

あいまいさの効用

—ファジィ理論とその周辺—

基礎工学研究科 システム創成専攻
社会システム数理領域

乾 口 雅 弘

ファジー時代の始まり！(1990年頃)

□ ファジー洗濯機(日経トレンディヒット商品アーカイブスより)

1990年ランキング

ファジー洗濯機

第7位



国内出荷、史上初の500万台に貢献
愛妻号Dayファジーがリーダー格

90年の洗濯機の国内出荷台数は過去最高だった89年度を8%上回り500万台になる見込みだ。メーカー各社から「それもこれも、すべてファジーのお陰です」という声が聞こえてきそうなくらい、ファジー理論を応用した全自動洗濯機が好調だった。

同じ洗濯でも、ゴワゴワの布と柔らかい布では洗う時間が違う。夏と冬では水温も違い、汚れの落ち具合や洗剤の溶け方も微妙に違う。そんな細かなところまでセンサーで読み取って、ベテラン主婦並みに仕上げてくれるのが人気の秘密らしい。

大ヒットしたのは松下電器産業の「愛妻号Dayファジー」。油汚れ、泥汚れなど汚れの種類まで見分けてくれる。松下に続き、日立や三菱、三洋、東芝も次々と参入した。

直訳すれば「あいまいな」「ぼんやりした」という意味になる「ファジー」だが、職人の勘や熟練を要する技術を持つコンピュータプログラムを内蔵したこれまでにない精緻な商品といえる。

(掲載当時の文章を再構成したものです)

ファジィ時代の始まり！(1990年頃)

□ ファジー洗濯機(日経トレンディヒット商品アーカイブスより)

1990年ランキング

ファジー洗濯機

90年の洗濯機の国内出荷台数は過去最高だった89年度を8%上回り500万台になる見込みだ。メーカー各社から「それもこれも、すべてファジーのお陰です」という声が出てきているという。ファジー理論を応用した全自動

ちなみにこの年のランキングは、

- ・第1位 水族館(葛西臨海水族園, 海遊館)
- ・第2位 BSチューナー内蔵テレビ
- ・第3位 ちびまる子ちゃん
- ・第4位 スーパーファミコン
- ・第5位 一番搾り(麒麟ビール)
- ・第6位 再生紙

ファジィ時代の始まり！(1990年頃)

□ ファジー洗濯機(日経トレンディヒット商品アーカイブスより)

1990年ランキング

ファジー洗濯機



その他の応用例

- ・仙台の地下鉄(乗りごこち)
- ・炊飯器(プロの炊き方)
- ・ビデオ(手ぶれ補正)
- ・掃除機(汚れ度のチェック)
- ・酒(発酵プロセスの制御)

詳細は http://www.adwin.com/elec/fuzzy/note_10.html

<http://www.j-soft.org/db/appli.html>

時代の最先端のファジーな奴だ
今じゃ、ファジーの意味も忘れかけてしまっている。
(PHOTO*PHOTOより: この洗濯機20年近く働いたそうです)

では, どのような方法で動いていたの?

- 本公開講座では,
 - ◆ 日常におけるファジィ
 - ◆ ファジィ家電の元になる手法
 - ◆ ファジィ理論の周辺の理論と方法

- ファジィとは?
 - 英語の **fuzzy** : 「羽毛のような」, 「ぼやけた」
 - fuzzy**理論は「あいまい理論」と訳されている.

日常におけるファジィ

日常におけるファジィ(あいまいさ)

□ 自動車における「あいまいさ」

ハンドル, ブレーキ, クラッチの遊び

□ 政治における「あいまいさ」

ハイリゲンダムG8: 「2050年に温室ガス排出量の半減をめざす」

□ 日常言語

料理番組: 「塩**少し**」, 「胡椒**少々**」

料理の注文: 「**ちょっと辛め**で」

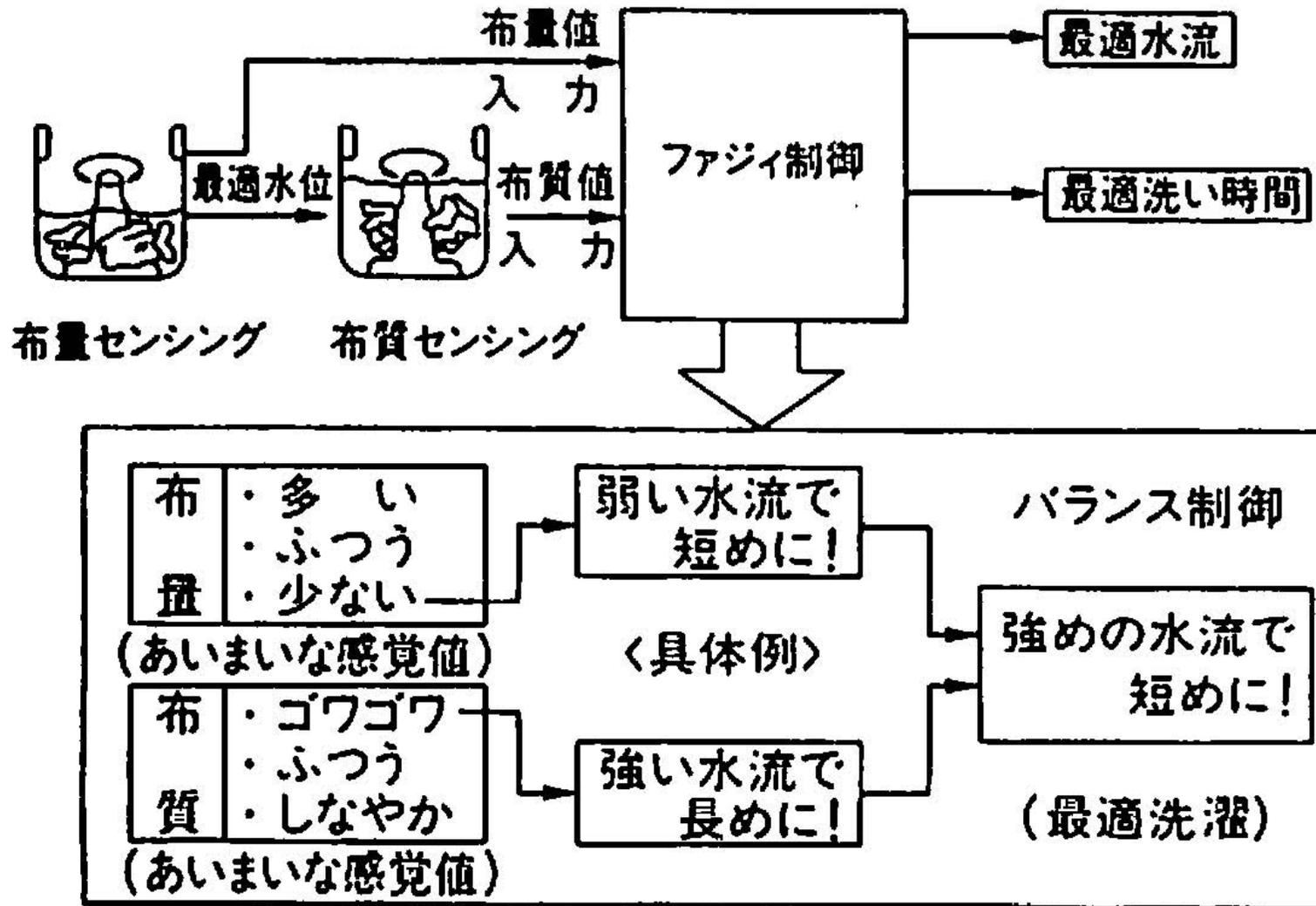
その他: 「彼は**若い**ね」, 「あの西瓜は**大きい**」

数値的: 阪大から蛍池駅のタクシー料金
「**800円**くらい」

なぜファジィ家電は 成功したか

- ファジィ制御の紹介
- 従来法との相違
- ニューロ・ファジィ

ファジィ洗濯機



森千恵:「消費者からみたファジー家電」,

日本ファジィ学会誌, Vol.5, No.3, pp.446-452 (1993) より

なぜファジィ家電は成功したか？

□ 従来の科学

ハードコンピューティング

正確に測定. 精密にモデル化. 厳密に計算.

→ コスト高 (時間や金銭を要求する)

□ 人間: 経験や勘で, 複雑な問題を解いている.

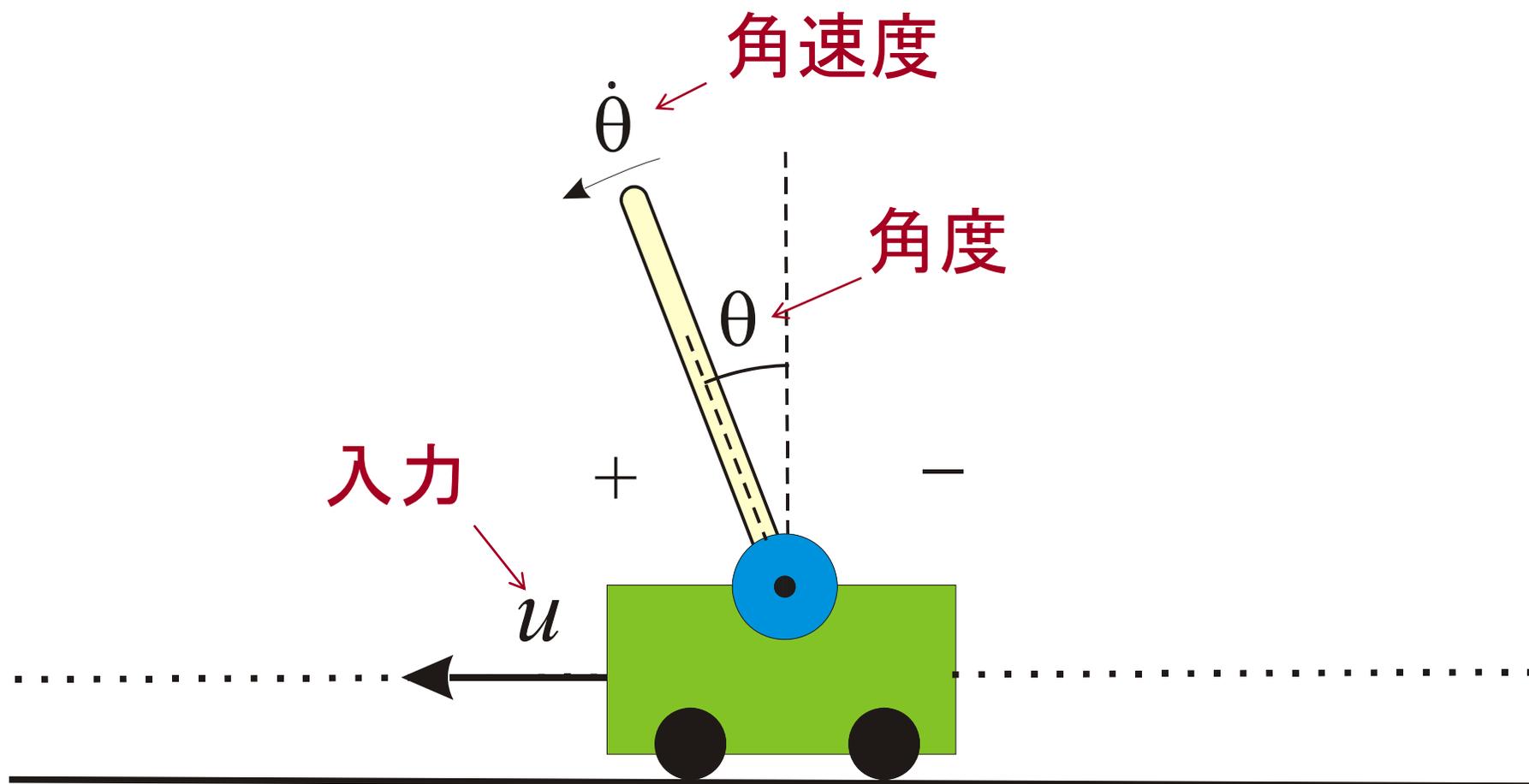
例) 自動車の車庫入れ

□ 人間の経験知識を利用する

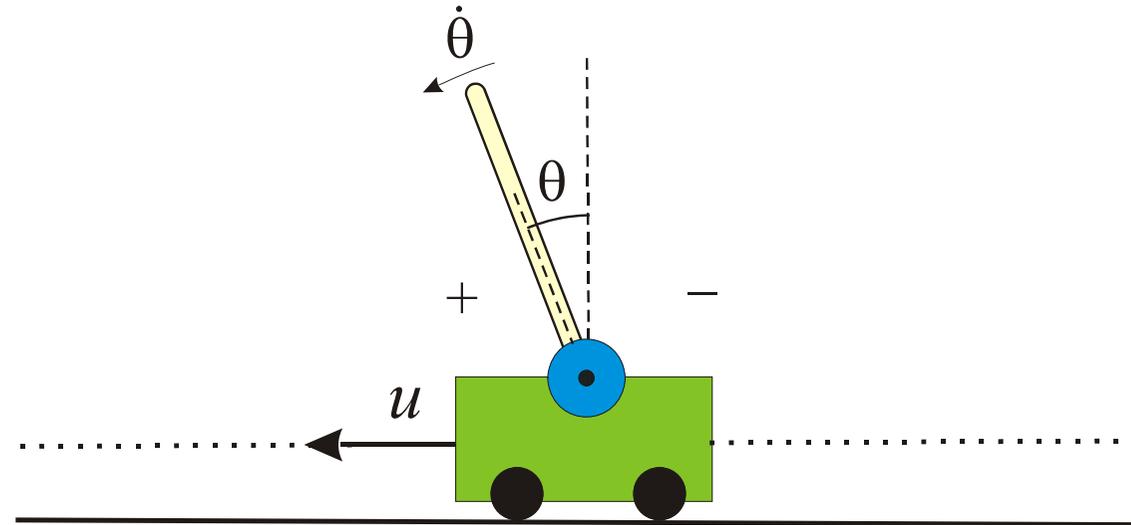
→ ファジィ制御 (ファジィ推論)

(fuzzy logic controller)

倒立振子の制御

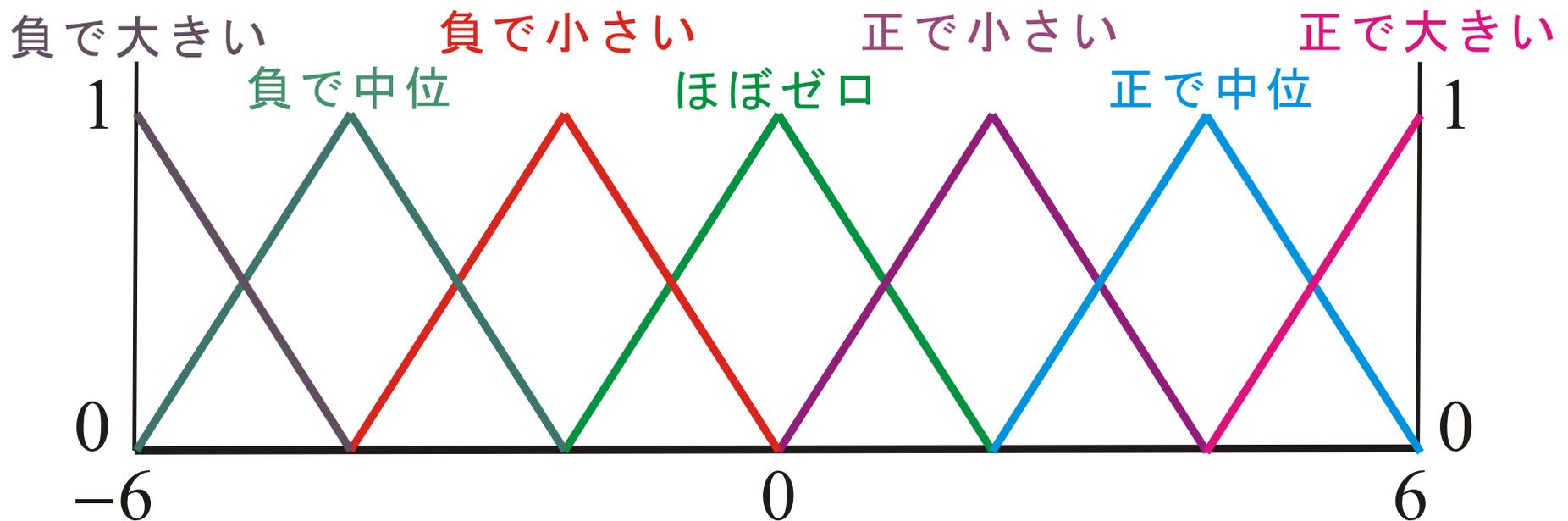


倒立振子の制御



- θ が正で中位で $\dot{\theta}$ がほぼゼロならば, u を正で中位の値に.
- θ が正で小さく $\dot{\theta}$ も正で小さいならば, u を正で小さい値に.
- θ が正で小さく $\dot{\theta}$ が負で小さいならば, u をほぼゼロに.
- θ が負で中位で $\dot{\theta}$ がほぼゼロならば, u を負で中位の値に.
- θ が負で小さく $\dot{\theta}$ が負で小さいならば, u を負で小さい値に.
- θ が負で小さく $\dot{\theta}$ が正で小さいならば, u をほぼゼロに.
- θ がほぼゼロで $\dot{\theta}$ もほぼゼロならば, u をほぼゼロに.

- θ が正で中位で $\dot{\theta}$ がほぼゼロならば, u を正で中位の値に.
- θ が正で小さく $\dot{\theta}$ も正で小さいならば, u を正で小さい値に.
- θ が正で小さく $\dot{\theta}$ が負で小さいならば, u をほぼゼロに.
- θ が負で中位で $\dot{\theta}$ がほぼゼロならば, u を負で中位の値に.
- θ が負で小さく $\dot{\theta}$ が負で小さいならば, u を負で小さい値に.
- θ が負で小さく $\dot{\theta}$ が正で小さいならば, u をほぼゼロに.
- θ がほぼゼロで $\dot{\theta}$ もほぼゼロならば, u をほぼゼロに.



どんな計算をするの？

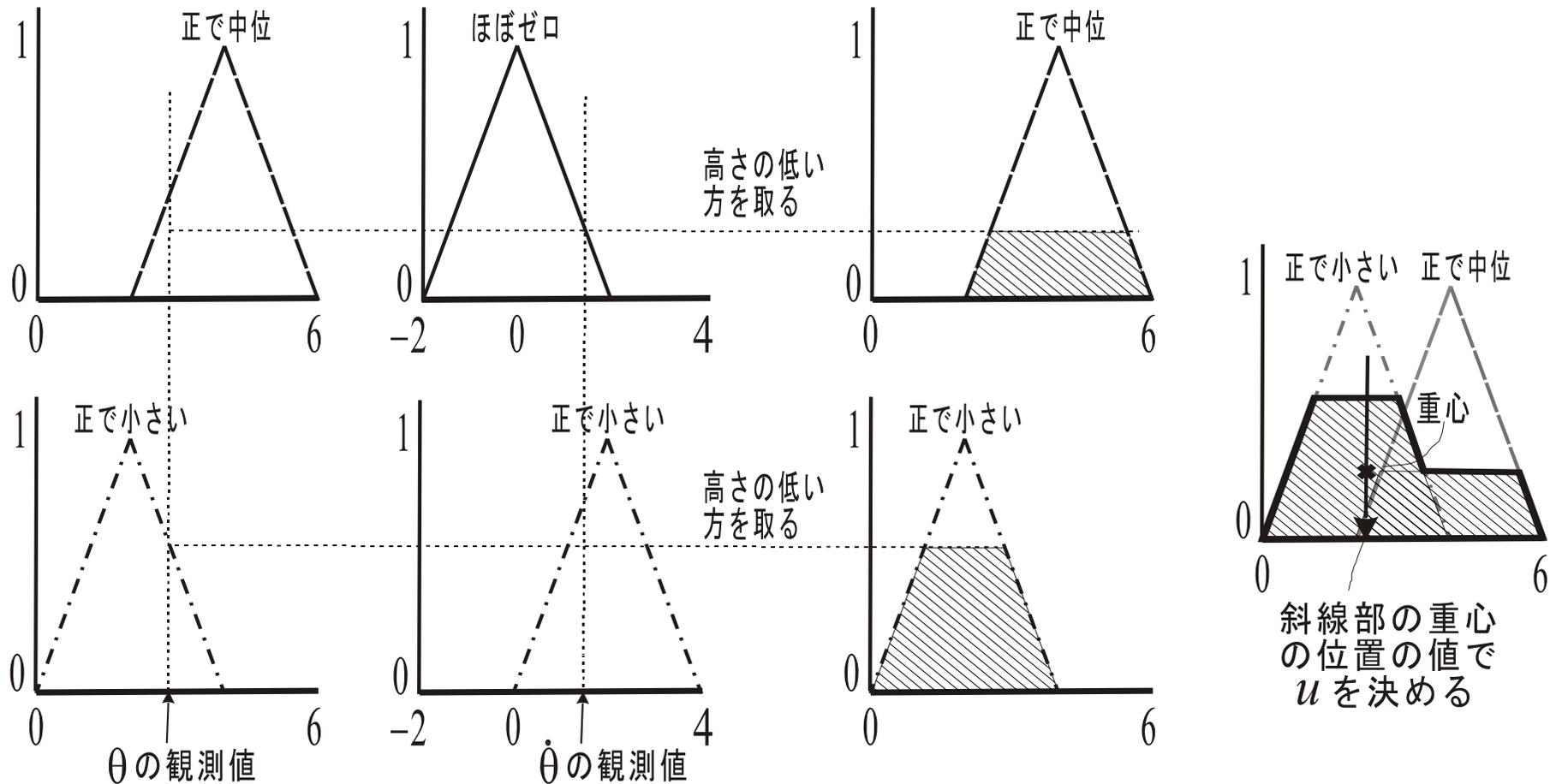


図3. 制御入力 u の決め方

どんなことになっているの？

□ 簡単な例で.

- θ が正で中位で θ がほぼゼロならば, u を正で中位の値に.
- θ が正で小さく θ も正で小さいならば, u を正で小さい値に.
- θ が正で小さく θ が負で小さいならば, u をほぼゼロに.
- θ が負で中位で θ がほぼゼロならば, u を負で中位の値に.
- θ が負で小さく θ が負で小さいならば, u を負で小さい値に.
- θ が負で大きいならば, u を 1 に.
- θ が負で中位ならば, u を 4 に.
- θ が負で小さいならば, u を 2 に.
- θ がほぼゼロならば, u を 1.5 に.
- θ が正で小さいならば, u を 3 に.
- θ が正で中位ならば, u を 5 に.
- θ が正で大きいならば, u を 6 に.

2変数
→ 1変数

ファジィ
→ 実数

どんなことになっているの？

□ 簡単な例で.

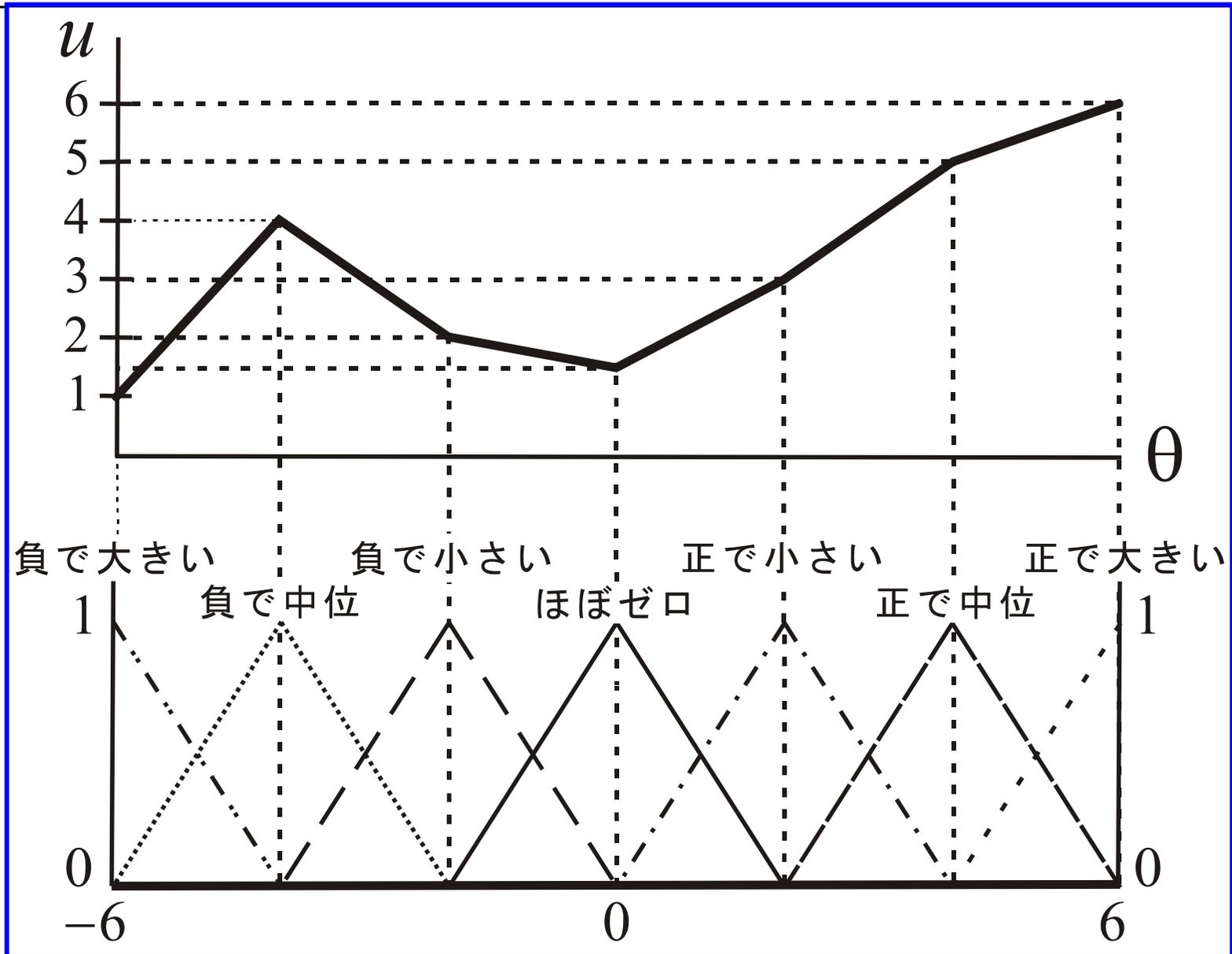
- θ が負で大きいならば, u を 1 に.
- θ が負で中位ならば, u を 4 に.
- θ が負で小さいならば, u を 2 に.
- θ がほぼゼロならば, u を 1.5 に.
- θ が正で小さいならば, u を 3 に.
- θ が正で中位ならば, u を 5 に.
- θ が正で大きいならば, u を 6 に.

「ならば」の後が実数なので, 重心の計算が必要なく, 一つの値になる.

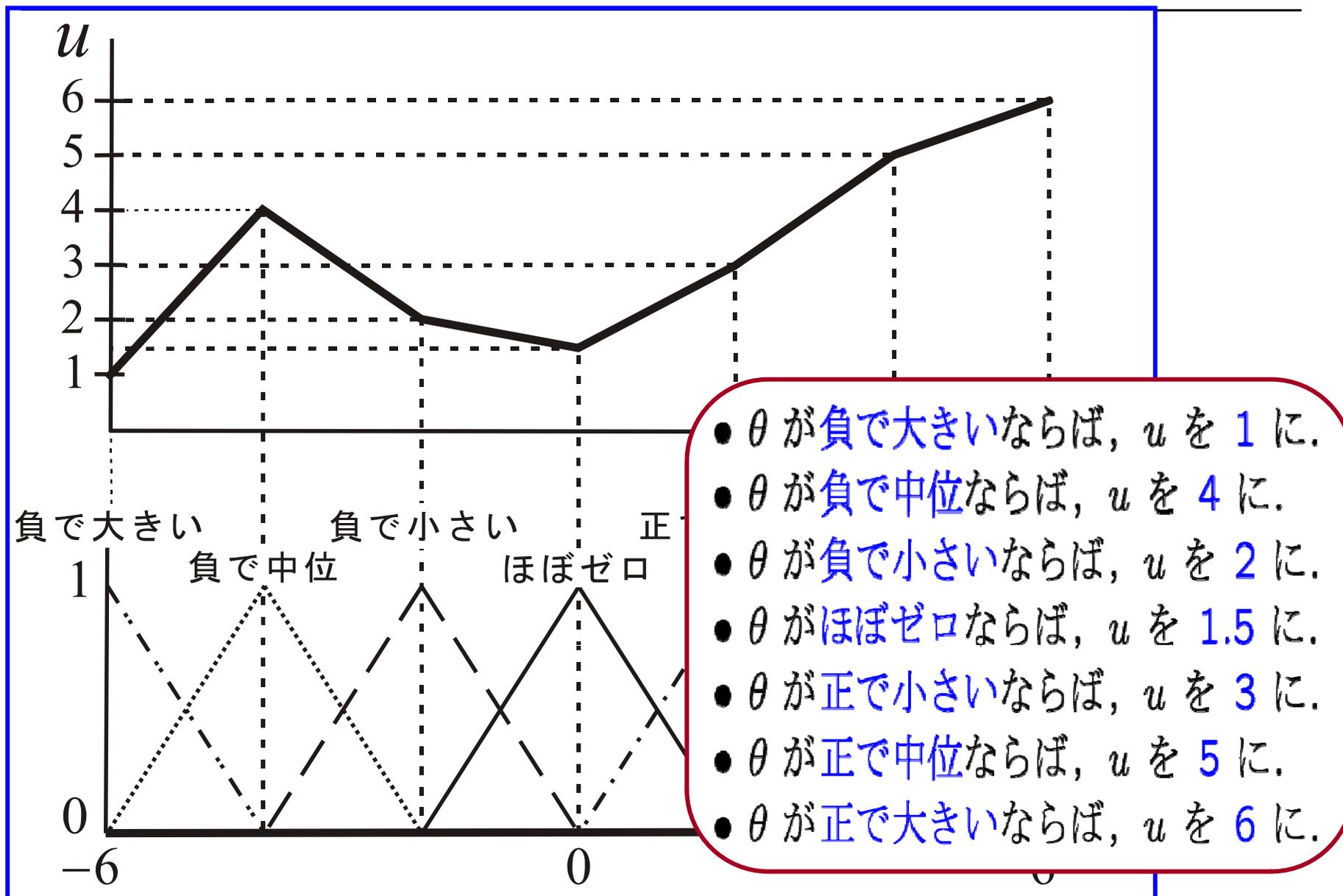
簡略型ファジィ推論

θ をいろいろと変えて u の値を計算してみると,

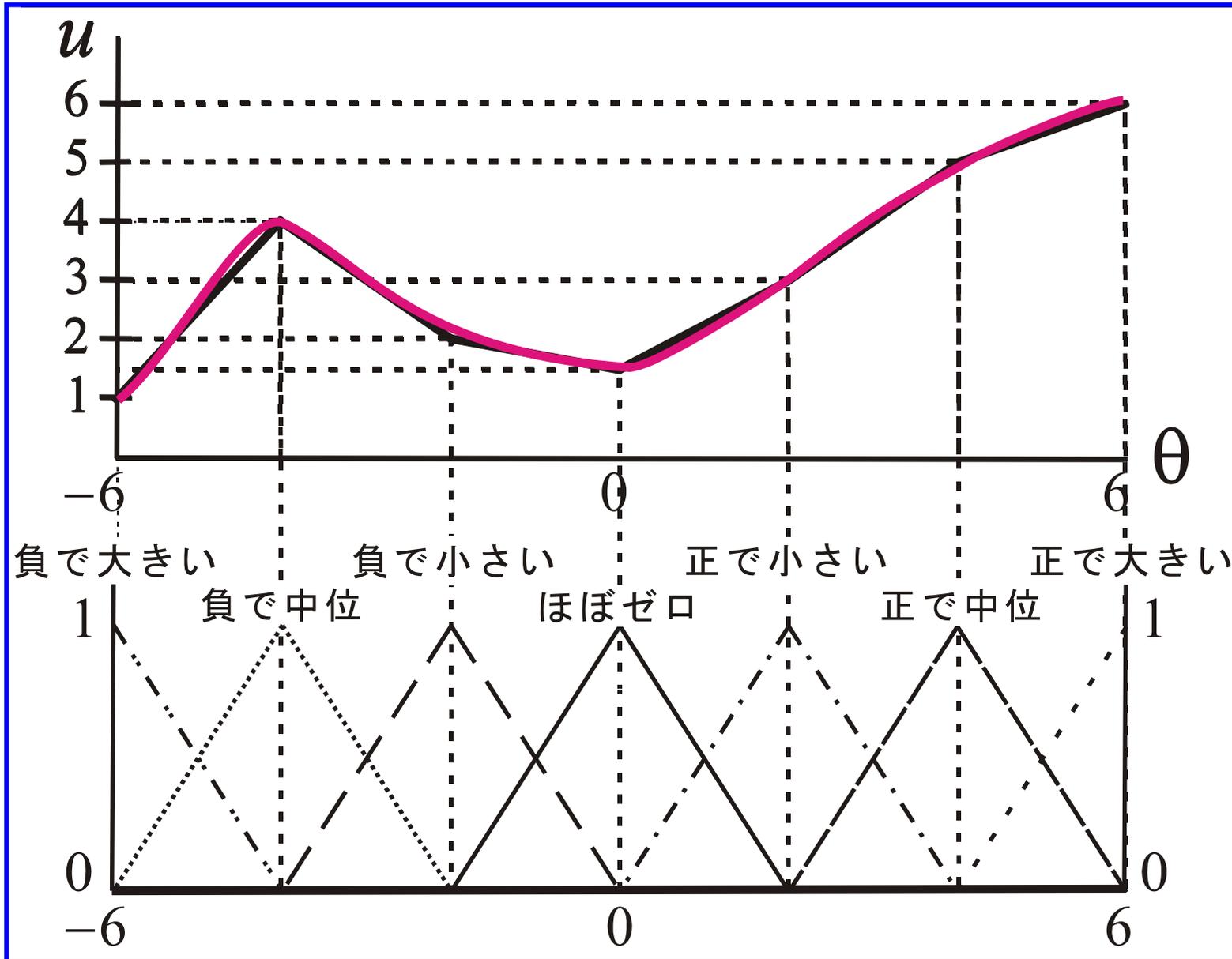
あっ折れ線！



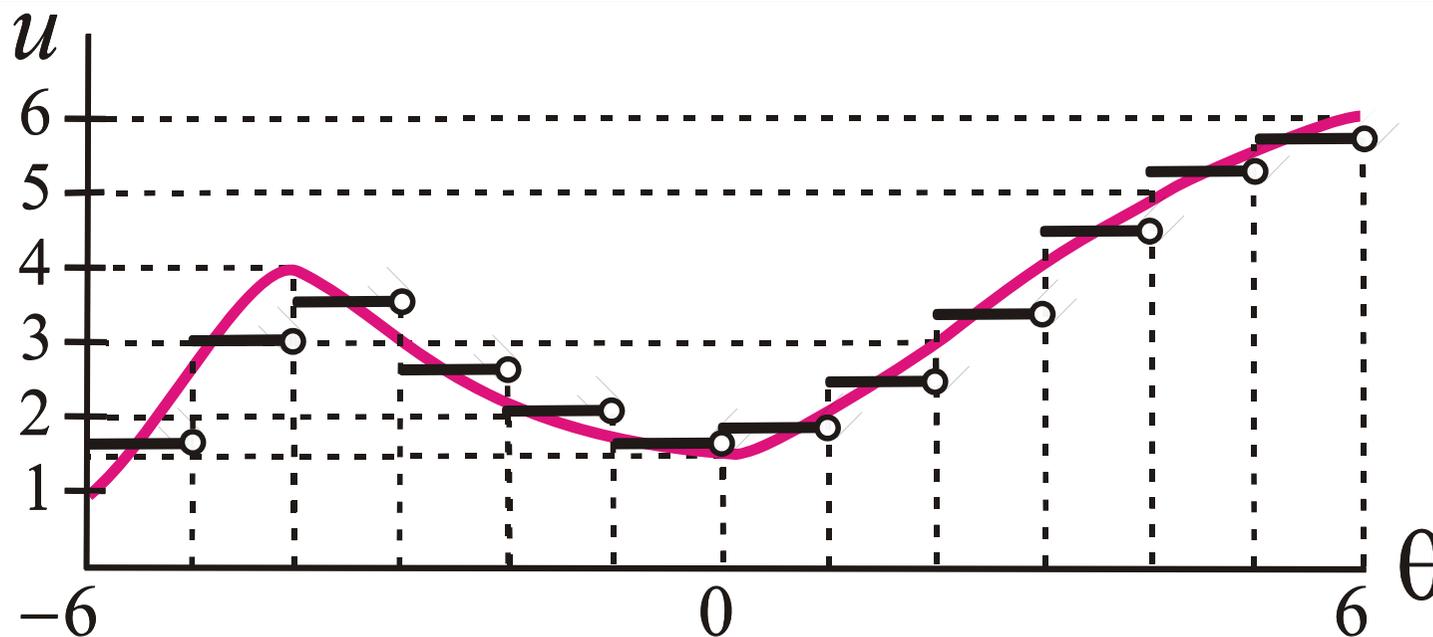
あっ折れ線！



あっ折れ線！～曲線の近似!!



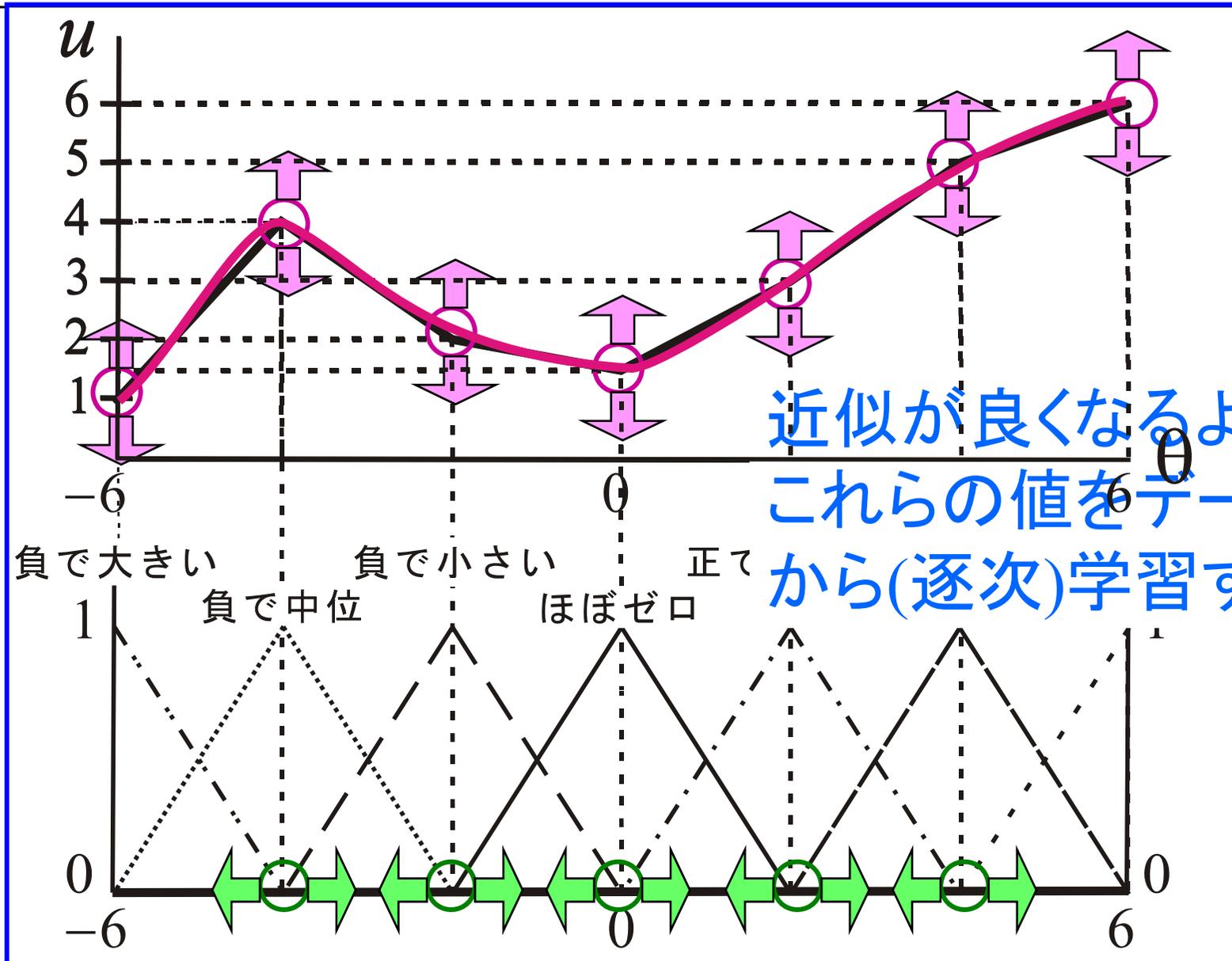
従来のルールで近似すると



12の
ルール

- $\theta \in [-6, -5]$ ならば, u を 1.8 に.
- $\theta \in [-5, -4]$ ならば, u を 3 に.
- $\theta \in [-4, -3]$ ならば, u を 3.5 に.
- ⋮
- $\theta \in [4, 5]$ ならば, u を 5.8 に.

ニューロ・ファジィとは？



近似が良くなるように
これらの値をデータ
から(逐次)学習する

なぜファジィ家電は成功したか？

- ファジィ制御
- 言語的なルールで記述できるので、人間の知識を表せる.
- ルールのあいまいさにより、ルールの条件に完全に適合しなくとも、内挿により周辺も推論.
- したがって、少ないルールでも真の入力値の良い近似を与える.
- 学習機能を追加することができる.

ひと息

□ 日本でファジィが流行った理由の一つ？

「ファジィ」... 日本語でないので日本人に意味がわからない。目新しい言葉なので立派に感じる。

“fuzzy logic” ... 欧米では、「ぼやけた論理」という意味になり欧米人には役に立つとは思えない。

コメント:「ファジィ・オートフォーカス・カメラ」

ぼやけた自動焦点カメラ！？

ファジィ理論に関連する理論と方法

- ファジィ数理計画法(ファジィ最適化)
- 証拠理論
- ラフ集合理論
- ファジィ理論を取り巻くパラダイム

ファジィ数理計画法(ファジィ最適化)

数理計画法...与えられた制約条件の下で, 評価関数(コスト関数や利益関数)を最適化する方法

- ファジィ数理計画法は融通がきく

制約条件: 資金は100万円まで

ファジィ制約: 資金はだいたい100万円まで

例) 8個以上購入で1個プレゼント (単価13万円)

通常 7個(91万円)購入, ファジィ制約 8個(104万円)購入 1個ゲット!

- ファジィ数理計画法は頑健である

実数データ: 蛍池駅まで8分 ... ちょうど8分前に出発

ファジィデータ: 蛍池駅まで8分くらい ... 10分以上前に出発

- 制約条件の弾力性, データの不確実性が取り扱え, 確率計画法より解きやすい.



危険



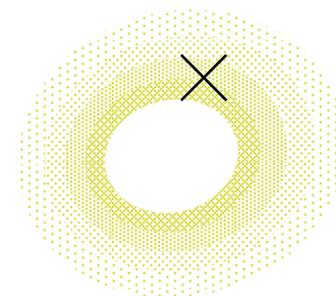
安全

2種類のあいまいさ～少し哲学的？でも大学らしい？

□ 漠然性(vagueness)

境界がはっきりしないあいまいさ

- ・だいたい100万円くらいまで
- ・この壺は古い



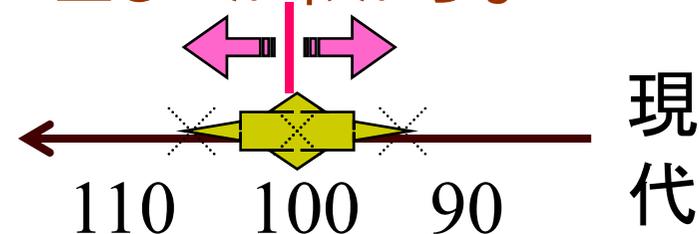
古い壺の集合

□ 不明確さ(ambiguity)

いずれが正しい値かわからないあいまいさ

- ・だいたい8分くらい
- ・この壺は100年くらいの古さ

100年くらい前のどの値が正しいかわからない



ファジィ理論に関連する理論と方法

- ファジィ数理計画法(ファジィ最適化)
- 証拠理論
- ラフ集合理論
- ファジィ理論を取り巻くパラダイム

証拠理論～無知を表す

例) 地区代表 A, B の2名が立候補.

投票日3日前 いずれが優勢かわからない(無知)
それぞれの当選確率は？

□ ベイズ(Bayes)の確率論(従来法)

理由不十分の原則 「いずれかが他より高い理由はない」

→ 二人の当選確率は等しい. 0.5 vs 0.5

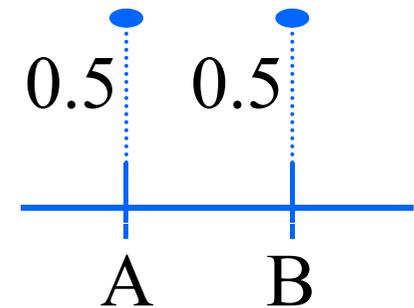
「いずれも互角」という情報と同じ？

そんなことはない！ のでは？

A: 自信過剰, B: 自信がない 場合

情報がない → Bは諦めムード, Aは当選すると楽観視.

互角という情報 → Bは更に努力, Aは危機感を感じる



証拠理論～無知を表す

例) 地区代表 A, B の2名が立候補.

投票日3日前 いずれが優勢かわからない(無知)
それぞれの当選確率は？

□ 証拠理論 (Dempster-Shafer理論)

すべての可能な確率分布の集合で表現

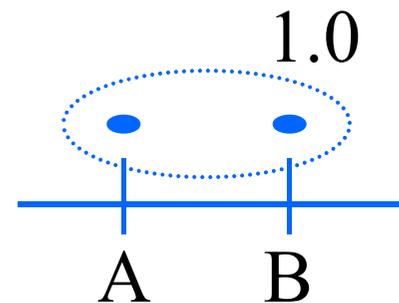
→ それって、答えていないじゃない！

そう、わからないものはわからないと扱う

・ 老子のことば

「知不知上，不知知病」

(知りて知らずとするは上なり，知らずして知れりとするは病なり)



証拠理論～より一般には

例) 地区代表 A, B の2名が立候補.

住民の20%がAさんを支持. それぞれの当選確率は?

□ 確率論

確率の和が 1 になることから,

「Aさんを **確率論でもこれは誤り**

= Bさんを支えている」確率=0.8

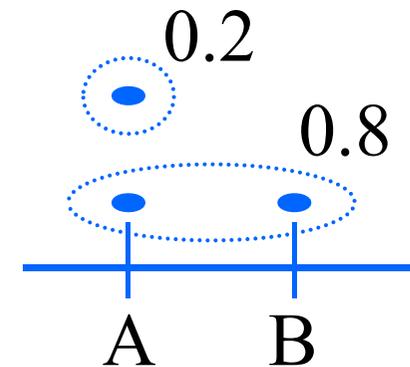
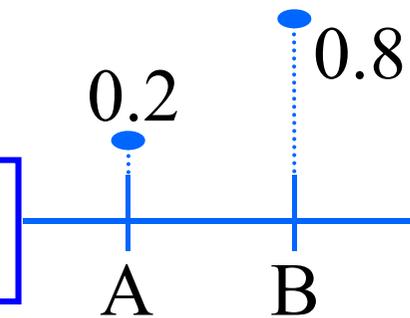
としがち. (A 0.2 B 0.8)

□ 証拠理論

Aさんを支持するという事象に 0.2.

残り 0.8 はわからないという事象に.

→ Aさんの当選確率は 0.2 以上 1 以下.



またまた、ひと息 ... 名言(無知)

- The greatest obstacle to discovery is not ignorance --it is the illusion of knowledge.

[発見を妨げる最大の障害は、無知ではなく、知っていることと錯覚することである]

— Daniel J. Boorstin (ダニエル・J・ブアスティン)

- 私たちは無知によって道に迷うことはない。自分が知っていることと信じていることによって迷うのだ。

—ジャン・ジャック・ルソー



ファジィ理論に関連する理論と方法

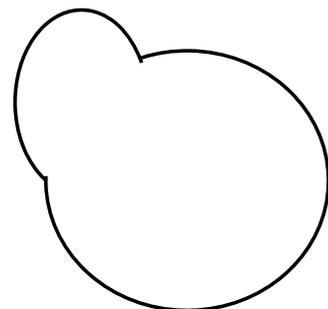
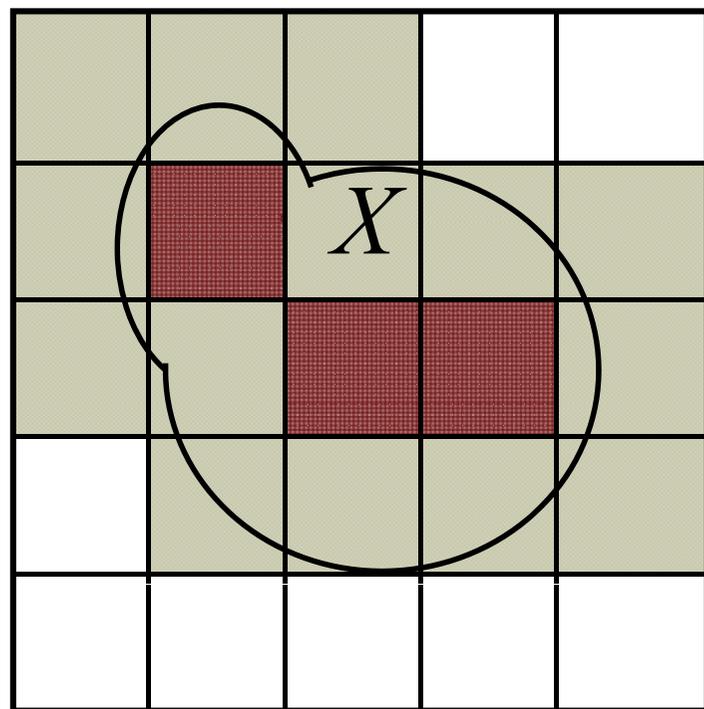
- ファジィ数理計画法(ファジィ最適化)
- 証拠理論
- ラフ集合理論
- ファジィ理論を取り巻くパラダイム

ラフ集合理論～質を落とさず簡潔に

□ アインシュタインの格言

“Everything should be made as simple as possible, but not simpler.”
(物事はできる限り簡潔にすべきであるが、必要以上に簡潔にしてはならない)

□ ラフ集合



集合 X
をブロックで近似

- X の下近似
 - + ■ X の上近似
 - X の境界領域
- } X のラフ集合

ラフ集合理論～質を落とさず簡潔に

□ 情報の解析

問診で得られる

医師の
診断

| 患者 | 頭痛 | 鼻水 | 体温 | 筋肉痛 | 流感 |
|----|----|----|-------|-----|----|
| p1 | 無 | 無 | 非常に高い | 有 | ○ |
| p2 | 無 | 有 | 高い | 有 | ○ |
| p3 | 有 | 無 | 高い | 無 | × |
| p4 | 有 | 有 | 高い | 無 | ○ |
| p5 | 無 | 無 | 非常に高い | 有 | × |
| p6 | 有 | 無 | 通常 | 無 | × |

ブロックの作り方

- 問診で得られる
内容で分類

{p1,p5}, {p2},
{p3}, {p4}, {p6}

Xの作り方

- 流感の人

$X = \{p1, p2, p4\}$

Xの下近似 {p2,p4} ← 診断に矛盾無く流感である人

Xの上近似 {p1,p2,p4,p5} ← 流感であるかもしれない人

ラフ集合理論～質を落とさず簡潔に

□ 情報の解析

問診で得られる

医師の
診断

| 患者 | 頭痛 | 鼻水 | 体温 | 筋肉痛 | 流感 |
|----|----|----|-------|-----|----|
| p1 | 無 | 無 | 非常に高い | 有 | ○ |
| p2 | 無 | 有 | 高い | 有 | ○ |
| p3 | 有 | 無 | 高い | 無 | × |
| p4 | 有 | 有 | 高い | 無 | ○ |
| p5 | 無 | 無 | 非常に高い | 有 | × |
| p6 | 有 | 無 | 通常 | 無 | × |

ブロックの作り方

- 問診で得られる内容で分類
 $\{p1, p5\}$, $\{p2\}$,
 $\{p3\}$, $\{p4\}$, $\{p6\}$

Xの作り方

- 流感の人
 $X = \{p1, p2, p4\}$
- 流感でない人
 $X' = \{p3, p5, p6\}$

X' の下近似 $\{p3, p6\}$ ← 診断に矛盾無く流感でない人

X' の上近似 $\{p1, p3, p5, p6\}$ ← 流感でないかもしれない人

ラフ集合理論～質を落とさず簡潔に

□ 情報の解析

| 患者 | 頭痛 | 鼻水 | 体温 | 筋肉痛 | 流感 |
|---------------|----|----|-------|-----|--------------|
| p1 | 無 | 無 | 非常に高い | 有 | ○ |
| p2 | 無 | 有 | 高い | 有 | ○ |
| p3 | 有 | 無 | 高い | 無 | × |
| p4 | 有 | 有 | 高い | 無 | ○ |
| p5 | 無 | 無 | 非常に高い | 有 | × |
| p6 | 有 | 無 | 通常 | 無 | × |

診断に矛盾無く
流感である人

{p2,p4}

診断に矛盾無く
流感でない人

{p3,p6}

矛盾が無い診断
を保持しつつ、問
診項目を減らす

← 必要な問診

項目を知る

← 項目の重要度

{頭痛, 鼻水}

ラフ集合理論～質を落とさず簡潔に

□ 情報の解析

| 患者 | 頭痛 | 鼻水 | 体温 | 筋肉痛 | 流感 |
|---------------|--------------|--------------|------------------|--------------|--------------|
| p1 | 無 | 無 | 非常に高い | 有 | ○ |
| p2 | 無 | 有 | 高い | 有 | ○ |
| p3 | 有 | 無 | 高い | 無 | × |
| p4 | 有 | 有 | 高い | 無 | ○ |
| p5 | 無 | 無 | 非常に高い | 有 | × |
| p6 | 有 | 無 | 通常 | 無 | × |

診断に矛盾無く
流感である人

{p2,p4}

診断に矛盾無く
流感でない人

{p3,p6}

矛盾が無い診断
を保持しつつ、問
診項目を減らす

← 必要な問診

項目を知る

← 項目の重要度

{頭痛, 鼻水}, {鼻水, 体温}

ラフ集合理論～質を落とさず簡潔に

□ 情報の解析

| 患者 | 頭痛 | 鼻水 | 体温 | 筋肉痛 | 流感 |
|---------------|--------------|--------------|------------------|--------------|--------------|
| p1 | 無 | 無 | 非常に高い | 有 | ○ |
| p2 | 無 | 有 | 高い | 有 | ○ |
| p3 | 有 | 無 | 高い | 無 | × |
| p4 | 有 | 有 | 高い | 無 | ○ |
| p5 | 無 | 無 | 非常に高い | 有 | × |
| p6 | 有 | 無 | 通常 | 無 | × |

診断に矛盾無く
流感である人

{p2,p4}

診断に矛盾無く
流感でない人

{p3,p6}

矛盾が無い診断
を保持しつつ、問
診項目を減らす

← 必要な問診

項目を知る

← 項目の重要度

{頭痛, 鼻水}, {鼻水, 体温}, {鼻水, 筋肉痛}

鼻水はいずれにも存在 → 重要な項目

ラフ集合理論～質を落とさず簡潔に

□ 情報の解析 簡潔なルールを抽出

| 患者 | 頭痛 | 鼻水 | 体温 | 筋肉痛 | 流感 |
|---------------|--------------|--------------|------------------|--------------|--------------|
| p1 | 無 | 無 | 非常に高い | 有 | ○ |
| p2 | 無 | 有 | 通常 | 有 | ○ |
| p3 | 有 | 無 | 通常 | 有 | ○ |
| p4 | 有 | 有 | 通常 | 有 | ○ |
| p5 | 無 | 無 | 通常 | 有 | ○ |
| p6 | 有 | 無 | 通常 | 有 | ○ |

鼻水 = 有 ⇒ 流感 = ○

頭痛 = 無, 体温 = 高い ⇒ 流感 = ○

体温 = 高い, 筋肉痛 = 有 ⇒ 流感 = ○

頭痛 = 有, 鼻水 = 無 ⇒ 流感 = ×

鼻水 = 無, 体温 = 高い ⇒ 流感 = ×

鼻水 = 無, 筋肉痛 = 無 ⇒ 流感 = ×

体温 = 通常 ⇒ 流感 = ×

ファジィ理論に関連する理論と方法

- ファジィ数理計画法(ファジィ最適化)
- 証拠理論
- ラフ集合理論
- ファジィ理論を取り巻くパラダイム

ファジィ理論を取り巻くパラダイム

□ ソフトコンピューティング

- 正確な測定, 緻密なモデル化, 厳密な計算は**コスト高**!
大まかな測定, モデル化, 計算で使えるものを!
- ニューロ, メタヒューリスティック, 確率推論を含む

□ Perception-Based Computing (認知に基づく計算)

- 正確な測定に基づく計算(Measurement-Based Computing)でなく, 認知に基づいた計算 → 人間に近づける

□ Computing with Words (言葉による計算)

□ Granular Computing (粒に基づく計算)

- 説明は, 次のページで.

ファジィ理論を取り巻くパラダイム

□ Granular Computing (粒に基づく計算)

- 人間の認知や言葉による表現



虹の色 7色 赤橙黄緑青藍紫

色は連続的に変化, でも7色

→ 大まかに分類

連続量をいくつかの粒に

||
(granule)

人間の認知や言葉による計算 ← Granular Computing

因みに虹の色数 ← 国・文化により異なる (2色～7色)

<http://enkan.fc2web.com/zatu/18.html>

あいまいさの効用

- ルールの条件のあいまいさ:
 - 内挿によるルール数の削減
- 制約の弾力性の利用 → 気の利いた解
- パラメータの不明確さ
 - 解の頑健性(安全な解)・可能性
- 無知のモデル化 → うそをつかない. 錯覚しない
- 識別不能性の利用
 - 質問の簡単化・知識の整理
- 言葉や認知に基づく計算(4つのパラダイム)
 - コンピュータを人間に近づけたい

A scenic view of a river with a bridge and a domed building in the background, overlaid with large 3D Chinese characters '亮'. The scene is captured in a low-angle, perspective view, looking down the river towards a bridge. Two silhouetted figures are standing on the bridge, looking towards the camera. In the background, a large, ornate building with a prominent dome is visible, likely a cathedral or a significant historical structure. The river's surface is dark and reflects the surrounding trees and the bridge. The overall atmosphere is serene and somewhat somber due to the silhouettes and the dark water. The large, 3D Chinese characters '亮' (liàng) are superimposed over the center of the image, rendered in a vibrant yellow-to-orange gradient with a strong 3D effect, making them stand out prominently against the darker background.

亮