



知識と知能

シラバスは各自、随時Web参照のこと。

●第一部（大澤幸生）

10・3: 知識表現の基礎: 命題論理、一階述語論理、量化 etc.

10・10: 推論とあいまい性: 二重否定、非単調推論(仮説推論、サーカムスクリプション等)

~~10・24: 可能世界と「都合」: 様相論理、時を扱う論理~~

~~10・31~~24: 創造的コミュニケーションへ: 帰納論理と知識獲得、議論とデータ市場

10・31: データ市場ゲーム: 「データジャケット」から論理的知識を期待する

※ 内容、スケジュールの変更は一回前の講義日までに通知します。

※この先(担当: 第二部: 西野成昭 ・ 第三部: 青山和浩)についてはシラバス参照のこと

1日目(10・3)

知識表現の基礎: 命題論理、一階述語論理、
量化 etc.



以下でこのマークのページは時間の都合で講義中説明しませんが、途中の過程があることを示すため資料に含めておきます。

知識表現の単位

- 項: 実体をあわらすもの
 - 定項: サル、カバ、ヒツジ...
 - 変数項: $X, Y, Z, \dots$
 - 関数: $\text{father}(X), \text{mother}(Y), \dots$
※関数は、カッコの中だけ項と呼ぶこともあるが、
“サル(X)”などを考えると意味的に項の一種と考える方がわかり易い
- 命題: 真理値を評価できる文
「サルはカバである」 F, 「サルは哺乳類である」 T
- 述語: 項の間の関係。Predicate(X, Y)で表す。主語と述語からなる命題のうち、述語だけ言明したことになる。
 $\text{brother}(\text{太郎}, \text{次郎})$ など → これは単純な関数で書かない。

論理式: 知識の表現形式 (I)

- 論理式: 真偽を評価する対象となる式。文と意味的に等価であるが、いくらでも複雑化し演算可能となる。
 - 原子論理式 (アトム): 単純な文。サル(a) など。述語が定数項を食ったもの。
 - 否定形: $\neg \text{サル}(\text{カバ})$: F. $\neg \neg \text{サル}(\text{カバ})$: T
※後者の逆は必ずしも成り立たない) → 後述
- 自由変数: 述語の真理値を評価不能にしてしまう変数
 $\text{human}(x) \rightarrow \text{mammal}(x)$: x って、何やねん?
 $\text{brother}(x, \text{Taro})$: 誰の話し、しとんねん?

※自由変数が残っていると、推論が意味をなさない。

論理式：知識の表現形式(II)

- 量化： $\forall$, $\exists$ により、変数を自由変数にならないように束縛(bind)する。述語から具体例(インスタンス)なしの命題を構成する。

$\forall$: 全称記号(すべての $\sim$ について、 $\sim$)

$\exists$: 存在記号(ある $\sim$ が存在して、 $\sim$)

$\forall x[\text{human}(x) \rightarrow \text{mammal}(x)]$ 人は誰もが哺乳類

$\exists x[\text{human}(x) \rightarrow \text{good_will}(x)]$ ある人は良い人。

$\forall x[\text{human}(x) \rightarrow \exists y[\text{love}(y,x)]]$ どんな人でも誰かに愛されている。

$\forall x[\text{human}(x) \rightarrow \exists y[\text{love}(x,y)]]$ どんな人も誰かを愛している。」

論理式：知識の表現形式(III)

注意①: 量化子は、順番を間違えると意味ががらりと変わる

$\forall x \exists y \text{ love}(x, y)$: 誰もが、愛する人を持っている。

$\exists x \forall y \text{ love}(x, y)$: 相手構わず、愛してしまう奴がいる。

注意②: 括弧([])や量化子の使い方を誤ると自由変数が残ってしまう

$\forall x [\text{love}(x, y)]$ y って誰やねん?

$\forall x[\text{human}(x) \rightarrow \exists y[\text{good_will}(y) \rightarrow \text{love}(x,y)]]$

人は誰もが、良い人を誰か愛している

$\forall x[[\text{human}(x) \rightarrow \exists y \text{ good_will}(y)] \rightarrow \text{love}(x,y)]$ 意味不明

論理式：知識の表現形式

- 知識のつながりの単位：「節」

A1をリテラル(アトムまたはその否定)とすると、

節の一般的な形式： $f = A1 \vee A2 \vee A3 \vee \dots \vee A_n$.

※「節形式」は節のことではなく、 $f_1 \wedge f_1 \wedge \dots \wedge f_n$

ホーン節：たかだか一つだけ正リテラル(否定でない)

$A1 \vee \neg A2 \vee \neg A3 \vee \dots \vee \neg A_n$. 確定節

A1. ファクト

$\neg A1 \vee \neg A2 \vee \neg A3 \vee \dots \vee \neg A_n$. ゴール節

$A1 \vee A2 \vee \neg A3 \vee \dots \vee \neg A_n$. 非ホーン節

何も中身のない節： 空節(□と書くこともあるが紛らわしいので省略)

因果関係から何かを証明するような論理的な導出のためには、
このホーン節が使いやすい。

しかし水面から少しだけ下方に、約20センチの深さを目指して突き込む。

前方のやや下方にそのまま上半身を、

先端を鋭く合わせた両腕を先頭にして約15センチの深さをグライドさせてゆく。

このグライドの時は、肘を高くして、掌が下方の、やや後ろを向くように。

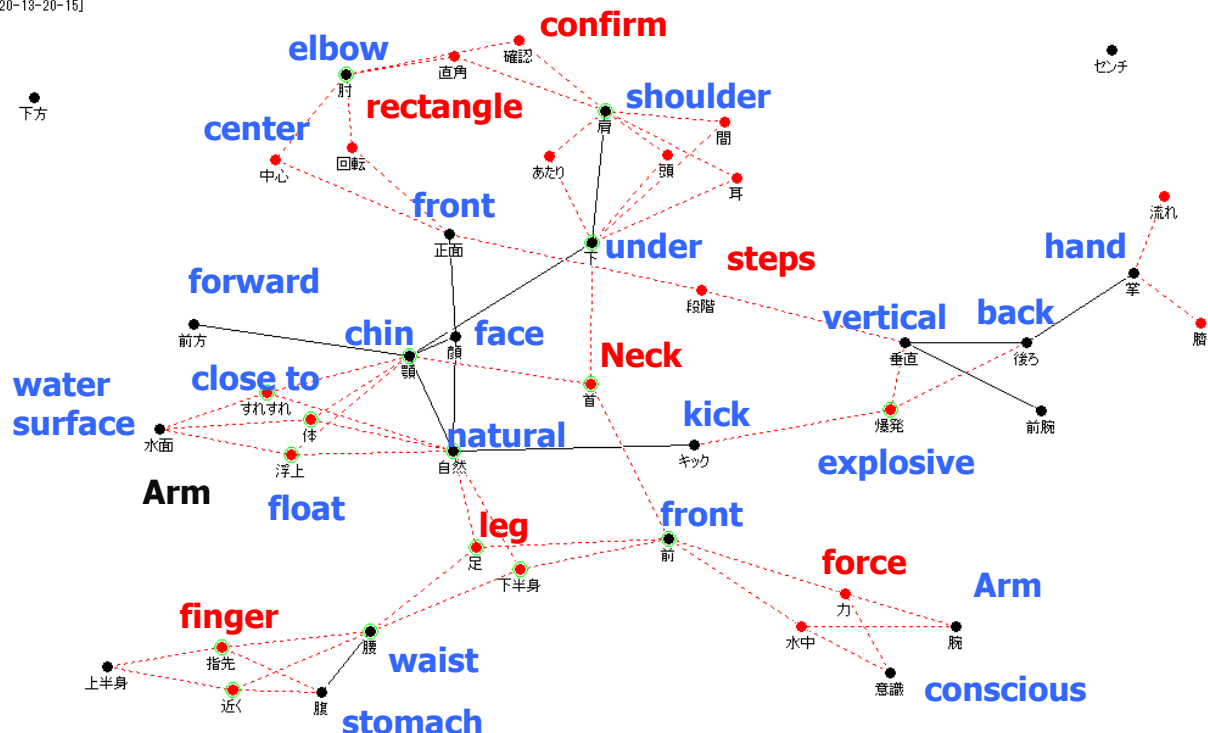
グライドでは急がず、スローモーションのような意識で。

実際のレースでは嫌でもピッチが上がるので心配なくスローに。

そして、グライドの水の流れを臍で感じるように、そして掌から前腕までも

[Dep.Ja[20-13-20-15]

身体知のメタ認知



ホーン節で、泳ぎ方を考えてみる

Swim :- Catch, Pull, Finish.

Loss :- Upperarm(bend), Elbow(bend).

Catch :- Upperarm(stretch), Elbow(bend).

Upperarm(stretch):- Shoulder(relaxed).

Shoulder(stressed) :- Neck(upper). ✖

Shoulder(stressed) :- Neck(lower). ✖

Shoulder(relaxed) :- Neck(neutral).

Pull :- Catch,

...

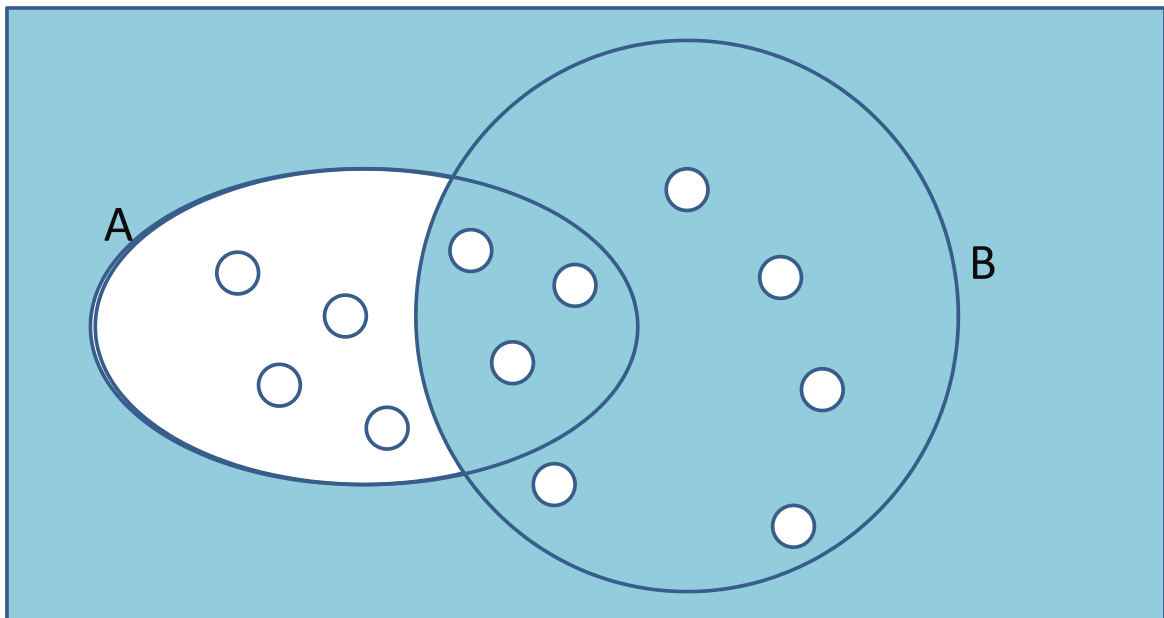
:- Shoulder(relaxed), Shoulder(stressed).

この作業だけでも繋がってくる
→ やってみよう(15分間)。

ホーン節の意味

$$\neg A \vee B \leftrightarrow (A \rightarrow B)$$

If... then形式の知識を表すことができる。 $B :- A$ とも書く。



ド・モルガンの法則

注:これは定理ではない(後述)

$$\neg (A1 \vee A2) \leftrightarrow \neg A1 \wedge \neg A2 \quad (1)$$

$$\neg (A1 \wedge A2) \leftrightarrow \neg A1 \vee \neg A2 \quad (2)$$

ここで、結合則

$$(A1 \vee A2) \vee A3 = A1 \vee (A2 \vee A3) \quad (3)$$

$$(A1 \wedge A2) \wedge A3 = A1 \wedge (A2 \wedge A3) \quad (4)$$

を仮定すると、(3), (4)の左右辺をそれぞれ

$$A1 \vee A2 \vee A3, \quad A1 \wedge A2 \wedge A3$$

で表すことができ、

$$\neg (A1 \vee A2, \dots \vee An) \leftrightarrow \neg A1 \wedge \neg A2, \dots \wedge \neg An, \quad (5)$$

$$\neg (A1 \wedge A2, \dots \wedge An) \leftrightarrow \neg A1 \vee \neg A2, \dots \vee \neg An. \quad (6)$$

結合則以外におく規則

注: 一部はかなり乱暴な仮定になっている(後述)

分配則

$$(A1 \vee A2) \wedge A3 \leftrightarrow (A1 \wedge A3) \vee (A2 \wedge A3)$$

$$(A1 \wedge A2) \vee A3 \leftrightarrow (A1 \vee A3) \wedge (A2 \vee A3)$$

※後者は、前者と $A, B \rightarrow A$ から導かれる

二重否定(の除去)

$$\neg \neg A \leftrightarrow A$$

問題: 二重否定について、成り立たないとする人の考えを考えよ。

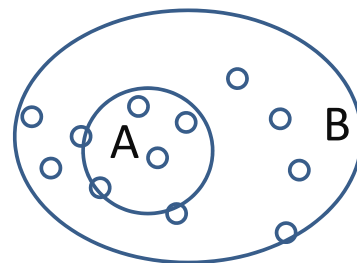
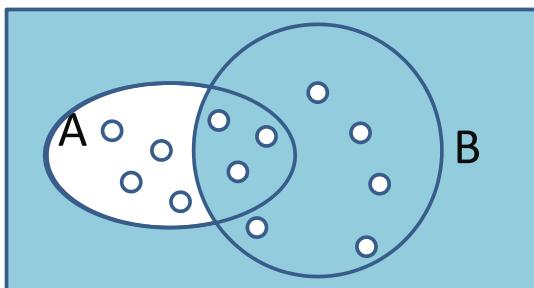
2日目(10・10)

推論とあいまい性： 二重否定、非単調推論
(仮説推論、サーカムスクリプション等)

質問への回答

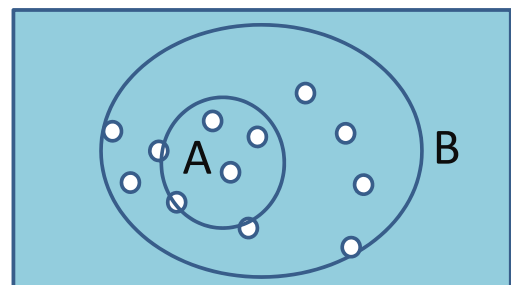
$$\neg A \vee B \leftrightarrow (A \rightarrow B)$$

If... then形式の知識を表すことができる。 $B \text{ :- } A$ とも書く。



Q: 左は直感的に分かりにくい。右ではないのか？

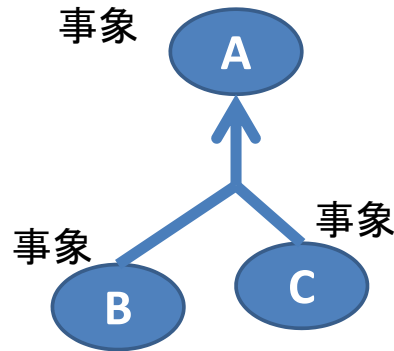
A: 左で、全てが色付きになるときが右。つまり、左の図はある与えられた命題等A, Bについて $A \rightarrow B$ の成り立つ世界を意味する。これが $\neg A \vee B$ の意味。右の図は、全ての世界において $A \rightarrow B$ が成り立つようなAとBの関係性を表している。



ホーン節と因果関係

因果関係

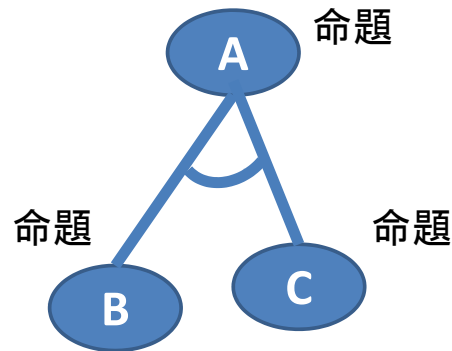
If B and C occurs (cause),
then A occurs (effect)



(確定)ホーン節

If "B and C" is true, then A is true

ここでのB, Cが"B occurs", "C occurs"の意味なら 左と同義になるが、それが因果関係であるとは限らない。



左のA, B, Cがそれぞれ「私は今夜、ビールを飲む」「私は20歳を超える」「今夜は暑い」なら、右のB, Cはどう書き換えて良いか議論せよ。

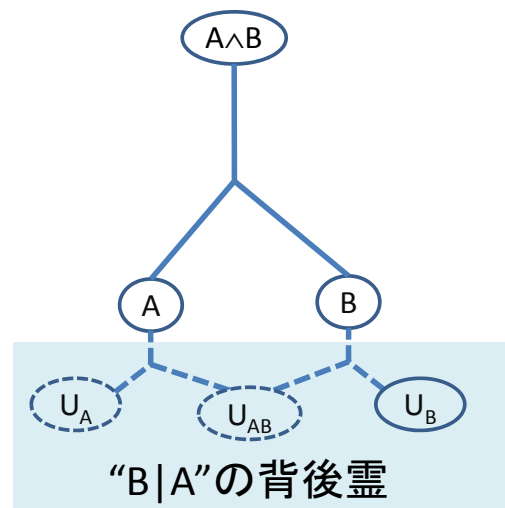
"I believe B", "C is correct"の意味なら Aはどうなるか議論せよ。

参考：因果関係とベイズ定理

Theorem of Bayes

$$P(A|B) = p(B|A) p(A)/p(B).$$

結果Bに関するデータを得て、知っている尤度 $P(B|A)$ の乗算によって、原因Aの確率を事前確率から事後確率へと更新される。**事前確率**と仮定する意味で「主観確率」と呼ばれる。



背景には、

$$P(A \wedge B) = p(B) p(A|B)$$

$$P(A \wedge B) = p(A) p(B|A)$$

i.e., Aとは独立に、Aが起きたらBを起こす見えざる条件が存在する(AとBを反転してもしかり)という暗黙の前提がある。

$$\nexists P(A \wedge B) = p(A) p(B),$$

AとBは独立でないから。しかし以下は正しい。

$$P(A \wedge B) = p(U_A \wedge U_{AB} \wedge U_B) \\ = p(U_A) p(U_{AB}) p(U_B).$$

$$P(A) = p(U_A) p(U_{AB}).$$

$$P(B) = p(U_B) p(U_{AB}). \quad \text{より}$$

$$p(B|A) = P(A \wedge B) / p(A) = p(U_B).$$

参考：因果関係とベイズ定理(2)

$$P(A \wedge B) = p(B) \times p(A|B)$$

$$P(A \wedge B) = p(A) \times p(B|A)$$

U_B (Bと異なるA|Bの背後霊)を用いれば、Aと U_B は独立であるので

- ・今後矛盾や冗長性による削除(後述)を生じる必要がない。
- ・BとAの共通点と独自性の検討を開始することができる。

そこで、主観確率主義の逆手にとって、A, B, $A \wedge B$ のデータを得たとする。背後霊 U_B とBの違いがA, Bの従属性であるから、

$$\begin{aligned} \text{A, Bの従属性} &= p(U_B) (=p(B|A)) / p(B) \\ &= P(A \wedge B) / p(A) p(B) \\ &\quad (\text{前pageでは} = 1/p(C).) \end{aligned}$$

この対数について、 $A \wedge B$ について平均をとると、A, Bをそれぞれ値とする2変数(あるいは $X=A$, $Y=B$ をそれぞれ値とする2述語 $P(X)$, $Q(Y)$)の相互情報量となる。

$$I(X, Y) = \sum_{A \in X} \sum_{B \in Y} p(A \wedge B) \{ \log p(A \wedge B) - \log p(A) - \log p(B) \}$$

演繹：単調な推論

- ・簡単のため命題論理(変数なし)の場合から：

Modus Ponens(三段論法)が基本となる

$$\frac{A \quad A \rightarrow B}{B}$$

(「Aが真かつ、AならBが真」ならBが真)と書く。

例：

$$\frac{\frac{A \quad A \rightarrow B}{B} \quad B \rightarrow C}{C}$$

導出 (Resolution)

二つの節より新しい節を導き出す操作で、三段論法を一般化したもの。
導出原理 (Robinson 1965) に基づく。

命題論理での導出規則: 一方の節に含まれるリテラルと、他方の節に含まれる否定リテラルをのぞき、その他のリテラルの論理和をとることで、新しい節を得る
(<http://ja.wikipedia.org/wiki/導出原理>)

$$\frac{\neg I \vee P \quad I \vee Q}{P \vee Q}$$

例1) $\frac{\neg A \vee B \quad A}{B}$

例2) $\frac{\neg A \vee \neg B \quad A \quad B}{\square}$

※2段階の導出を略記

導出 (Resolution) II

述語論理での導出規則: 導出の対象となる節は、冠頭標準形 (量化子を冒頭に集めた論理式:

例 $\exists x \forall y \exists z (\varphi(x) \vee \psi(y) \wedge \rho(z))$

として存在記号を削除したスコーム連言標準形の論理式。この例では、 z を $\zeta(y)$ とし x を定項 a に置き換えた

$$\varphi(a) \vee \psi(y) \wedge \rho(\zeta(y))$$

命題論理において消去されたリテラルと否定リテラルそれぞれの原子論理式が単一化できる場合に導出を行う。

$$\text{Iff } \exists \mu \text{ s.t. } \mu(l_1) = \mu(l_2) \quad \frac{\neg \mu l_1 \vee \mu P \quad \mu l_2 \vee \mu Q}{\mu P \vee \mu Q}$$

μ は最汎単一化子 (most general unifier) と呼び、
 l_1, l_2 を同一化する最も緩い代入。

導出 (Resolution) III

述語論理での導出規則

$$\text{Iff } \exists \mu \mu(l_1) = \mu(l_2) \quad \frac{\neg \mu l_1 \vee \mu P \quad \mu l_2 \vee \mu Q}{\mu P \vee \mu Q}$$

例)

- 今日の夕方までの平均気温(x)が昨日の(y)より高い ($l_1: \text{higher}(x, y)$) と、
ビールが飲みたくなる $P: \text{want_beer}$ $\neg \text{higher}(x, y) \vee \text{want_beer}$
- 昨日の夕方までの平均気温yは20度だった(今夕までの平均気温xは不明)
 $l_2: \text{higher}(x, 20)$ $\text{higher}(x, 20) \vee \neg \text{alarm}(x)$
- 温度計がときどき20度で止まるので故障かも知れないが。 $Q: \text{error}(x) \wedge \text{error}(y)$.

y = 20 ここが正しいかどうかは考える必要はない
(just try unification)

$$\frac{\neg \text{higher}(x, y) \vee \text{want_beer} \quad \text{higher}(x, 20) \vee \neg \text{alarm}(x)}{\text{want_beer} \vee \neg \text{alarm}(x)}$$

というわけで、アラームが鳴ったら飲みに行くべ～(思考停止！)

もう一度、ホーン節の復習

知識のつながりの単位:「節」

A1をリテラル(アトムまたはその否定)とすると、
節の一般的な形式: $A1 \vee A2 \vee A3 \vee \dots \vee A_n$.

ホーン節: たかだか一つだけ正リテラル(否定でない)

確定節: $A1 \vee \neg A2 \vee \neg A3 \vee \dots \vee \neg A_n \equiv A1 :- A2, A3, \dots, A_n$.

ファクト: $A1$.

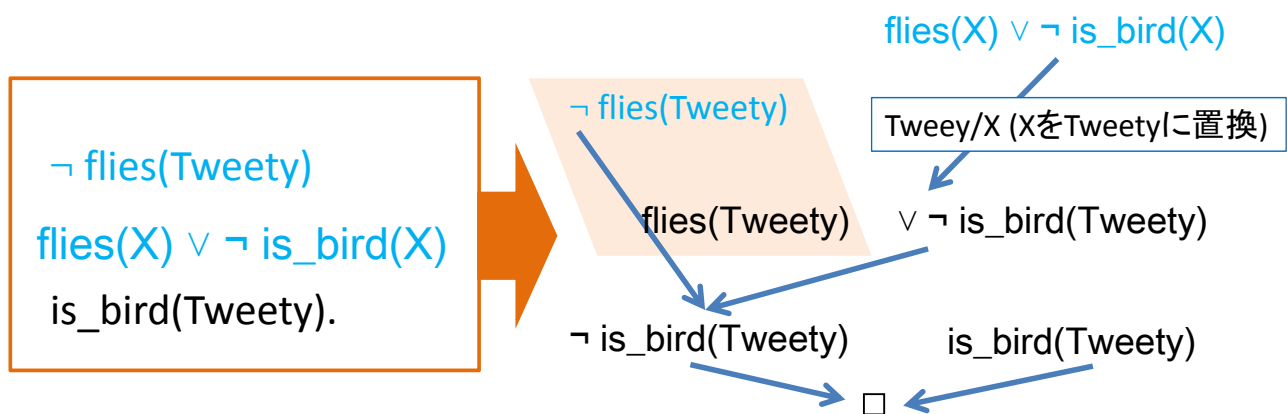
ゴール節: $:- A1, A2, A3, \dots, A_n$.

まず、証明したいこと「 $A1, A2, A3, \dots, A_n$ 」を否定し、これが間違っていることを示そう(背理法)。

SLD導出

- 最初に結論を否定、条件部を追加してゆく(背理法)。

知識 K : $\text{flies}(X) \text{ :- } \text{is_bird}(X).$ $\Leftrightarrow$ $\text{flies}(X) \vee \neg \text{is_bird}(X)$
 $\text{is_bird}(\text{Tweety}).$
下線がゴール G 即ち導出したい結論:
 $\text{:- } \underline{\text{flies}(\text{Tweety})} \quad \Leftrightarrow \quad \neg \underline{\text{flies}(\text{Tweety})}$



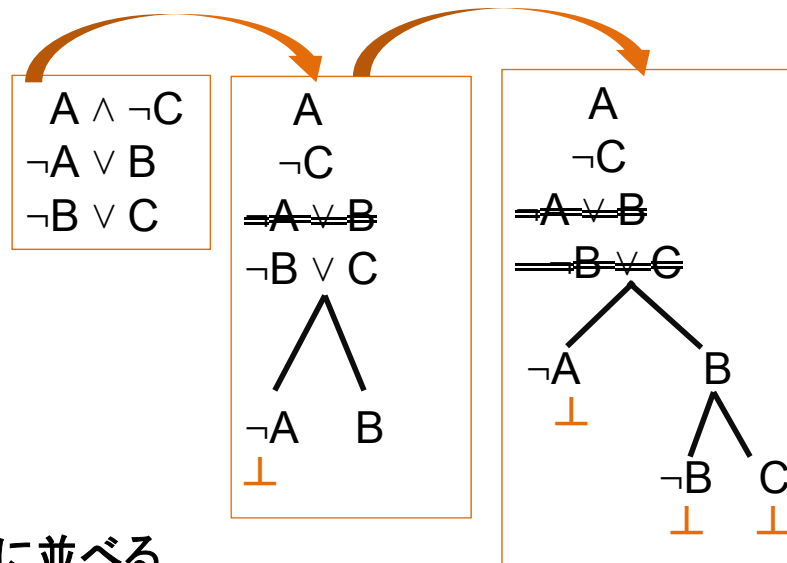
タブロー法

- 背理法であるが、ORで枝分かれ、ANDで深化する図を書いてゆくだけ。

例：
 $(A \rightarrow B) \wedge (B \rightarrow C) \rightarrow (A \rightarrow C)$
を証明してみよう

「 $(A \rightarrow C)$ の否定 $A \wedge \neg C$ が、 $\neg A \vee B$, $\neg B \vee C$ と同時に成り立つ」
を否定する

タブロー法(II)



$X \wedge Y$: 上下に並べる

$X \vee Y$: は一番下で左右に枝分かれ

トップ(ルート)から葉までのパスにXと
 $\neg X$ があれば、パスをキャンセル

⊥ : 矛盾(空節に当たる)

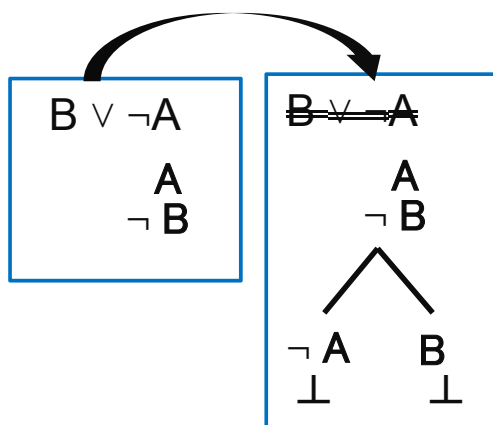
≡≡≡ : 論理式CCCを削除

導出の前提について再検討

($\neg B \rightarrow \neg A$) とA からBは、本当に導出できるか？

＝「対偶が真なら、もとの論理式も真」は当たり前か？

$\neg B \rightarrow \neg A \equiv B \vee \neg A$
 とおくと、



($\neg B \rightarrow \neg A$)
 $\rightarrow (\neg \neg B \vee \neg A)$ ①
 $\rightarrow (B \vee \neg A)$ ②

鮮やか！しかし...
 前提としていま、
 上の書き換えを使ったのだが、
 これは本当に良いのか？

あいまいさの論理(III)

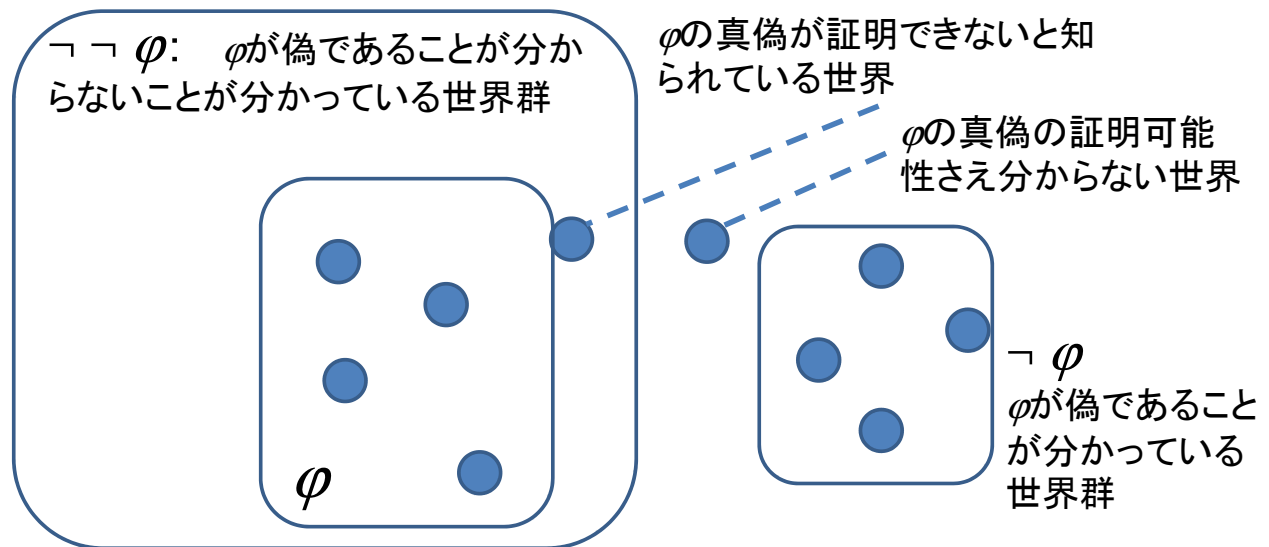
直感主義論理:「二重否定の除去」ができない論理体系

$$\varphi \rightarrow \neg \neg \varphi \quad \bigcirc$$

$$\neg \neg \varphi \rightarrow \varphi \quad \times$$

排中律

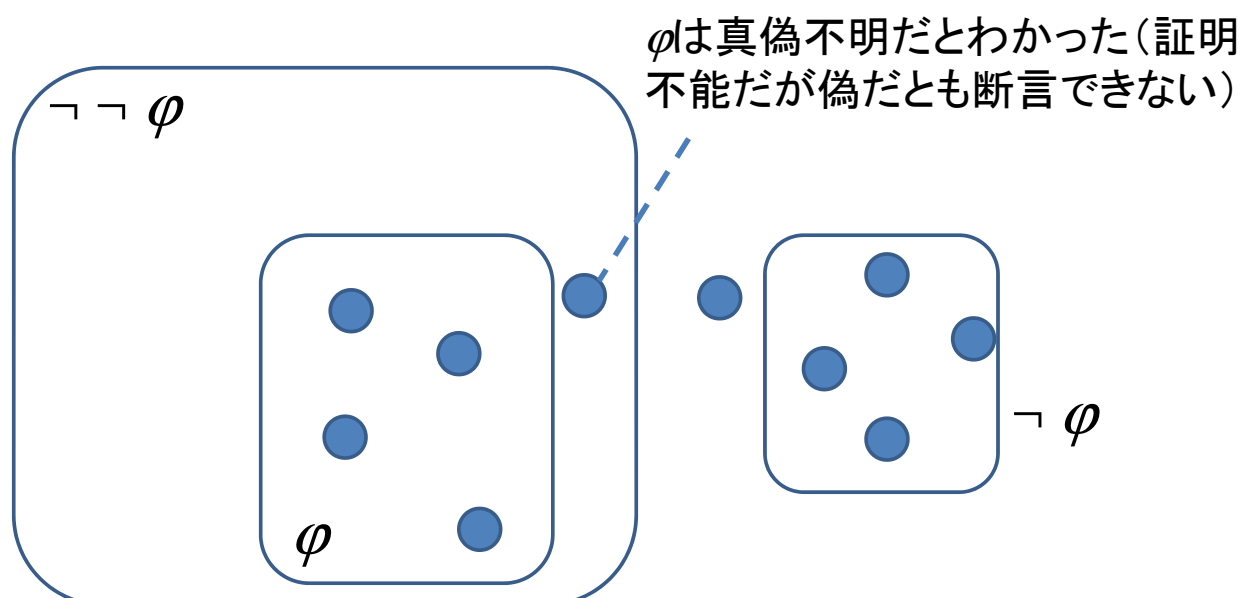
$\forall \omega (\varphi \vee \neg \varphi)$ と等価



あいまいさの論理(III)b

直感主義論理:「二重否定の除去」ができないと困る理由

$\neg \neg \varphi \rightarrow \varphi$ つまり背理法が使えない!

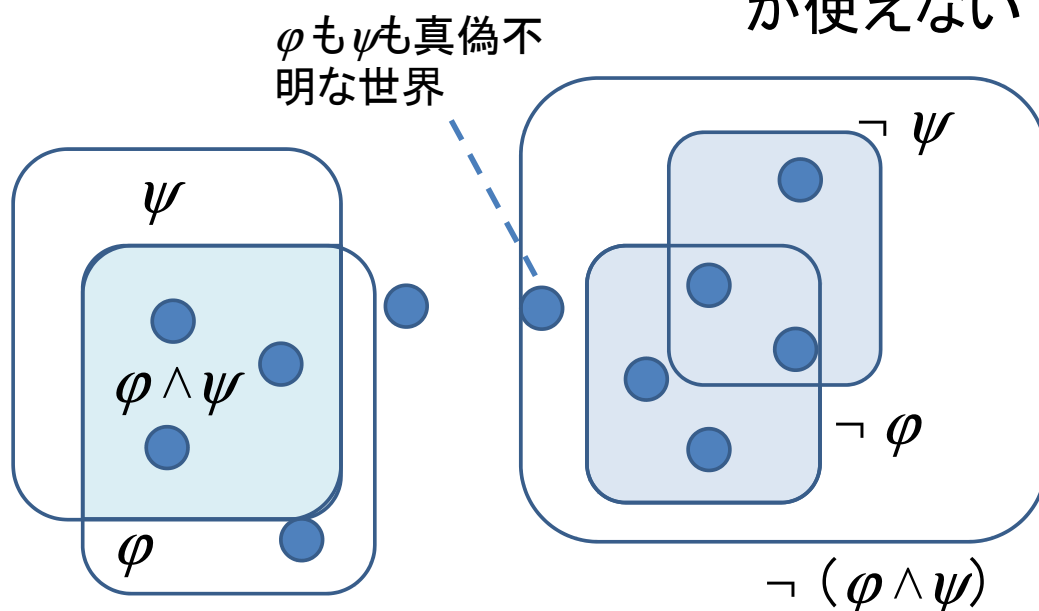


あいまいさの論理(III)b

排中律が不成立 (i.e. 二重否定除去不可)だと困る理由

ド・モルガンの法則 $\neg(\varphi \wedge \psi) \rightarrow \neg\varphi \vee \neg\psi$

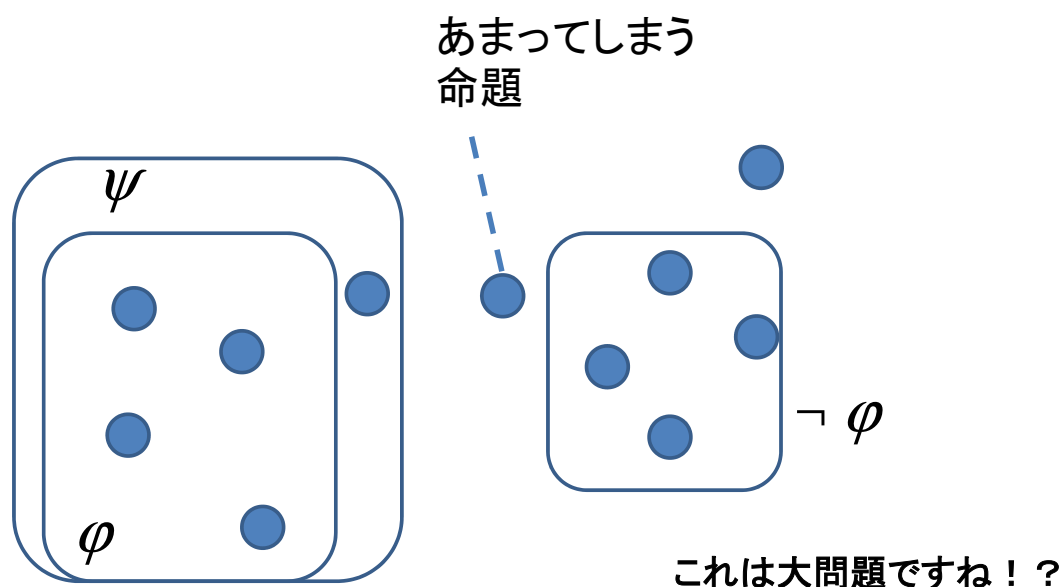
が使えない！



あいまいさの論理(III)c

排中律が不成立 (i.e. 二重否定除去不可)だと困る理由

そもそも、 $\varphi \rightarrow \psi$ が $\neg\varphi \vee \psi$ に書き換えられない！



導出の前提について再検討(II)

<<導出原理の部分再掲>>

述語論理での導出規則: 導出の対象となる節は、冠頭標準形 (量化子を冒頭に集めた論理式: 例 $\exists x \forall y \exists z (\varphi(x) \vee \psi(y) \wedge \rho(z))$) として存在記号を削除したスコーム連言標準形の論理式。 $\Rightarrow$ そうでなかったら?

知識 K : $\exists \{Y \text{ flies}(X, Y) :- \text{is_bird}(X)\}$.

$\text{is_bird}(\text{Tweety})$. ※ Y はfliesの飛行先地名

下線がゴール G 即ち導出したい結論:

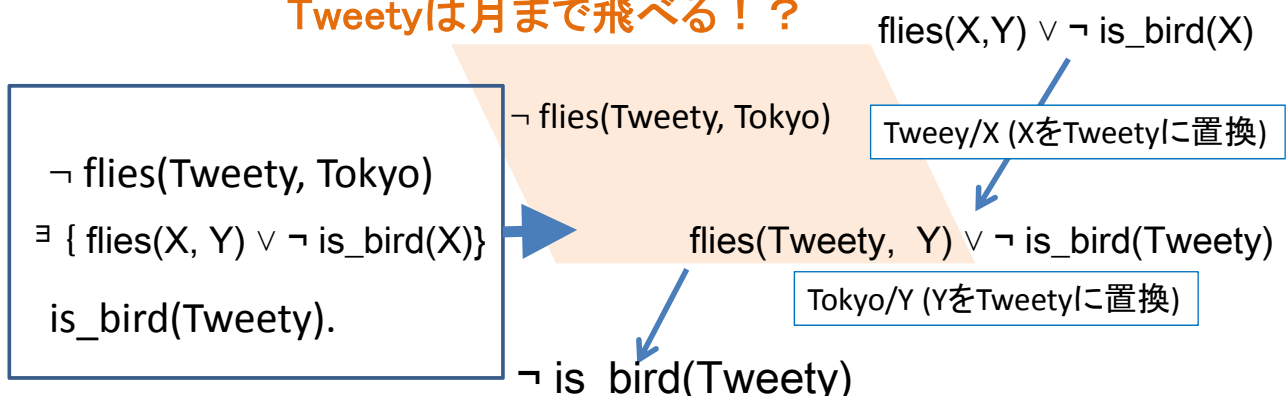
$:- \underline{\text{flies}(\text{Tweety}, \text{Tokyo})}$

導出の前提について再検討(II)

<<導出原理の部分再掲>>

述語論理での導出規則: 導出の対象となる節は、冠頭標準形 (量化子を冒頭に集めた論理式: 例 $\exists x \forall y \exists z (\varphi(x) \vee \psi(y) \wedge \rho(z))$) として存在記号を削除したスコーム連言標準形の論理式。 $\Rightarrow$ そうでなかったら?

これが許されるなら、
 Tweety は月まで飛べる! ?



導出の前提について再検討(II)⇒反省

存在記号を蔑ろにして、勝手に外の鳥と仲良くなっちゃいけない。

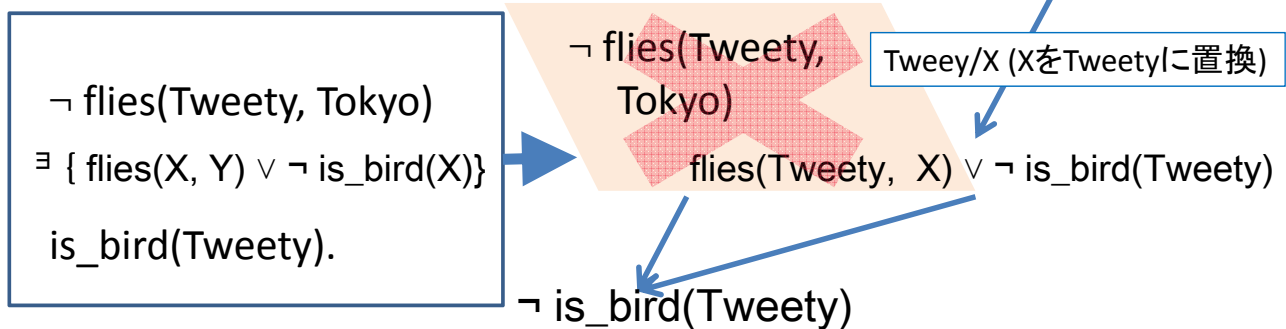
⇒ こんなに苦労するなら、結論に存在記号のない知識を使おう

知識 K : $\exists Y \{ \text{flies}(X) :- \text{is_bird}(X, Y) \}$, i.e.,
 $\text{flies}(X) :- \text{is_bird}(X, \underline{f(X)})$ ならOK。

x を鳥と認め

た学者など

$\text{flies}(X, Y) \vee \neg \text{is_bird}(X)$



健全な導出のために有用な条件

二重否定の除去を認めることにする。すなわち、

$\neg A \vee A = \top$ (恒真) あるいは

$w(\neg A) \cup w(A) = \text{全ての世界}$

とし、もしこれが成り立たないかもしれない場合は世界を限定する。すなわち、否定できない場合は肯定する(閉世界仮説)

Range restrictedなホーン節だけを扱う

述語論理式において、結論に現れる変数は、必ず前提に含まれるような知識のみ扱う。

3日目(10・24)

創造的コミュニケーションへ： 帰納論理と知識
獲得、議論とデータ市場

サーカムスクリプション

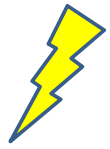
- 導くことのできる論理式だけを既知とする宣言(完備化)を加えると、どうなるだろうか？
式で書くと、

$$\text{Circ}(K; \text{Pred}) = K \wedge \forall \text{Pred}' \mid \text{arity}(\text{Pred}) = \text{arity}(\text{Pred}') \\ [\{ \underline{K_{\text{Pred}/\text{Pred}'}} \wedge (\text{Pred}' \rightarrow \text{Pred}) \} \rightarrow (\text{Pred} \rightarrow \text{Pred}')]]$$

現在の知識が述語 Pred を Pred' に置き換えて良いのだと主張し、
 Pred' から Pred を導くというのなら、
 Pred' は Pred の成り立つもとで必然的に成り立つものに限る。例えば、

「鳥は普通($\neg \text{Pred}$)飛ぶが、ペンギンは普通じゃない(Pred)」というなら、
普通じゃないのは鳥のくせに飛ばないやつか、ペンギンだけだ。
⇒「あ、フクロウも飛ぶけど普通じゃないね」で崩れるもろい知識！

サーカムスクリプションの例を式で



$$\text{Circ}(K; \text{Pred}) = K \wedge \forall \text{Pred}' \mid \text{arity}(\text{Pred}) = \text{arity}(\text{Pred}') \\ [\{K_{\text{Pred}/\text{Pred}'} \wedge (\text{Pred}' \rightarrow \text{Pred})\} \rightarrow (\text{Pred} \rightarrow \text{Pred}')]]$$

$$K \quad \forall \{\text{Bird}(x) \wedge \neg \text{Exception}(X) \rightarrow \text{Fly}(X)\} \wedge \\ \forall \{\text{Penguin}(X) \rightarrow \text{Exception}(X)\}$$

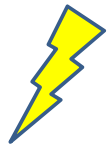
ExceptionをPredとする。

FlyをPred'とする。

$$K_{\text{Pred}/\text{Pred}'} \quad \forall \{\text{Bird}(x) \wedge \underline{\neg \text{Fly}(X) \rightarrow \text{Fly}(X)}\} \wedge \\ \forall \{\text{Penguin}(X) \rightarrow \text{Fly}(X)\}$$

恒偽なので、 $K_{\text{Pred}/\text{Pred}'} \wedge (\text{Pred}' \rightarrow \text{Pred}) \rightarrow (\text{Pred} \rightarrow \text{Pred}')$
は恒真(トートロジー)

サーカムスクリプションの例を式で(II)



$$\text{Circ}(K; \text{Pred}) = K \wedge \forall \text{Pred}' \mid \text{arity}(\text{Pred}) = \text{arity}(\text{Pred}') \\ [\{K_{\text{Pred}/\text{Pred}'} \wedge (\text{Pred}' \rightarrow \text{Pred})\} \rightarrow (\text{Pred} \rightarrow \text{Pred}')]]$$

※以下、 $\forall$ を省略: 変数の中身が式の途中で変えると意味ないから

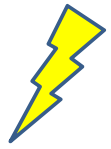
$$K \quad \{\text{Bird}(x) \wedge \neg \text{Exception}(X) \rightarrow \text{Fly}(X)\} \wedge \\ \{\text{Penguin}(X) \rightarrow \text{Exception}(X)\}$$

ExceptionをPredとしたまま、
BirdをPred'とする:

$\forall \{\text{Bird}(x) \wedge \neg \text{Bird}(X) \rightarrow \text{Fly}(X)\}$ は恒真ゆえ削除

$$\neg \quad [(K_{\text{Pred}/\text{Pred}'} =) \{ \neg \text{Penguin}(X) \vee \text{Bird}(X) \} \\ \wedge \{ \neg \text{Bird}(X) \vee \text{Exception}(X) \}] \\ \vee \{ \text{Bird}(X) \vee \neg \text{Exception}(X) \}$$

サーカムスクリプションの例を式で(III)



$$\text{Circ}(K; \text{Pred}) = K \wedge \forall \text{Pred}' \mid \text{arity}(\text{Pred}) = \text{arity}(\text{Pred}') \\ [\{K_{\text{Pred}/\text{Pred}'} \wedge (\text{Pred}' \rightarrow \text{Pred})\} \rightarrow (\text{Pred} \rightarrow \text{Pred}')]]$$

※以下、 $\forall$ を省略: 変数の中身が式の途中で変えると意味ないから

$$K \quad \{\text{Bird}(x) \wedge \neg \text{Exception}(X) \rightarrow \text{Fly}(X)\} \wedge \\ \{\text{Penguin}(X) \rightarrow \text{Exception}(X)\}$$

ExceptionをPredとしたまま、 $\forall \{\text{Penguin}(X) \rightarrow \text{Penguin}(X)\}$ は恒真ゆえ削除
PenguinをPred'とする:

$$\neg \quad [(K_{\text{Pred}/\text{Pred}'} =) \{ \neg \text{Bird}(x) \vee \text{Penguin}(X) \vee \text{Fly}(X) \} \\ \wedge \{ \neg \text{Penguin}(X) \vee \text{Exception}(X) \} \\ \vee \{ \text{Penguin}(X) \vee \neg \text{Exception}(X) \}]$$

論理演算結果をまとめると、

$$\text{Circ}(K; \text{Pred}) = K \wedge \forall \text{Pred}' \mid \text{arity}(\text{Pred}) = \text{arity}(\text{Pred}') \\ [\{K_{\text{Pred}/\text{Pred}'} \wedge (\text{Pred}' \rightarrow \text{Pred})\} \rightarrow (\text{Pred} \rightarrow \text{Pred}')]]$$

$$K \quad \{\text{Bird}(x) \wedge \neg \text{Exception}(X) \rightarrow \text{Fly}(X)\} \wedge \\ \{\text{Penguin}(X) \rightarrow \text{Exception}(X)\}$$

$$\text{Circ}(K; \text{Exception}) = K \wedge \\ \neg \text{Penguin}(X) \wedge \{\text{Bird}(X) \wedge \neg \text{Fly}(X)\} \vee \text{Penguin}(X) \\ = K \wedge \{\text{Bird}(X) \wedge \neg \text{Fly}(X)\} \vee \text{Penguin}(X)$$

「普通じゃないのは鳥のくせに飛ばないやつか、ペンギンだけだ」。

演習問題 ⇒ もっと単純な例:

$$K \quad \forall \{\text{Penguin}(X) \rightarrow \text{notFly}(X)\} \quad \text{でやってみよう。}$$

知識を追加しようとしても、そのまま増えてくれない。非単調推論という

非単調な推論：デフォルト推論

- 最もわかりやすい非単調推論：(D, K)で推論してゆく。Dはデフォルト規則の集合、Kは確定的な知識。

デフォルト規則：
$$\frac{A : B}{C}$$

Aが成り立ち、Bが否定できないならCを得る。

(例) $\frac{\text{Animal}(x) : \neg \text{Fly}(x)}{\neg \text{Fly}(x)}$

$\neg \text{Fly}(x)$

$\frac{\text{Bird}(x) : \text{Fly}(x)}{\text{Fly}(x)}$

$\text{Fly}(x)$

} 同時に成り立って良い

非単調な推論：デフォルト推論

- 最もわかりやすい非単調推論：(D, K)で推論してゆく。Dはデフォルト規則の集合、Kは確定的な知識。

D $\frac{\text{Animal}(x) : \neg \text{Fly}(x)}{\neg \text{Fly}(x)}$

$\neg \text{Fly}(x)$

$\frac{\text{Bird}(x) : \text{Fly}(x)}{\text{Fly}(x)}$

$\text{Fly}(x)$

$\neg \text{Fly}(\text{Tweety})$

K $\forall \text{Bird}(x) \rightarrow \text{Animal}(x)$

$\forall \text{Penguin}(x) \rightarrow \text{Bird}(x)$

$\forall \text{Penguin}(x) \rightarrow \neg \text{Fly}(x)$

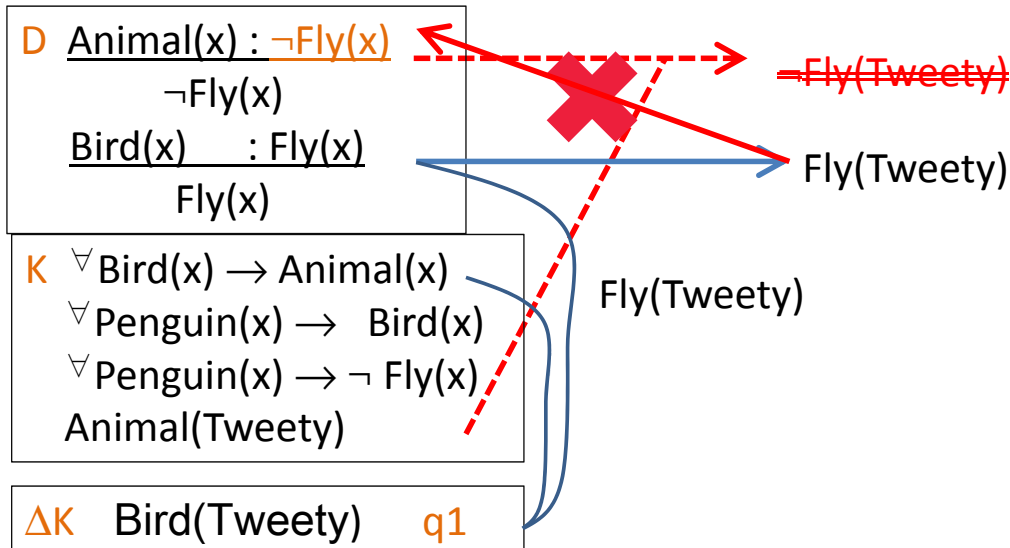
$\text{Animal}(\text{Tweety})$

非単調な推論：デフォルト推論

For $i = 0, 1, \dots$, $\text{Th}(K_x) \equiv \{k \mid K_x \vdash k\}$ として

$K_{i+1} = \{\text{Th}(K_i) \cup r \mid p:q/r \in K_i, \text{ for } p \in K_i \text{ and } q \notin K_i\}$

K_{i+1} が収束するとき、デフォルト拡張 (default extension) という。

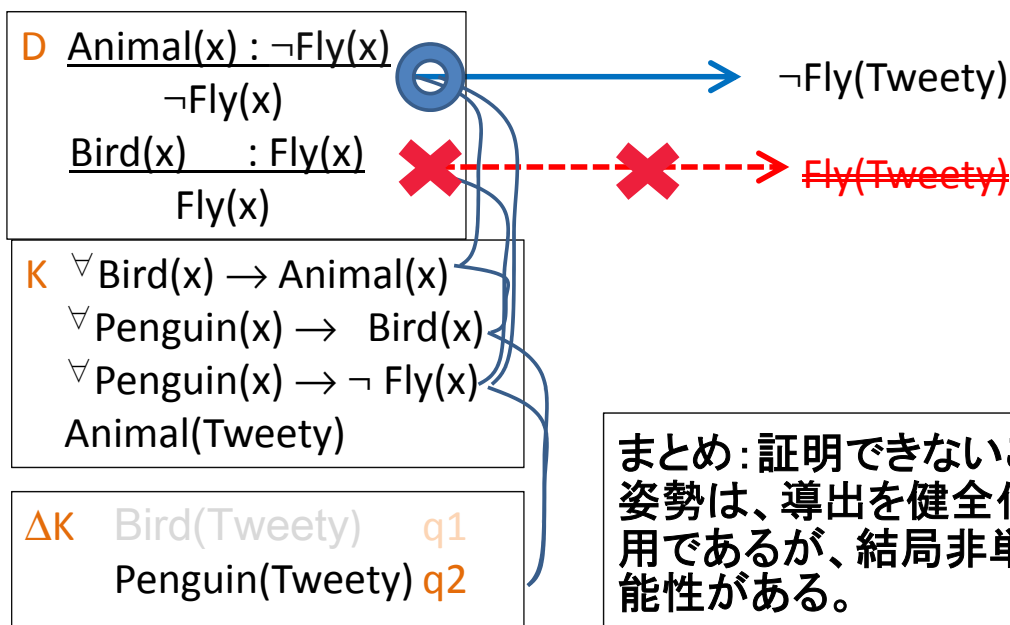


非単調な推論：デフォルト推論

For $i = 0, 1, \dots$, $\text{Th}(K_x) \equiv \{k \mid K_x \vdash k\}$ として

$K_{i+1} = \{\text{Th}(K_i) \cup r \mid p:q/r \in K_i, \text{ for } p \in K_i \text{ and } q \notin K_i\}$

K_{i+1} が収束するとき、デフォルト拡張 (default extension) というが...



まとめ：証明できないことは認めない
 姿勢は、導出を健全化するために有
 用であるが、結局非単調性を招く可
 能性がある。

悲観論を前提としながらも非単調推論 アブダクション(仮説推論): 候補仮説既知

$$K \not\models G$$

$$K \cup h \not\models \square \quad (\text{空節})$$

$$K \cup h \vdash G$$

$$h \subseteq H$$

K : 確定した知識

G : ゴール(証明/説明したいこと)

H : 候補仮説集合

h : 解仮説(集合)

D. Poole等による。 H が所与の有限集合に限定されながら、知識として確定していないことは、その中で矛盾が混在している可能性を意味する。すなわち、デフォルト論理の例でいえばFly(Tweety)と $\neg$ Fly(Tweety)が同時に入っているようなもので、いきなり非単調。

悲観論を前提としながらも非単調推論 遡源(仮説推論): 候補仮説既知

G egg (platypus)

K $\forall$ Mammal(x) $\rightarrow \neg$ egg(x)
 $\forall$ Mammal(x) $\rightarrow$ milk(x)
 $\forall$ Bird(x) $\rightarrow$ egg(x)
 $\forall$ Bird(x) $\rightarrow \neg$ milk(x)
 Bird(X), Mammal(X) $\rightarrow \square$

H Bird(platypus)
 Mammal(platypus)

悲観論を前提としながらも非単調推論
アブダクション(仮説推論): 候補仮説既知

G	$\text{egg}(\text{platypus})$
K	$\forall \text{Mammal}(x) \rightarrow \neg \text{egg}(x)$ $\forall \text{Mammal}(x) \rightarrow \text{milk}(x)$ $\forall \text{Bird}(x) \rightarrow \text{egg}(x)$ $\forall \text{Bird}(x) \rightarrow \neg \text{milk}(x)$ $\text{Bird}(X), \text{Mammal}(X) \rightarrow \square$
H	$\text{Bird}(\text{platypus})$ $\text{Mammal}(\text{platypus})$

G を矛盾なく導出する仮説:

h $\text{Bird}(\text{platypus})$

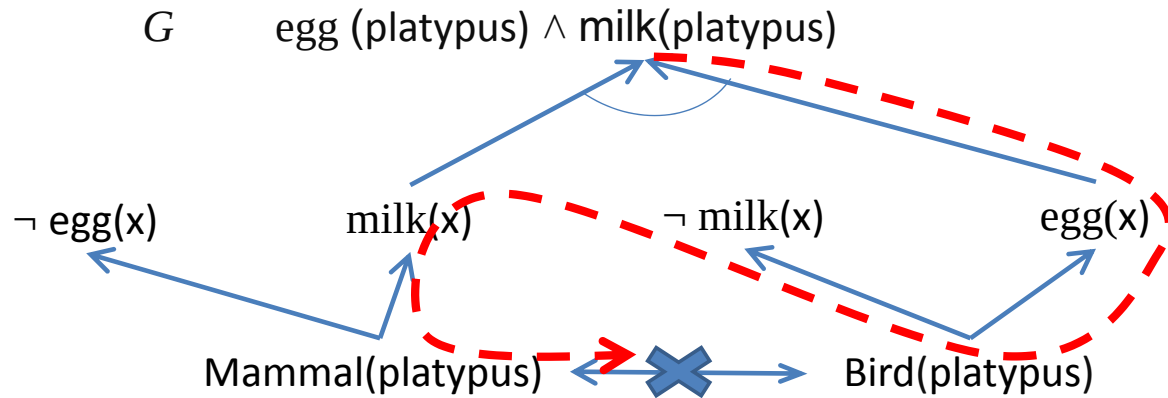
悲観論を前提としながらも非単調推論
遡源(仮説推論): 候補仮説既知

G	$\text{egg}(\text{platypus}) \wedge \text{milk}(\text{platypus})$
K	$\forall \text{Mammal}(x) \rightarrow \neg \text{egg}(x)$ $\forall \text{Mammal}(x) \rightarrow \text{milk}(x)$ $\forall \text{Bird}(x) \rightarrow \text{egg}(x)$ $\forall \text{Bird}(x) \rightarrow \neg \text{milk}(x)$ $\text{Bird}(X), \text{Mammal}(X) \rightarrow \square$
H	$\text{Bird}(\text{platypus})$ $\text{Mammal}(\text{platypus})$

~~G を矛盾なく導出する仮説:~~

~~h $\text{Bird}(\text{platypus})$~~

悲観論を前提としながらも非単調推論
 遡源(仮説推論): 候補仮説既知



1st trial of inference

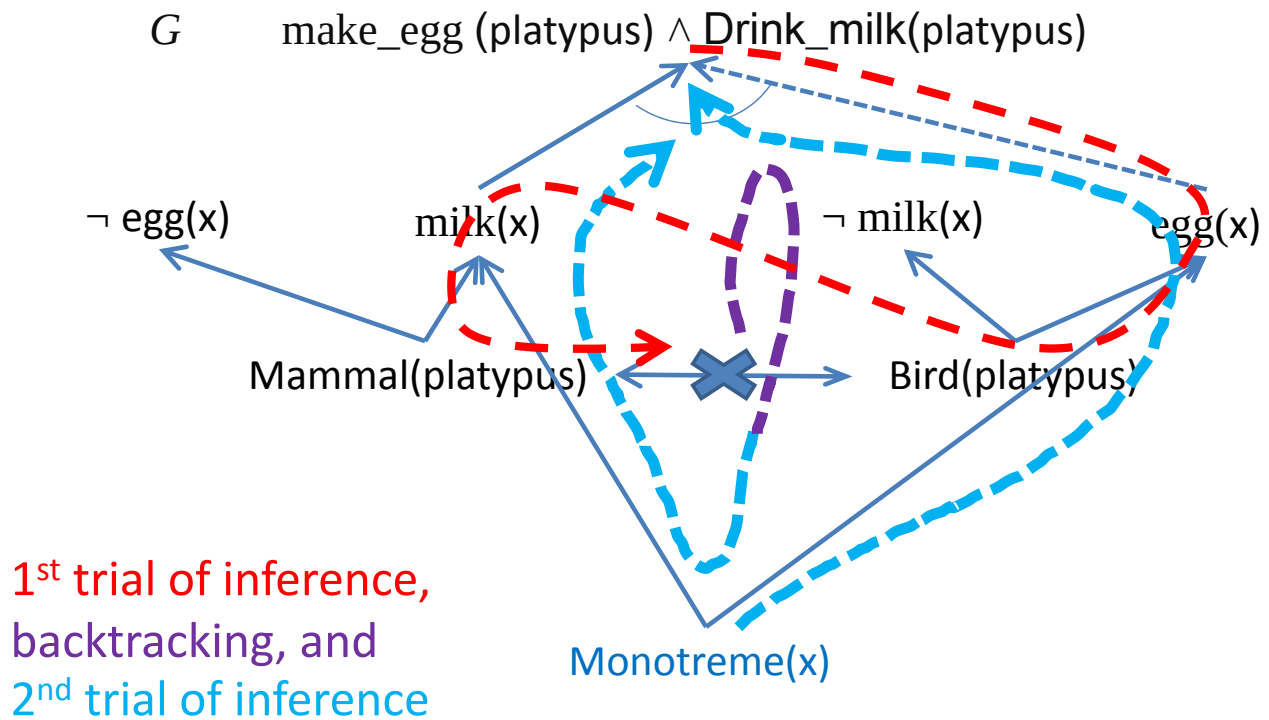
非単調性を解消する方法
 Gではなく、候補仮説Hを増やせたら？

G	$\text{egg}(\text{platypus}) \wedge \text{milk}(\text{platypus})$
K	$\forall \text{Mammal}(x) \rightarrow \neg \text{egg}(x)$ $\forall \text{Mammal}(x) \rightarrow \text{milk}(x)$ $\forall \text{Bird}(x) \rightarrow \text{egg}(x)$ $\nabla \text{Monotreme}(x) \rightarrow \text{egg}(x)$ $\nabla \text{Monotreme}(x) \rightarrow \text{milk}(x)$ $\text{Bird}(X), \text{Mammal}(X) \rightarrow \square$ $\text{Bird}(X), \text{Monotreme}(X) \rightarrow \square$ $\text{Monotreme}(X), \text{Mammal}(X) \rightarrow \square$

H	$\text{Bird}(\text{platypus})$ $\text{Mammal}(\text{platypus})$ $\text{Monotreme}(\text{platypus})$
----------	---

Gを矛盾なく導出する仮説:
 h $\text{Monotreme}(\text{platypus})$

悲観論を前提としながらも非単調推論
遡源(仮説推論): 候補仮説既知



非単調性の数理的説明

Ohsawa,Y., and Ishizuka, M.: Networked Bubble Propagation: A Polynomial-time Hypothetical Reasoning Method for Computing Near-optimal Solutions, *Artificial Intelligence* Vol.91, pp.131 -- 154 (1997)

$$X_1 \wedge X_2 \wedge X_3 \wedge \dots \wedge X_n \rightarrow Y$$

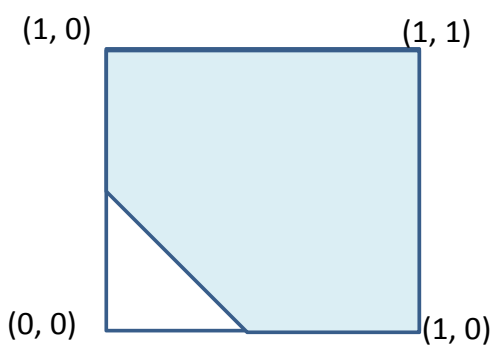


$$(X_1 + X_2 + X_3 + \dots X_{n-n+1})/n \leq Y \leq \underline{(X_1 + X_2 + X_3 + \dots X_n)/n.}$$
 ※Yを□(空節)とすると、矛盾もこの形式

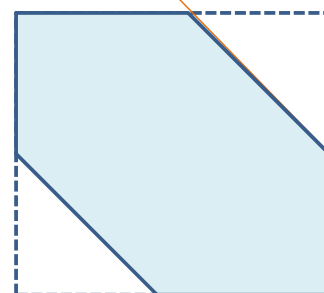
$$X_1 \vee X_2 \vee X_3 \vee \dots \vee X_n \rightarrow Y$$



$$(X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n)/n \leq Y \leq (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_{n+n-1})/n.$$



完備化

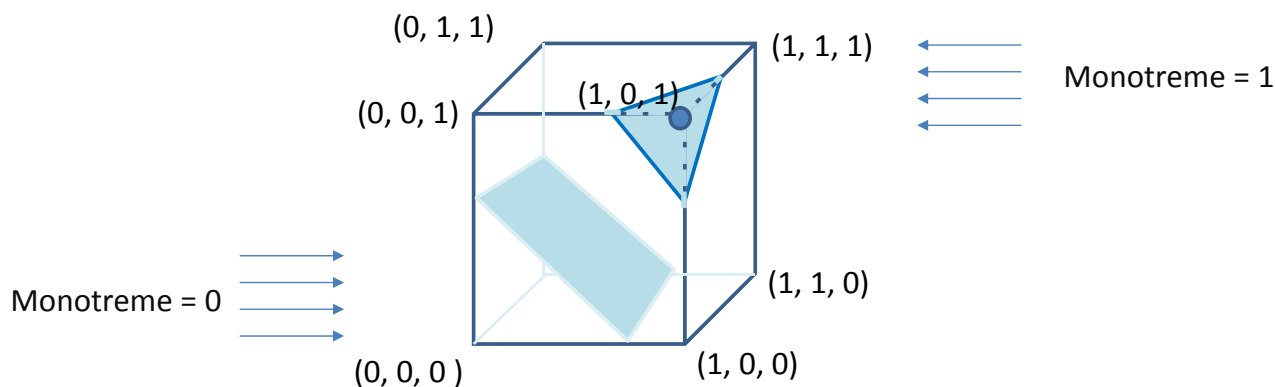


上限を切られると簡単に解が得られない(「解なし」ではゴールを諦めることと同義だし！)

非単調性解消の数理的説明



(Mammal, Monotreme, Bird)というような空間を考える



次元(仮説)を増やすと、解のゆとりが出る。
探索も楽になる、

帰納論理プログラミング (Inductive Logic Programming)の概要

$K \not\models E^+$	
$K \cup E^- \not\models \square$ (空節)	
$K \cup h \vdash E^+$	
$K \cup h \cup E^- \not\models \square$	

K : 確定した知識(背景知識)
 E^+ : 正例(目標概念に該当する例)
 E^- : 負例(目標概念に該当しない例)
 h : 解仮説(集合)

ある知識だけでは無矛盾だが目標概念が説明できないとき、
与えられた事例を説明できる(もちろん無矛盾な)仮説を得て学習する。

簡単な例(多種データが混在している)

分類	表面データ	身体特性		生活環境
class(eagle,bird). class(bat,mammal). class(dog,mammal). class(bat,mammal). class(eagle,bird). class(ostrich,bird). class(shark,fish). class(crocodile,reptile). class(bat,mammal). class(shark,fish). class(penguin,bird). class(shark,fish). class(crocodile,reptile). class(crocodile,reptile). class(shark,fish). class(dog,mammal). class(snake,reptile). class(platypus,mammal). class(t_rex,reptile). class(crocodile,reptile). class(eagle,bird). class(shark,fish).	covering(dog,hair). covering(dolphin,none). covering(platypus,hair). covering(bat,hair). covering(trout,scales). covering(herring,scales). covering(shark,none). covering(eel,none). covering(lizard,scales). covering(crocodile,scales). covering(t_rex,scales). covering(snake,scales). covering(turtle,scales). covering(eagle,feathers). covering(ostrich,feathers). covering(penguin,feathers).	legs(dog,4). legs(dolphin,0). legs(platypus,2). legs(bat,2). legs(trout,0). legs(herring,0). legs(shark,0). legs(eel,0). legs(lizard,4). legs(crocodile,4). legs(t_rex,4). legs(snake,0). legs(turtle,4). legs(eagle,2). legs(ostrich,2). legs(penguin,2). milk(dog). milk(dolphin). milk(bat). milk(platypus). homeothermic(dog). homeothermic(dolphin). homeothermic(platypus). homeothermic(bat). homeothermic(eagle). homeothermic(ostrich). homeothermic(penguin).	eggs(platypus). eggs(trout). eggs(herring). eggs(shark). eggs(eel). eggs(lizard). eggs(crocodile). eggs(t_rex). eggs(snake). eggs(turtle). eggs(eagle). eggs(ostrich). eggs(penguin). gills(trout). gills(herring). gills(shark). gills(eel).	habitat(dog,land). habitat(dolphin,water). habitat(platypus,water). habitat(bat,air). habitat(bat,caves). habitat(trout,water). habitat(herring,water). habitat(shark,water). habitat(eel,water). habitat(lizard,land). habitat(crocodile,water). habitat(crocodile,land). habitat(t_rex,land). habitat(snake,land). habitat(turtle,water). habitat(eagle,air). habitat(eagle,land). habitat(ostrich,land). habitat(penguin,water).

簡単な例(から、さらに一部抜粋)から

分類された事例	背景知識 K
正事例 E^+ class(bat, mammal). class(dog, mammal). class(platypus, mammal). class(dolphin, mammal). 負事例 E^- ¬ class(eagle, mammal). ¬ class(shark, mammal). ¬ class(crocodile, mammal). ¬ class(penguin, mammal).	covering(dog, hair). covering(dolphin, none). covering(platypus, hair). covering(bat, hair). covering(shark, none). covering(crocodile, scales). covering(eagle, feathers). covering(penguin, feathers). legs(dog,4). legs(dolphin,0). legs(platypus,2). legs(bat,2). legs(shark,0). legs(crocodile,4). legs(eagle,2). legs(penguin,2). eggs(platypus). eggs(shark). eggs(crocodile). eggs(snake). eggs(eagle). eggs(penguin). homeothermic(dog). homeothermic(dolphin). homeothermic(platypus). homeothermic(bat). homeothermic(eagle). homeothermic(penguin). milk(dog). milk(dolphin). milk(bat). milk(platypus).

$K \not\models E^+$

$K \cup E^- \not\models \square$

$K \cup h \vdash E^+$

$K \cup h \cup E^- \not\models \square$

○ $h : \text{class}(X, \text{mammal}) :- \text{milk}(X).$

× $h : \text{no_egg}(X) :- \text{class}(X, \text{mammal})$
where $\text{no_egg}(X) \equiv \neg \text{eggs}(X).$

$K \cup h \vdash \text{eggs}(\text{platypus}) \wedge \neg \text{eggs}(\text{platypus}) \vdash \square$

× $h : \text{class}(X, \text{mammal}) :- \text{legs}(X, 4)$

$K \cup h \cup E^- \vdash \text{class}(\text{crocodile, mam.}) \wedge \neg \text{class}(\text{crocodile, mam.}) \vdash \square$

包摂と相対包摂

包摂

述語 P, Q について、 P が Q を包摂するとは

$$P \supseteq Q \quad \equiv \quad \begin{array}{l} \exists \theta (P_\theta \rightarrow Q), \text{ i.e.,} \\ \exists \theta (P_\theta \subseteq Q) \end{array}$$

ある代入 θ を行うと、 P は Q を含意する。

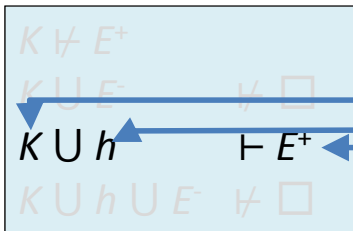
※代入とは、述語中の変数に制約を加える(具体的な値で置き換えたり、変数と変数を同一化する制約を加えるなど)こと。

例) $\text{class}(X, \text{mammal}) \text{ :- milk}(X), \text{ covering}(X, \text{hair}), \neg \text{eggs}(X).$ を包摂するのは、
 $\text{class}(X, Y) \text{ :- milk}(X).$
 $\text{class}(X, \text{mammal}).$ など。

相対包摂

述語 P, Q について、背景知識 K について P が Q を相対包摂するとは、

$$P \supseteq_K Q \quad \equiv \quad K \vdash \exists \theta (P_\theta \rightarrow Q) \quad \text{i.e., } P_\theta \supseteq Q \cup \neg K$$



例) $K : \text{no_egg}(\text{dog}). \text{ milk}(\text{dog}).$

$\text{class}(X, \text{mammal}) \text{ :- milk}(X), \text{ covering}(X, \text{hair}), \text{ no_egg}(X).$

$P : \text{covering}(X, \text{hair}).$

⇒一般化しすぎ!

$Q : \text{class}(\text{dog}, \text{mammal}).$

$\theta : X/\text{dog}.$

相対最小汎化

最小汎化

述語 P, Q について、 P と Q の最小汎化 R とは、

$(R \supseteq P) \wedge (R \supseteq Q)$ を満たす最も弱い
(R の条件を満たす他の R' を含意しない) R

例) $P : \text{class}(\text{dog}, \text{mammal}) \text{ :- milk}(\text{dog}).$
 $Q : \text{class}(\text{dolphin}, \text{mammal}) \text{ :- milk}(\text{dolphin}).$
 $R : \text{class}(X, \text{mammal}) \text{ :- milk}(X).$
 $R' : \text{class}(X, \text{mammal}).$ ⇒一般化しすぎ!

相対最小汎化

述語 P, Q について、背景知識 K について P と Q の最小汎化 R とは、

$(R \supseteq_K P) \wedge (R \supseteq_K Q)$ を満たす最も弱い R

例) $K : \text{eggs}(\text{platypus}). \text{ eggs}(\text{shark}). \text{ legs}(\text{dog}, 4). \text{ legs}(\text{platypus}, 2). \\ \text{milk}(\text{platypus}). \text{ milk}(\text{dog}).$

$E^+ : e_1 : \text{class}(\text{dog}, \text{mammal}). \quad e_2 : \text{class}(\text{platypus}, \text{mammal}).$

$(R \supseteq_K e_1) \wedge (R \supseteq_K e_2)$ を満たす最も弱い R は? (range restricted制約違反部分は削除)

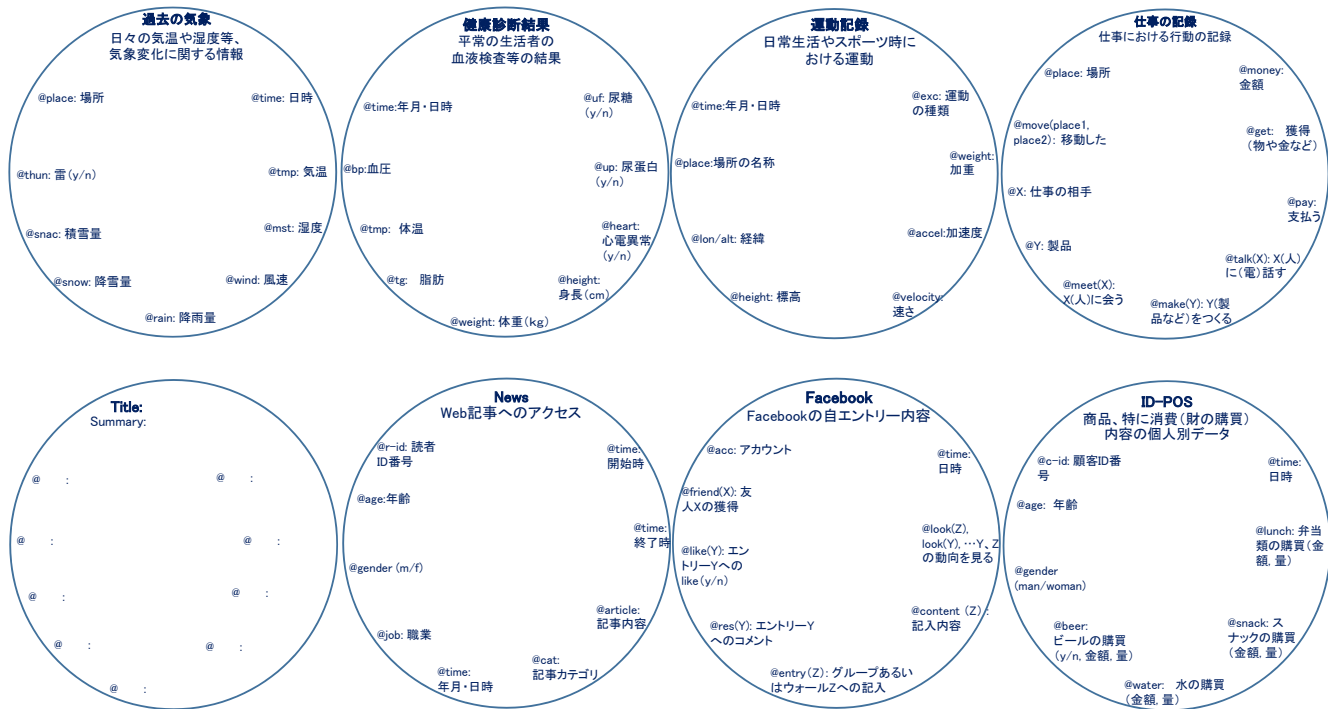
$\neg K \vee e_1 : \text{class}(\text{dog}, \text{mam.}) \text{ :- legs}(\text{dog}, 4), \text{ eggs}(\text{plat.}), \text{ eggs}(\text{shark}), \text{ legs}(\text{dog}, 4), \text{ milk}(\text{dog}), \text{ legs}(\text{plat.})$

$\neg K \vee e_2 : \text{class}(\text{platypus}, \text{mam.}) \text{ :- eggs}(\text{platypus}), \text{ legs}(\text{platypus}, 2), \text{ milk}(\text{platypus}).$

よって、 R はやっぱり、 $\text{class}(X, \text{mammal}) \text{ :- milk}(X).$

※ 右辺の制約を強化する方法は割愛

トレーニング用データジャケット(来週、各自で、円状に裁断して持参すること)

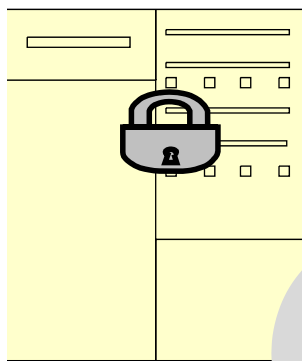


4日目(10・31)

創造的コミュニケーションへ： 知識獲得、議論とデータ市場

Innovators Marketplace on Data Jackets (IMDJ)

Ohsawa, Y., Kido, H., Hayashi, T., and Liu, C., Data Jackets for Synthesizing Values in the Market of Data, *Procedia Computer Science* (2013) Volume 22, 2013, pp. 709-716



Step1) データ所有者はデータジャケットに、記載・公開可能な範囲でデータ概要(変数集合やデータ概要)をリストアップする。



過去の気象

日々の気温や湿度等
生活に関係する情報
@場所
@日時
@気温
@湿度
...
DJ(a)



ID-POS

個人の生活に
おける購買内容
個人別購買)
@顧客ID番号
@年齢・性別
@購入品目
@日時
DJ(b)

データジャケット(DJ): 内容はメタデータと同義だが、自身を秘匿しても、メタデータだけと看板として公開し、これによってデータの市場価値を、仮想的なマイニングストーリーから評価するという原理がオリジナル。

IMDJにおける会話

データと分析ツールの利用/結合方法の検討と評価、選択

提案:「気象から健康予測するため、DJ(a), DJ(b), DJ(c)のデータを使っては？」

※次ページ参照

データ利用方法の提案者



要求(価値評価の指針):「健康変化に影響する要因を知りたい(期待するディープナレッジ)」

ディープナレッジの潜在ユーザ(例:医師)



病院にある(筈の)データ

健康診断結果

平常の生活者の
血液検査等の結果
@年月・日時
@CHE
@AST
@γ-GTP ...
DJ(c)

気象履歴
(A社所有)

過去の気象

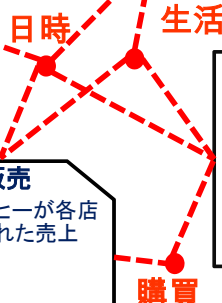
日々の気温や湿度等
生活に関係する情報
@場所
@日時
@気温
@湿度
...
DJ(a)

コーヒー販売

各種のコーヒーが各店舗で
購買された売上
@日時
@モカ売上
@キリマン売上
...
DJ(n)

ID-POS
個人の生活に
おける購買内容
個人別購買)
@顧客ID番号
@年齢・性別
@購入品目
@日時
DJ(b)

スーパーの
POS(B社所有)





原型：イノベーションゲーム (in Innovators Marketplace) の1シーン

Ohsawa and Nishihara, *Innovators' Marketplace*, Yukio Ohsawa, and Yoko Nishihara *Innovators' Marketplace: Using Games to Activate and Train Innovators*, Springer Verlag (2012)

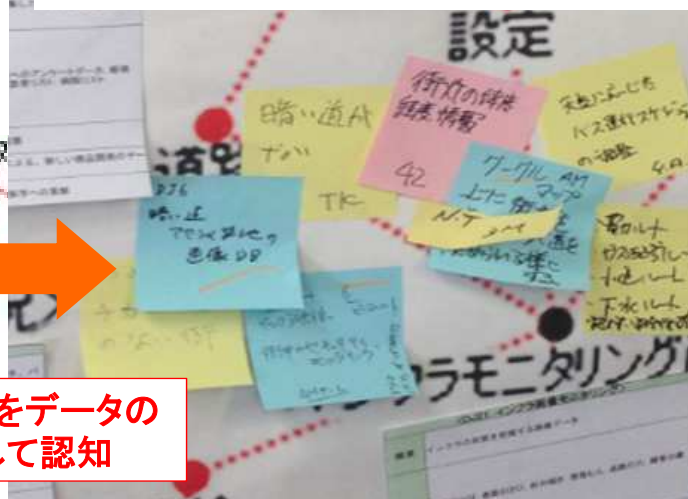
Step 2) DJ中の語からDJの関係を図示

- 変数はオントロジー作成でなく、変数の意味を入力者がテキストで書き込むことでメタ認知
- KeyGraphの他、DJと要求の関係を論理ツリーで可視化する手法も開発中



道路の安全性をデータの潜在ニーズとして認知

Step 3) Innovators Marketplace によるワークショップ

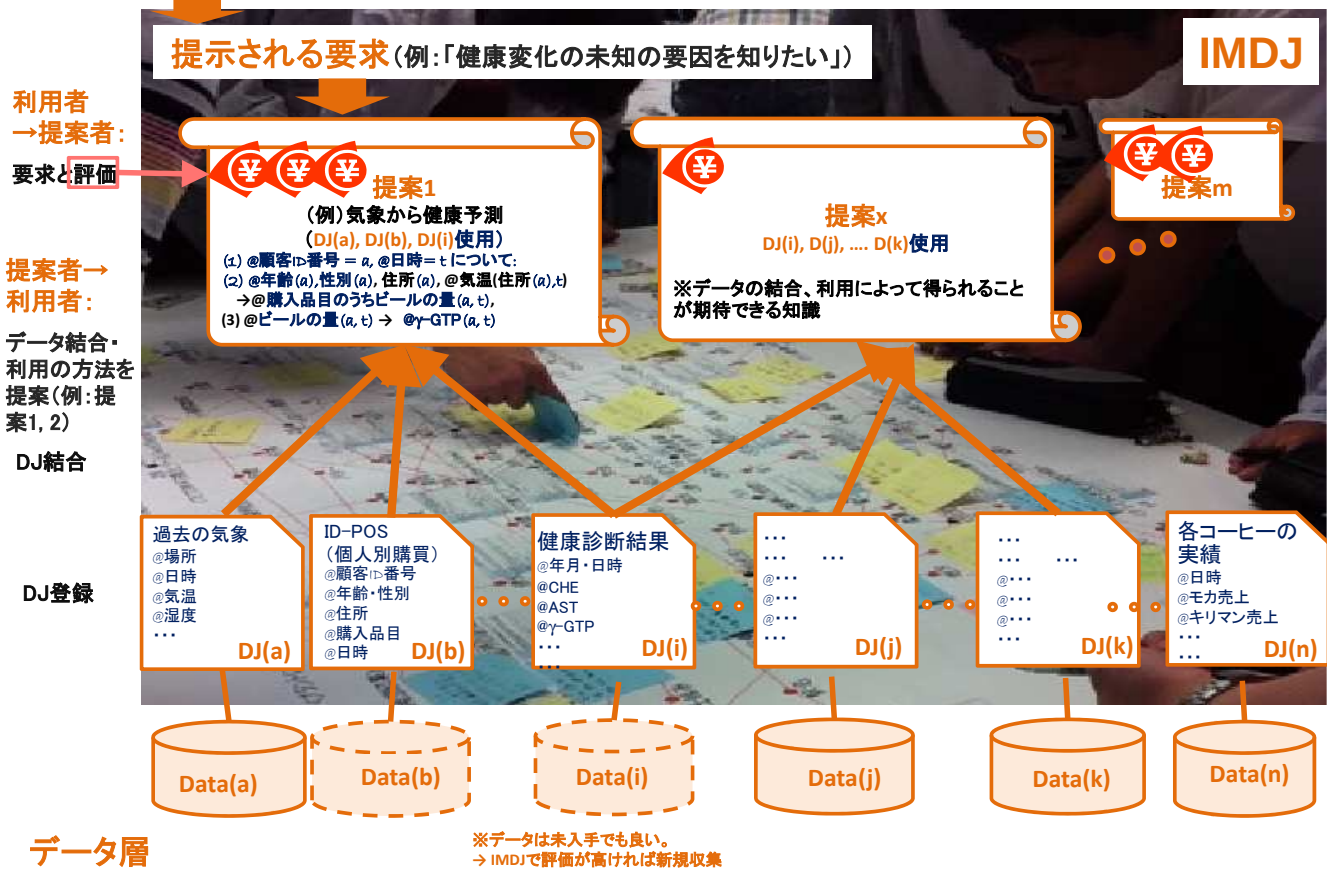


＜DJ26: バスの運行状況＞		＜DJ21: インフラ画像モニタリング＞	
概要	対象となるバス会社、およびバスのリデータ。	概要	インフラの状態を把握する画像データ
データ属性	バスの号車、経路、バスの位置、バスが運行遅延時分、平均速度、運行状況(混み具合)	データ属性	表面のひび、表面のさび、柱の傾き、塗装剥がれ、道路の穴、鋼管の腐食、時間、場所
前提条件	GPS 自社システムへの入力、バスの運行状況の把握、到着時間の予測、バクーションの案内	前提条件	画像、動画
分析の期待	道路状況の把握、到着時間の予測、バクーションの案内	分析の期待	常に一定の基準のもとで、ブレない判断結果が得られる
分析の期待	効率的なバスダイヤ設定、リアルタイム	分析の期待	点検の優先順位の設定ができる

IMDJとKeyGraph

IMDJの入力情報(データジャケット:DJ)と出力情報(データ利用方法の提案)

潜在的な意識 (例: 患者の容態急変が怖い)



照明種別	管理No	柱種	適合ランプ	町名	丁目	番地号	緯度	経度	光束	
街路灯	1	ポール大型	CM220	湯島	1	13	2	354209902	1394603203	19800
街路灯	2	ポール大型	CM220	湯島	1	12	5	354208792	1394601561	19800
街路灯	3	ポール大型	CM190	湯島	1	12	3	354209675	1394559999	20800
街路灯	4	ポール大型	CM220	湯島	1	11	13	354209923	1394559225	19800
街路灯	5	NTT共架	LED33W	湯島	2	11	15	354215362	1394555127	2635
街路灯	6	ポール大型	CM220	湯島	1	11	10	354210382	1394557204	19800
街路灯	7	ポール大型	CM220	湯島	1	7	12	354210922	1394554851	19800
街路灯	8	ポール大型	CM220	湯島	1	7	9	354211217	1394553007	19800
街路灯	9	ポール【139】	HF125	湯島	1	7	9	354211036	1394552377	6000
街路灯	10	ポール大型	CM220	湯島	1	6	7	354211245	1394551131	19800
街路灯	11	東電共架	LED33W	湯島	2	4	14	354212575	1394552722	2635
街路灯	12	東電共架	LED33W	湯島	2	4	1	354213096	1394551953	2635
街路灯	13	東電共架	LED33W	湯島	2	4	10	354213457	1394551383	2635
街路灯	14	東電共架	LED33W	湯島	2	4	10	354213457	1394551383	2635
街路灯	15	東電共架	LED33W	湯島	2	4	10	354213457	1394551383	2635
街路灯	16	東電共架	LED33W	湯島	2	4	10	354213457	1394551383	2635
街路灯	17	東電共架	LED33W	湯島	2	4	10	354213457	1394551383	2635
街路灯	18	東電共架	LED33W	湯島	2	4	10	354213457	1394551383	2635
街路灯	19	東電共架	LED33W	湯島	2	4	10	354213457	1394551383	2635

DJ(b) 区役所等へIMDJ結果を示し入手した街灯設置データ

例) 文京区の街灯データとGoogle mapの結合(Data(a)+Data(b))

街灯設置データを地図にマッピング



利用者の声

- ・ 後楽園へ抜ける近道が常々暗いと思っていた
- ・ マップを見て明るい道を探し新しい行き方を発見した
- ・ 飲み会の帰りに安全なルートを確認できる
- ・ 近道だと思って通った道が意外と暗くて怖かった

DJ(a) Google map

論理に基づくIMDJ

(1) まず、ひとりでやってみよう

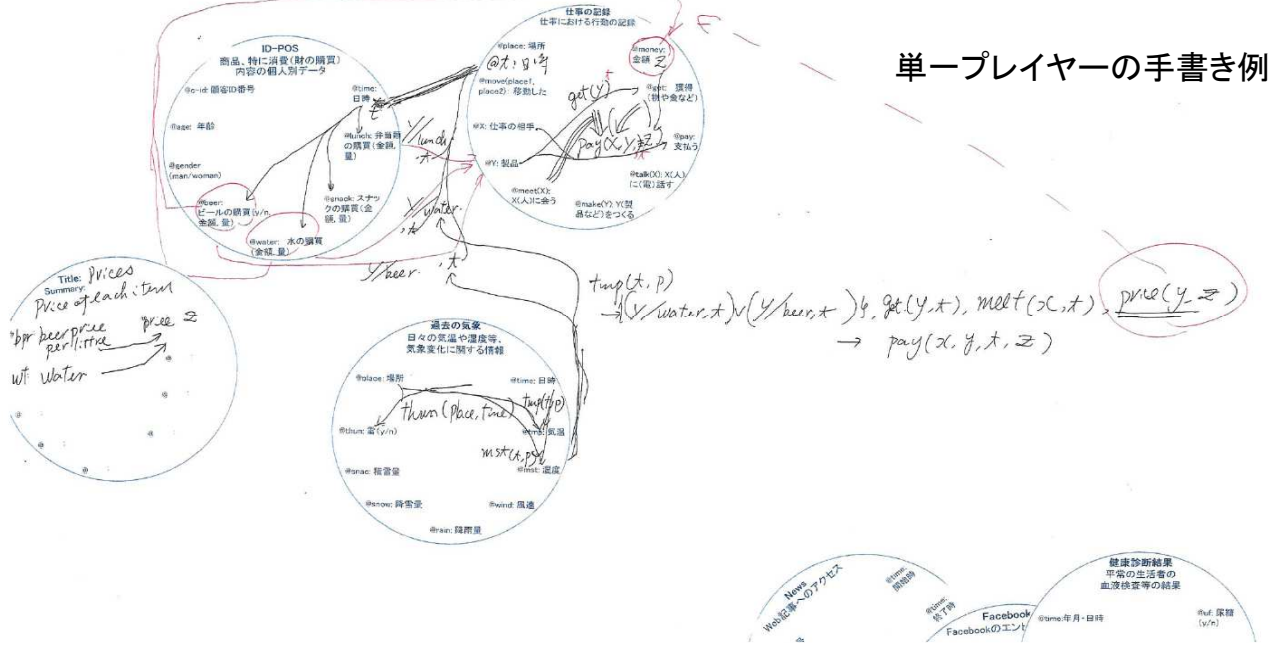
(2) グループ(前後2~4名)でのゲーム:

2-1) 要求を出し合おう: 例「健康に良い仕事をしたい」

2-2) (1)で作った自分のアイデアをだそう: 要求を満たすように(勝つために)努力しつつ、無意味(社会的無価値、実現不能、陳腐など)要求を修正する逆要求も出そう。

2-3) 他の人のアイデアにお金をだし、自分のアイデアと組み合わせて新知識も導出しよう。同じアイデアは先行者が所有、他者は購入。

(3) 多く利益を挙げた者が勝ち: もしデータを持っていたら、利益はどう変わっただろうか?



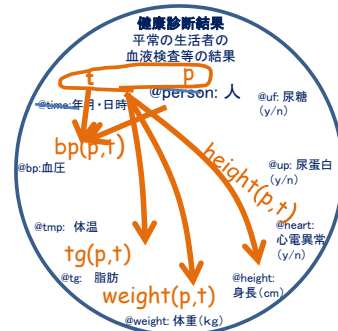
論理に基づくIMDJ

(1) まずは、ひとりで

Step 1) それぞれのDJの中で、概念の構成要素を表す変数Xから(→)、構成される概念を表す変数Pへの向きに、矢印をつけ、その矢印の意味を述語あるいは関数P(X)で記述する。

※興味のある変数だけで良いし後で追加も可

※変数名は適当に付け直して良い



Step 2) 述語(についての論理式)あるいは関数(についての制約式)の間で、前提から(⇒)結論へ矢印をつけ、その関係の意味を論理式で記述する。ここで、range restriction等を検討し、欠けている変数や述語を補う。

例)

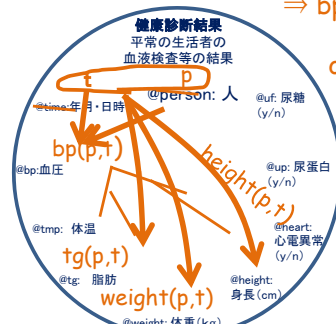
$rainy(time, place)$
 $\Rightarrow wet(time, place)$
 $snowy(time, place)$
 $\Rightarrow cold(time, place)$

$rainy(time, place)$
 $: rain(time, place) \triangleright \alpha$
 $snowy(time, place)$
 $\Rightarrow snac(time, place) \triangleright \beta$



$weight(p, t) - height(p, t) > \omega$
 $\Rightarrow bp(p, t) > \lambda$

$overweight(p, t)$
 $\Rightarrow overbp(p, t)$



(2)グループで:①要求を出し合う②他の人の案を評価し使ってみる

Step 3) 他の人の(できるだけ異なる)DJの間も含め、前提を表す変数Xあるいは述語から(⇒)帰結を表す変数Yに向けて矢印をつけ、その矢印の意味を論理式等(代入記号、単一化可)で記述する。 ※変数名は適当に付け直して良い

Step4) 書き込んだ論理式を余白やノートに書き出し、どんな式が導出されるか考えよう。

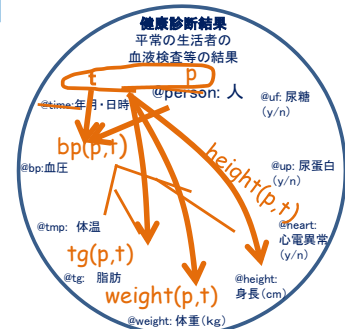
※演繹的な導出だけでなく、「条件を追加しなければならないね」

「この二つは同時に成り立たなければならないね」

「この論理式は右辺と左辺が逆ではないか」など議論しよう

※変数名、論理式は適当に書き直して良い

例)



$overweight(p, t) \Rightarrow overbp(p, t)$
 $weight(p, t) - height(p, t) > \omega \Rightarrow bp(p, t) > \lambda$

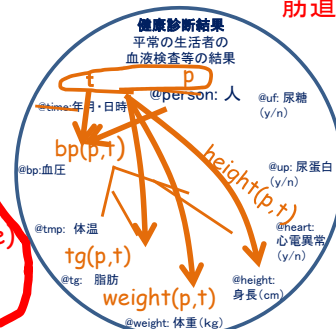
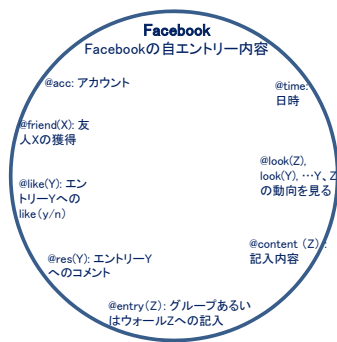
$cold(t/time, place)$
 $\Rightarrow overweight(p, t)$

$cold(time/t, place) \Rightarrow \exists p \{eat(t, p, fat, place)\}$
 $eat(t, p, fat, place) \Rightarrow overweight(p, t)$

Step 5) 書き込んだ論理式を余白やノートに書き出し、どんな式が導出されるか考えよう。

※演繹的な導出以外の議論もしよう ※変数名、論理式は適当に書き直して良い

例)



気象と血圧の関係を分析し、消費データ(ID-POS)をつき併せてその筋道を検証

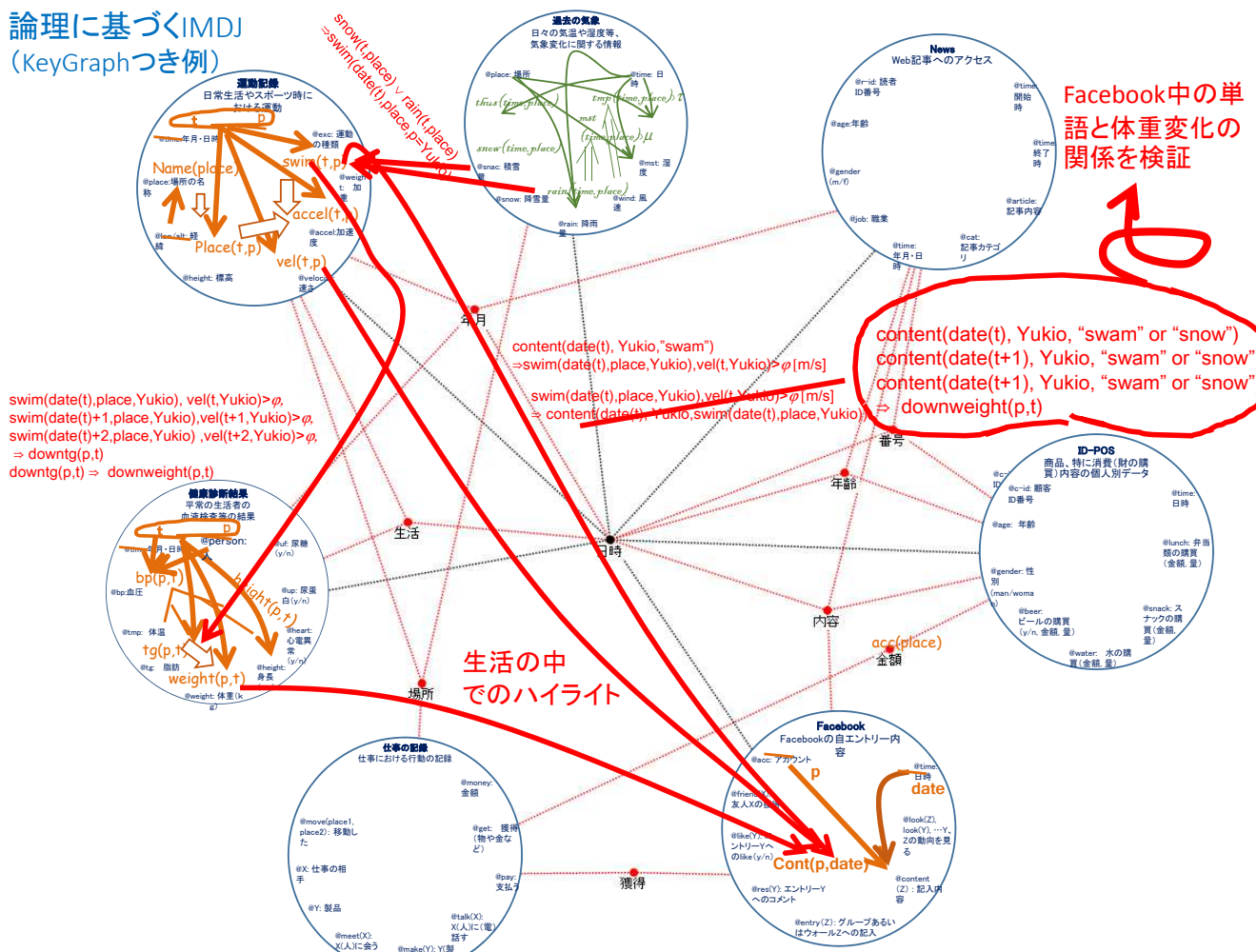
$overweight(p, t) \Rightarrow overbp(p, t)$
 $weight(p, t) - height(p, t) > \omega \Rightarrow bp(p, t) > \lambda$

$cold(t/time, place) \Rightarrow overweight(p, t)$
 $Hot(t/time, place) \Rightarrow overweight(p, t)$

$cold(time/t, place) \Rightarrow \exists p \{eat(t, p, fat, place)\}$
 $eat(t, p, fat, place) \Rightarrow overweight(p, t)$
 $hot(time/t, place) \Rightarrow \exists p \{snack(p, t)\}$
 $snack(p, t) \Rightarrow overweight(p, t)$

$rainy(time, place) \Rightarrow wet(time, place)$
 $snowy(time, place) \Rightarrow cold(time, place)$
 $rainy(time, place) : rain(time, place) > \alpha$
 $snowy(time, place) : snac(time, place) > \beta$

論理に基づくIMD (KeyGraphつき例)



本講義(大澤担当部分)のまとめ

まとめてみよ。一本のストーリーに乗っている筈。

各自でまとめを作成し(1000~2000文字程度。図は詳細度により100~200字と数える)、講義感想と共に二週間以内(×11/14)に提出せよ。

提出方法: ohsawa@sys.t.u-tokyo.ac.jp

必ず、メールタイトルを"KI_report"とし、

レポートファイル名を"氏名または学籍番号.pdf/doc/txt/docx"とせよ。