 世界の構造それ自体
  
- しかし因果とはまさにこういうものなのではないか？
  - だとしたら、必要なのは「新たなツール」というよりも、むしろ科学的「世界」・「言語」の拡張

# 「反事実」を語るものとしての因果

- 「ワクチンを受けたおかげで、インフルエンザにかからなかった」
  - = 「もしワクチンを受けていなかったら、インフルエンザになった（かもしれない）」
  - 仮想的・反事実的状況に対する推論
- 反事実的推論は、何によって「真」となるのか？  
(反事実条件の意味は？)

# Kripkeの可能世界意味論

伝統的論理学 (Frege, Russell)

- 現実世界の真偽のみを扱う

現実世界



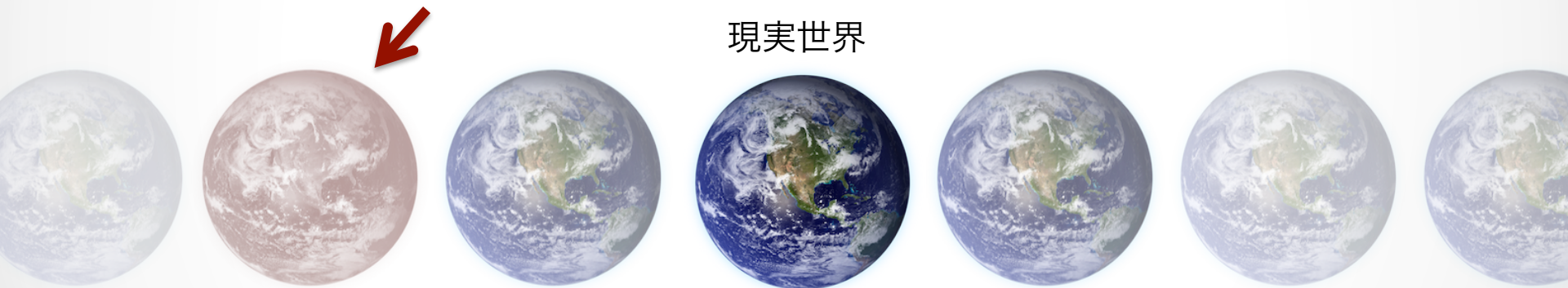
「地球は青い」は真

「地球は赤い」は偽

# Kripkeの可能世界意味論

## 可能世界意味論

- 必然性・可能性は、**可能世界**についての命題



「地球は青い」は必然 = すべての可能世界において地球は青い → 偽

「地球は赤い」は可能 = ある可能世界で地球が赤い → 真



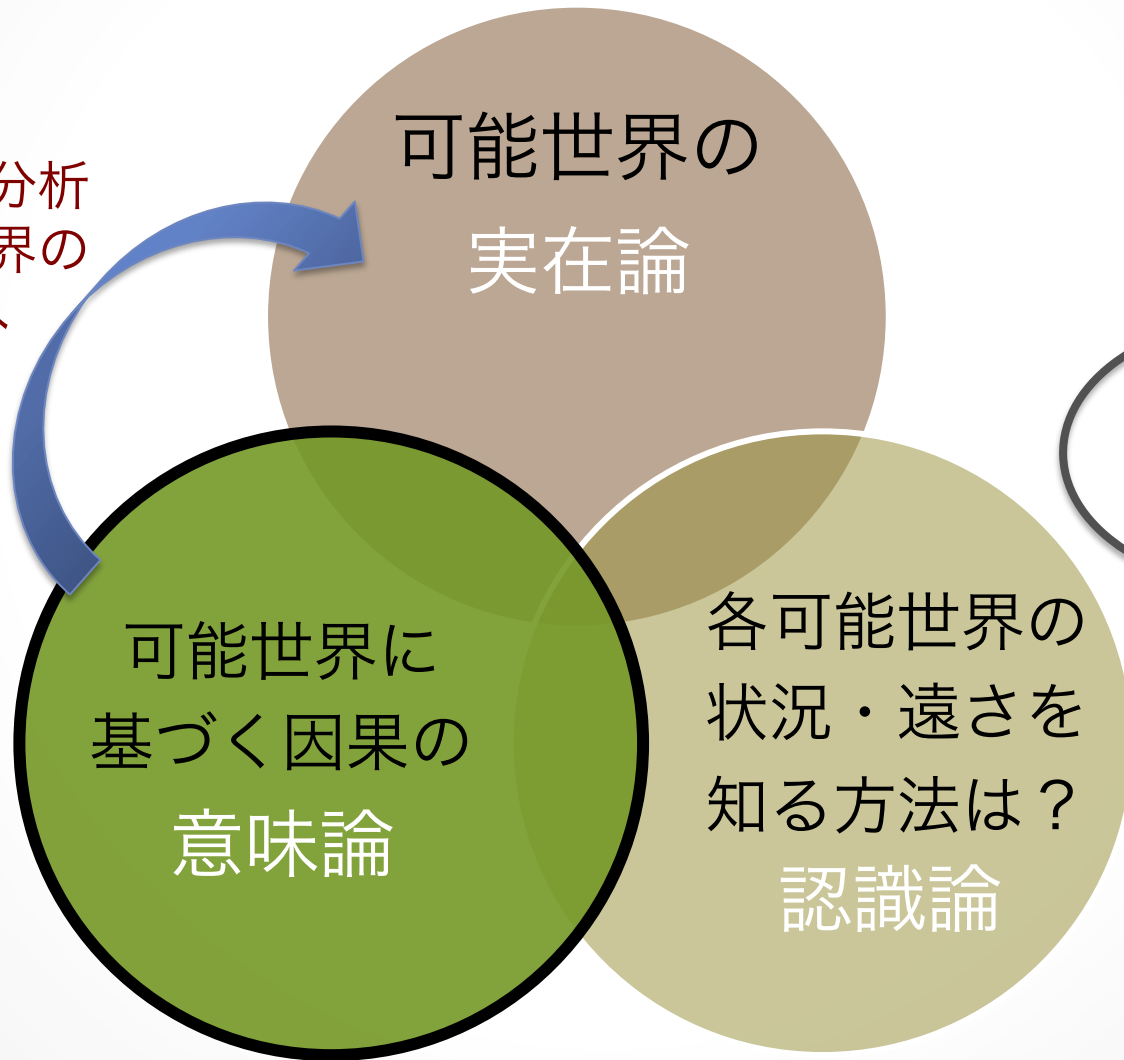
# Lewisの反事実条件アプローチ

「仮に予防接種を受けなかったら、OJはインフルにかかっていた」

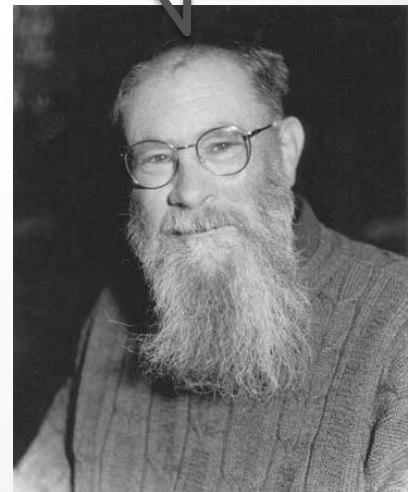
⇔ 「OJが接種を受けなかった可能世界のうち、現実世界に最も近い世界では、OJはインフルにかかった」

# Lewisの可能世界实在論

因果の意味分析  
から可能世界の  
实在論へ



無い。



# それじゃ困る。

因果の反事実性を認めつつ、穏当な存在論・認識論を取ることは可能か？

1. Rubinの因果モデル
2. Pearlの因果グラフ理論

# 可能世界を推し量る

- (\*) 「OJが予防接種を受けなかった直近の可能世界で、OJはインフルにかかった」
- OJは実際に予防接種したので、これを調べる術はない。
  - しかし仮にOJに双子の兄弟、OKがいて、彼は予防接種していなかったとしてみよう。
  - OKを「可能世界においてワクチンを受けなかったOJの、現世界での代理」と考え、彼がインフルにかかったかどうかをもって、(\*) の答えとする。

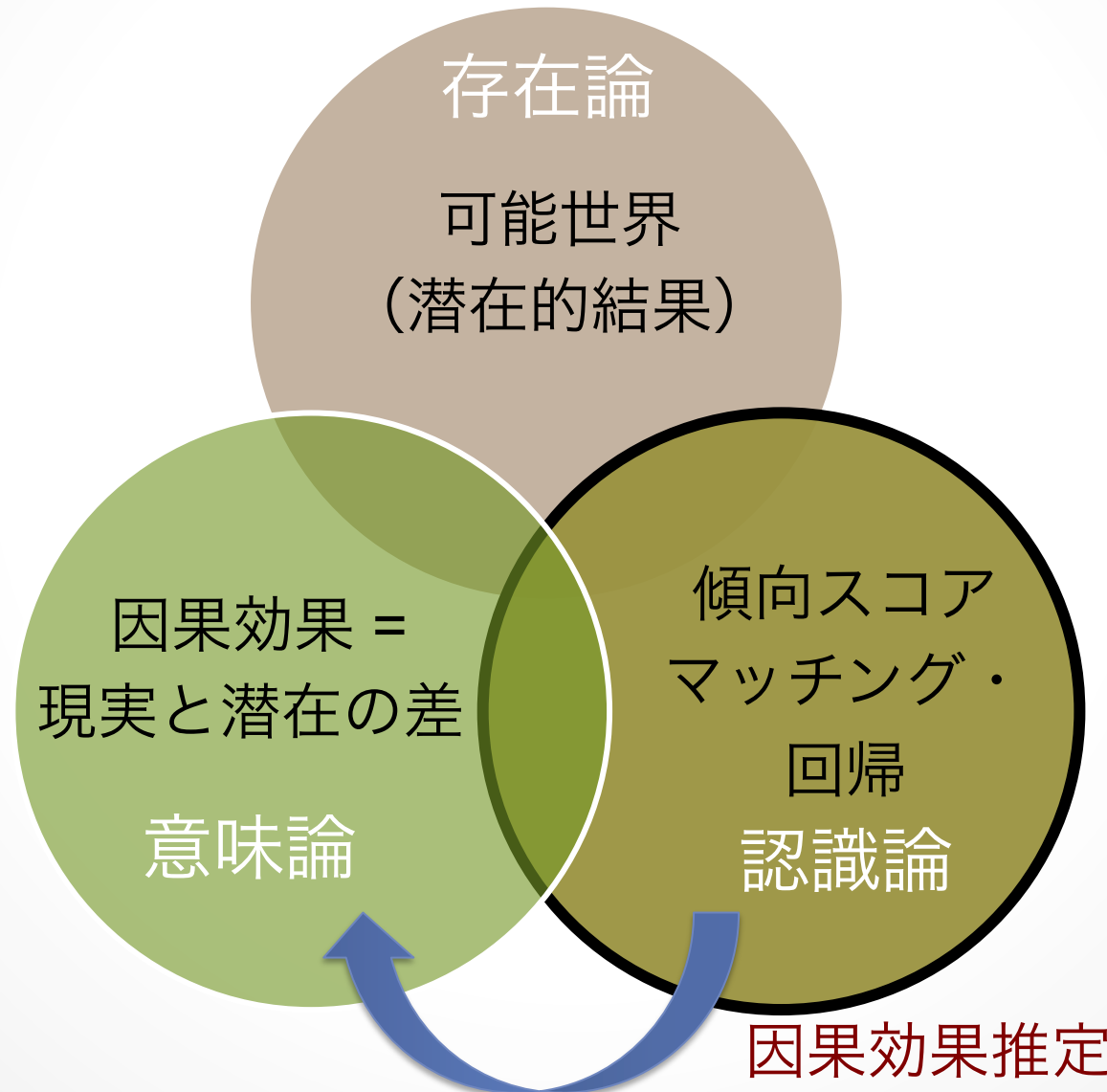
# 思考実験のポイント

- 可能世界の「レプリカ」を、「似ている」ペアないしグループを現実世界で集めることによって実現する！
- 問題
  - そんなドッペルゲンガーみたいな人そうそういない。
  - 「似ている」ってどの面で？（性別、身長、年齢、職業、趣味、星座、昨日の夕食・・・etc.）

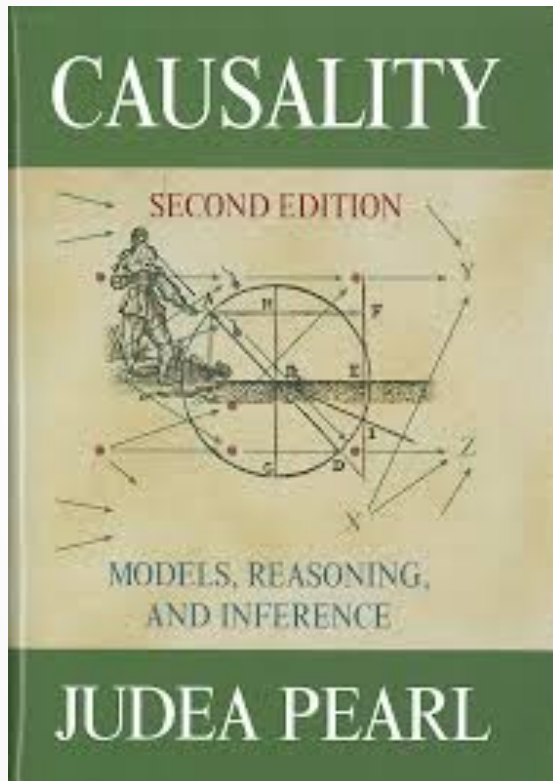
# Rubinの傾向スコア

- 関連性質をすべて要約するような「特徴量」を考える
  - 「似ている」 → 同様の傾向スコアを持つ
  - 「関連性質」 → 「強く無視できる割当条件」を満たす
- この傾向スコアで調整した上で、原因（割当）と結果の関係を調べる

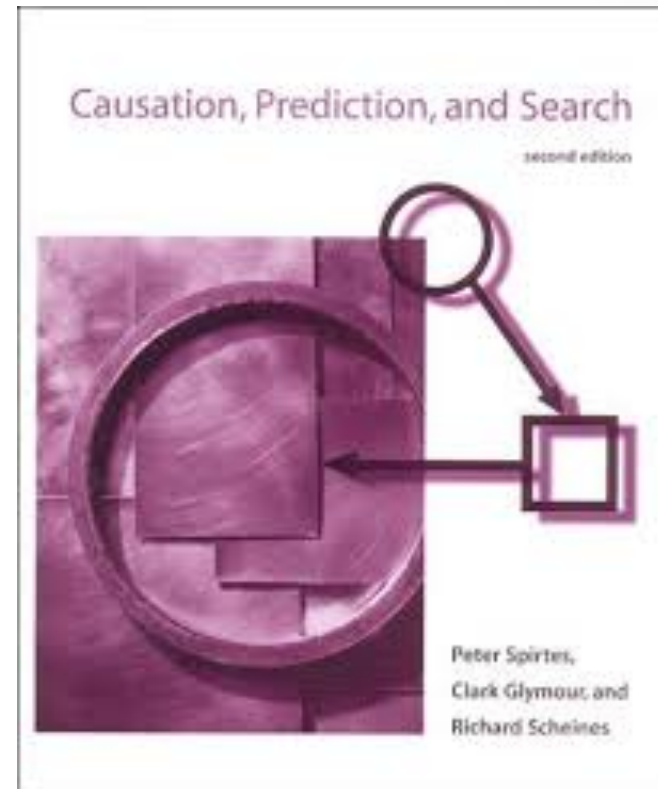
# Rubinの認識論



# 因果グラフ理論



Pearl (2000/9)



Spirtes et al. (1993/2000)



# Pearlの因果グラフ理論

- (\*) 「OJが予防接種を受けなかった直近の可能世界で、OJはインフルにかかった」
- これを調べるために：OJに仮想的な介入（予防接種させない）を行い、その結果を評価する！

# この問題

『確率・統計論』



余の辞書に  
介入の文字  
はない

「介入」を表現できるように  
「科学の言語」を拡張する！

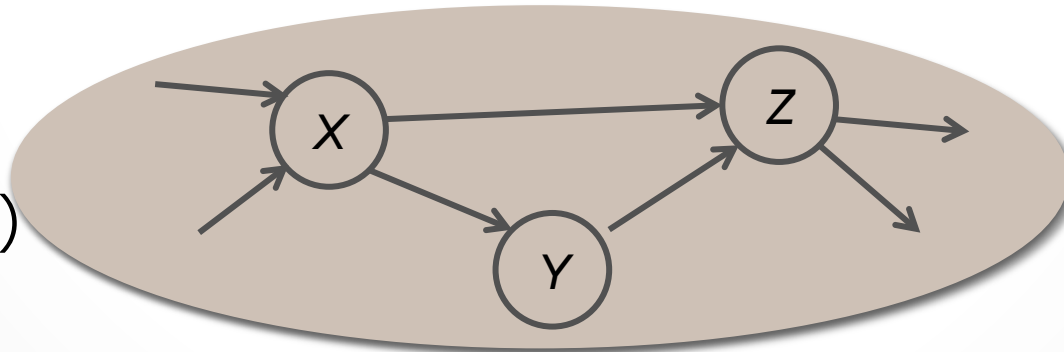
# 因果グラフ

確率分布は  
そこから生み  
出される「影」

$P(X, Y, Z)$

産出

変数間に  
因果構造  
(有向グラフ)  
を入れる



# 因果グラフ

確率分布は  
そこから生み  
出される「影」

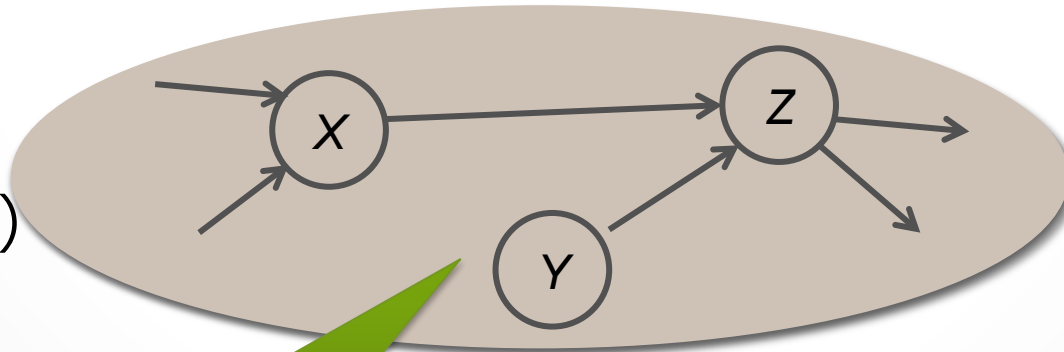
$$P(X, Y, Z \mid do(y))$$

新たな分布  
(do 計算)

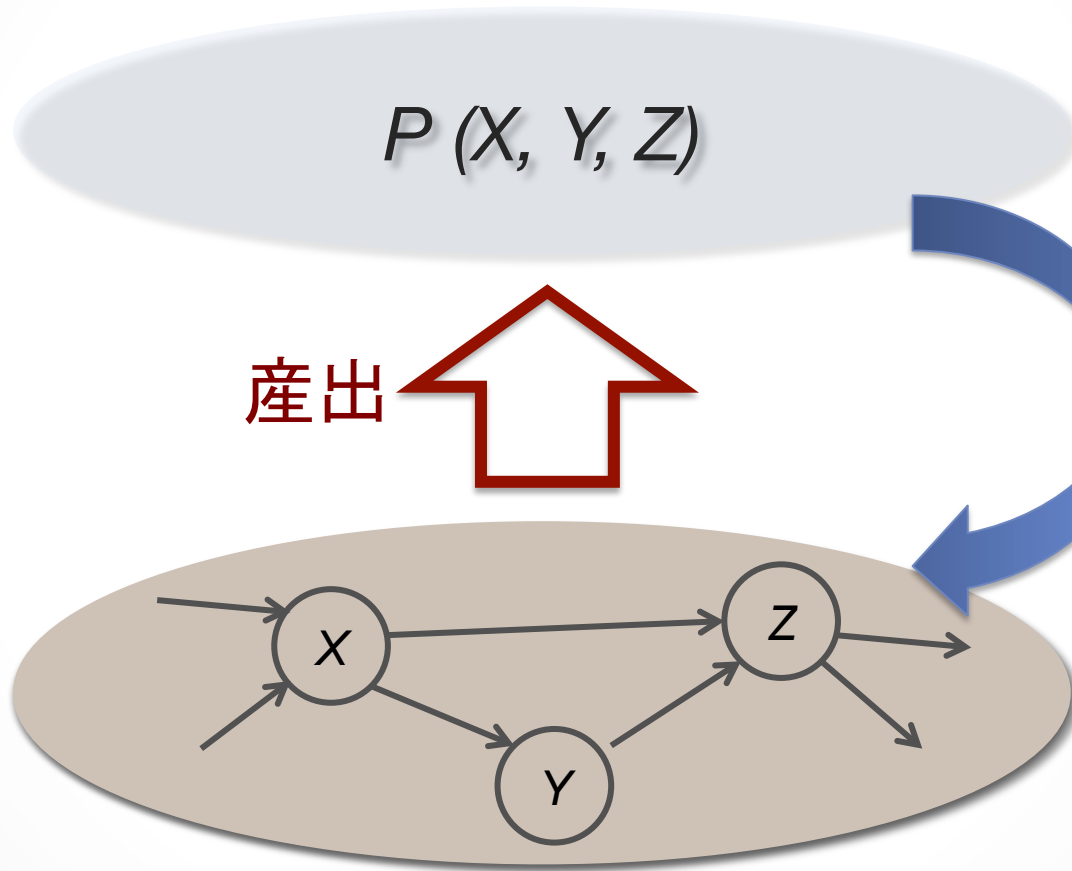
産出

変数間に  
因果構造  
(有向グラフ)  
を入れる

介入 (グラフ  
操作)



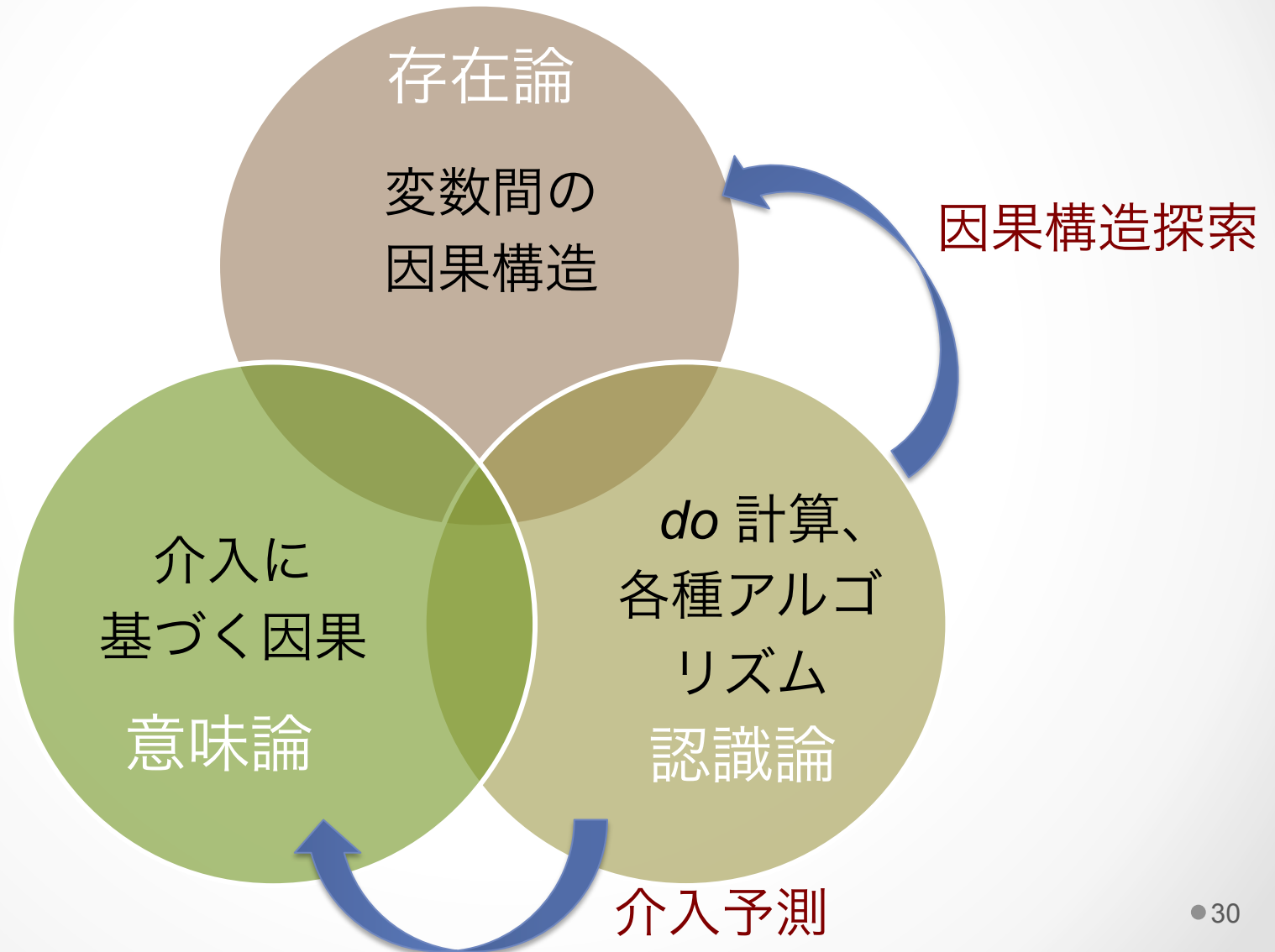
# 因果構造探索



「影」から  
元となる構造  
を読み解く

PC, FCI,  
LiNGAM,  
etc.

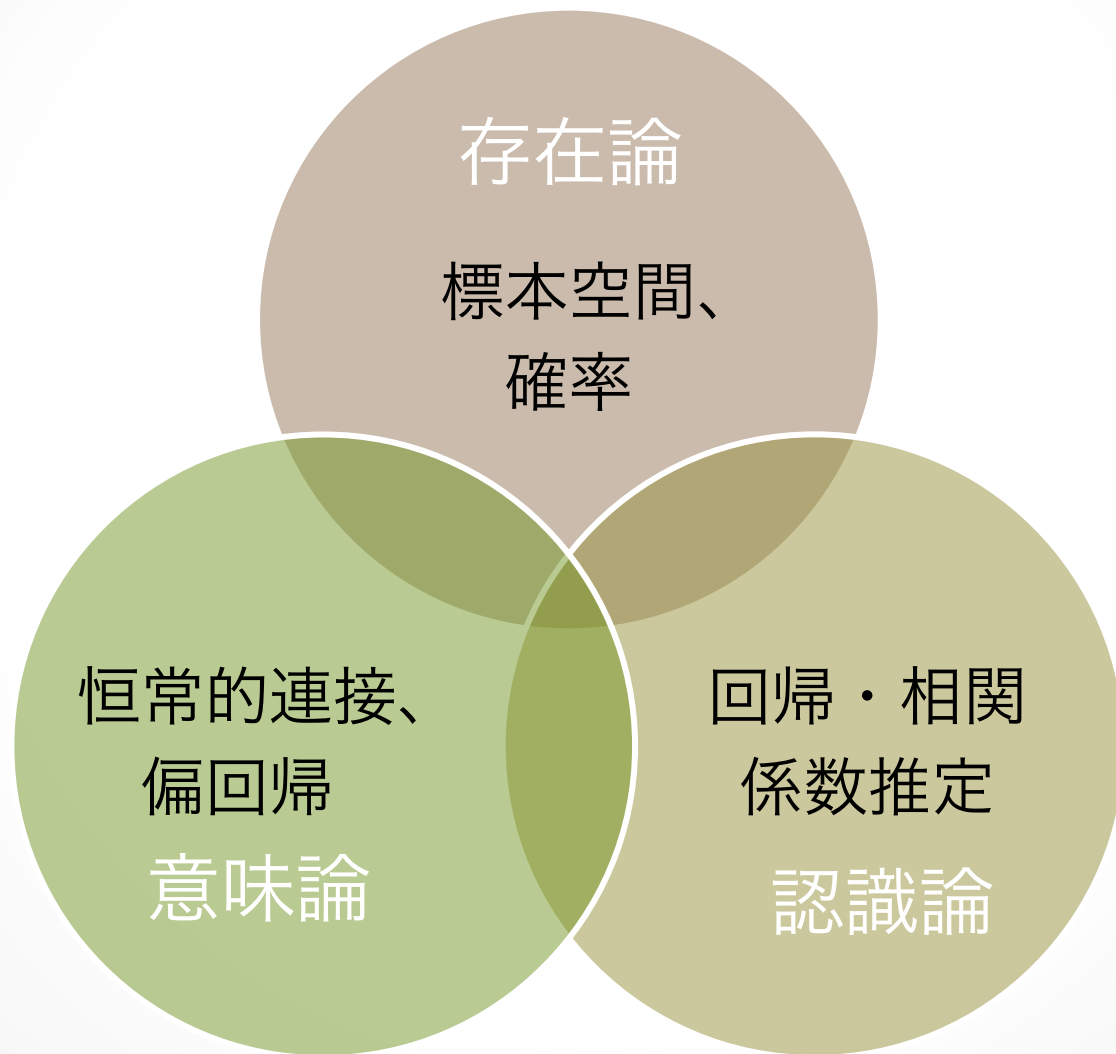
# Pearlの哲学



# まとめ

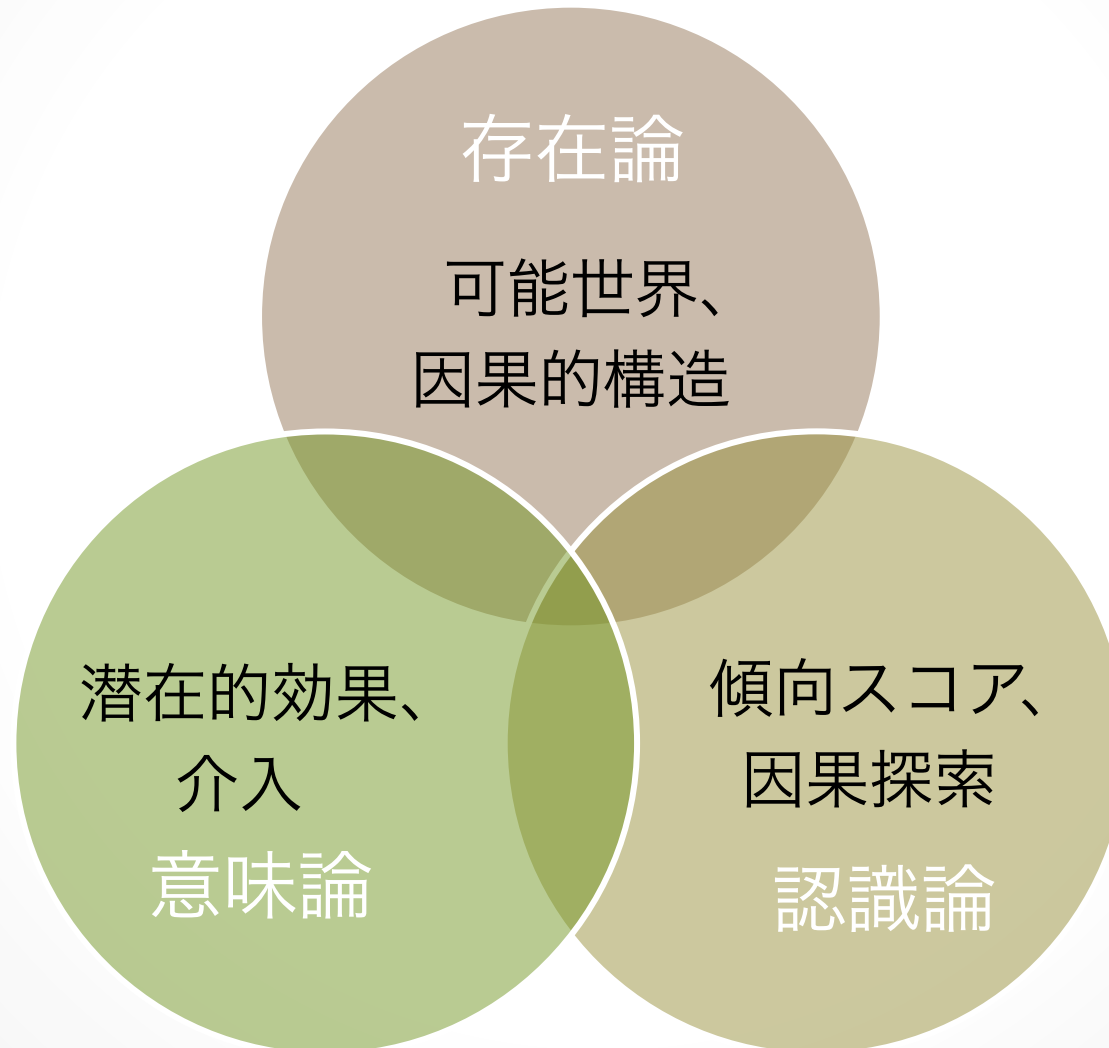
...

# 経験論・確率論における「因果」





# 因果推論の哲学



# 結論

- RubinやPearlらのアプローチは、因果についての新たなパラダイム（存在論・意味論・認識論）に根ざしている
- 単に方法論の違いとしてのみ見ると、その特性を見失うかも（例：コペルニクス前後の天体観測）

因果推論は、一つの哲学である！