



信念変更・ラフ集合・情報検索の対応関係に関する 一考察

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 日本知能情報ファジィ学会 公開日: 2013-08-22 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 工藤, 康生, 村井, 哲也 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/2206

信念変更・ラフ集合・情報検索の対応関係に関する一考察

著者	工藤 康生, 村井 哲也
雑誌名	ファジィシステムシンポジウム講演論文集
巻	22
ページ	789-792
発行年	2006-09
URL	http://hdl.handle.net/10258/2206

信念変更・ラフ集合・情報検索の対応関係に関する一考察

A Note on Correspondence Among Belief Change, Rough Sets and Information Retrieval

工藤 康生

Yasuo KUDO

室蘭工業大学

Muroran Institute of Technology

村井 哲也

Tetsuya MURAI

北海道大学

Hokkaido University

Abstract: In this paper, we consider correspondence relationship among belief change, rough sets and information retrieval. First, to consider common parts of these three frameworks, we introduce a situation of information retrieval that a user searches information in a given information table by queries until getting necessary information. We discuss that this situation illustrates correspondence as frameworks among belief change, rough sets and information retrieval. Moreover, we also discuss that operations in these frameworks, that is, operations of information retrieval, operations of belief change, and control of the degree of granularity, correspond each other. This indicates the existence of “cycles” among these operations.

1 はじめに

本論文では、ラフ集合 [9] における情報表に対する検索の観点から、信念変更 [1] およびラフ集合、情報検索の 3 種類の枠組みに関して以下の部分に着目し、これらの対応関係について考察する:

- 信念変更: 情報の獲得・喪失に基づく、既存の情報の合理的な変更.
- ラフ集合: 背景知識に基づく概念の近似、および粒度調整に基づく近似の「粗さ」の変更.
- 情報検索: 検索 (の繰り返し) による、データベースなどからの必要な情報の獲得.

更に、これら 3 種類の枠組みにおける操作間の対応関係について述べ、ある枠組みでの操作が、別の枠組みにおける対応する操作を引き起こす「操作のサイクル」について論じる.

2 信念変更

信念変更 (belief change) は、新情報の獲得あるいは既知の情報の喪失に基づいて、既存の情報をいかに合理的に書き換えるか、という問題を扱う [1]. 本論文では、既存の情報 (信念) を有限個の論理文の集合 (信念ベース (belief base) と呼ばれる)、個々の情報を論理文で表す. 信念ベースに対する変更操作の「合理性」は、現在の信念ベースの書き換えおよび信念ベースのモデルの変更をできるだけ少なくする極小変更の考え方に基いて評価される. 信念ベースの合理的な変更操作として、新情報を信念ベースに単に追加する拡大 (expansion) および現在の信念ベースと矛盾する可能性のある新情報を信念

ベースに受け入れる修正 (revision)、既知の情報を信念ベースから取り除く縮小 (contraction) 等の操作が提案され、その性質は公準として特徴付けられている ([2, 3] 参照).

Katsuno and Mendelzon は、信念ベースに対する信念変更の意味論的特徴付けを提案している [3]. 信念ベース KB を、新情報を表す論理文 p によって修正して得られる新たな信念ベースを $KB * p$ と表す. $KB * p$ のモデルは次式で定義される:

$$\|KB * p\| \stackrel{\text{def}}{=} \min(\|p\|, \leq_{KB}), \quad (1)$$

ここで、 $\|p\|$ は論理文 p のモデル (p の真理値が真となる可能世界) の集合である. また、 $\leq_{KB}$ は可能世界の集合上で定義された全擬順序 (total preorder) で、以下の性質を満たす:

1. $w, w' \in \|KB\|$ ならば、 $w \not<_{KB} w'$.
2. $w \in \|KB\|$, $w' \notin \|KB\|$ ならば、 $w <_{KB} w'$.
3. $KB \equiv KB'$ ならば、 $\leq_{KB} = \leq_{KB'}$.

全擬順序 $\leq_{KB}$ は、信念ベース KB のモデルの集合 $\|KB\|$ への相対的な「近さ」を表しており、 $w <_{KB} w'$ は「 w は w' より $\|KB\|$ に近い」ことを意味する. よって、式 (1) で定義された修正の操作では、新情報 p のモデルの集合 $\|p\|$ において、信念ベースのモデルの集合に $\|KB\|$ 「最も近い」可能世界を修正後の信念ベース $KB * p$ のモデルとすることを表している. 式 (1) で定義された修正の操作は、信念ベースに対する修正の公準をすべて満たすことが示されている [3]. 同様に、 KB を論理文 p に関して縮小した結果の信念ベース ($KB - p$ と表す) のモデルは次式で定義される:

$$\|KB - p\| \stackrel{\text{def}}{=} \|KB\| \cup \min(\|p\|^c, \leq_{KB}), \quad (2)$$

ここで、 $\|p\|^c$ は $\|p\|$ の補集合を表す。縮小の操作は意味論的に、 KB から p が論理的に導かれなくなる様に、モデルの集合を「極小変化」させる操作として特徴付けられる。

3 ラフ集合

3.1 上近似・下近似とラフ集合

議論の対象となる全体集合を U 、 U 上の同値関係を R とする。Pawlak[9] によると、 U の任意の部分集合 X は U における何らかの概念を表し、そのような概念の集まりが U の分割を与えるとき、その集まりは U に関する知識を表すと見なされる。 U の R による同値類 $[x]_R$ は、同値関係 R の下で互いに区別できない対象の集合を表す。 $X \subseteq U$ に対して、 R による X の下近似 $\underline{R}(X)$ および上近似 $\overline{R}(X)$ をそれぞれ以下のように定義する：

$$\underline{R}(X) = \{x \in U \mid [x]_R \subseteq X\}, \quad (3)$$

$$\overline{R}(X) = \{x \in U \mid [x]_R \cap X \neq \emptyset\}. \quad (4)$$

対 $(\underline{R}(X), \overline{R}(X))$ を X のラフ集合と呼ぶ。 X のラフ集合は、集合の包含関係の意味で、 X の上下方向からの近似を表す。

3.2 情報表と識別不能関係

対象に関するデータは、複数の属性とその値からなる情報表として表現されることがある。情報表は 2 項組 $\langle U, A \rangle$ として定義される。 U は情報表に現れる対象の全体集合、 A は属性の集合であり、各属性 $a \in A$ は対象 $x \in U$ に属性値 $a(x)$ を割り当てる関数 $a : U \rightarrow V_a$ である。ここで、 V_a は属性 a の値の集合である。

属性の任意の空でない部分集合 $B \subseteq A$ に対して、 U 上の関係 R_B を以下のように構成する：

$$xR_By \stackrel{\text{def}}{\iff} a(x) = a(y), \forall a \in B. \quad (5)$$

関係 R_B は識別不能関係と呼ばれる。 R_B は同値関係となるため、上述の方法と同様に、情報表に現れる対象による任意の概念 $X \subseteq U$ に対して、上近似および下近似、ラフ集合を考えることができる。

3.3 粒度の調整

本節では、Murai et al. [6, 7, 8] が提案した粒状推論に基づく粒度 (degree of granularity) の調整について概説する。

粒状推論は、推論過程の各ステップでは有限個の原子文のみ用いることに着目し、必要に応じて複数の可能世界を一つにまとめる (粒状化する) ことで推論を進める。推論に必要な原子文の集合を焦点要素と呼び、現在のス

テップと次のステップでの焦点要素の関係に応じて、粒度の調整を行う。

ラフ集合の枠組みにおいて、可能世界の粒状化は同値類の構成に対応する。また、焦点要素は式 (5) で識別不能関係を定義する際に用いる属性の部分集合に対応する。 $B \subseteq A$ を現在の焦点要素、 $C \subseteq A$ を次のステップでの焦点要素とする。粒度の調整は以下の 3 通りに分けられる：

1. $B \supseteq C$ の場合は、同値類を「粗くする」操作 (粒状化) が必要である。これを以下の写像：

$$O_C^B : U/R_B \rightarrow U/R_C, \quad (6)$$

$$O_C^B([x]_{R_B}) \stackrel{\text{def}}{=} \{y \in U \mid xR_Cy\} \quad (7)$$

で表現し、 B から C へのズーム・アウトと呼ぶ。

2. $B \subseteq C$ の場合は、同値類を「細かくする」操作 (粒状化の逆演算) が必要である。これを以下の写像：

$$I_C^B : U/R_B \rightarrow 2^{U/R_C}, \quad (8)$$

$$I_C^B([x]_{R_B}) \stackrel{\text{def}}{=} \{[y]_{R_C} \mid \exists z \in [x]_{R_B}, zR_Cy\} \quad (9)$$

で表現し、 B から C へのズーム・インと呼ぶ。

3. B と C が入れ子でない場合は、ズーム・インとズーム・アウトを組み合わせることで対応する：

1. すべての $[x]_{R_B} \in U/R_B$ に対して、 B から $B \cup C$ へのズーム・イン $I_{B \cup C}^B([x]_{R_B})$ を求める。
2. すべての $[y]_{R_{B \cup C}} \in \bigcup_{[x]_{R_B} \in U/R_B} I_{B \cup C}^B([x]_{R_B})$ に対して、 $B \cup C$ から C へのズーム・アウト $O_C^{B \cup C}([y]_{R_{B \cup C}}) \in U/R_C$ を求める。

4 信念変更・ラフ集合・情報検索の対応関係

本節では、情報表に対する検索の観点から、信念変更およびラフ集合、情報検索の関連性について考察する。

4.1 問題設定

情報表 $\langle U, A \rangle$ として表されたデータベースから、ユーザがデータを検索する状況を考える。ユーザにとって必要なデータは情報表の中に少なくとも 1 つ含まれると仮定し、すべての必要なデータの集合を u^* ($u^* \subseteq U, u^* \neq \emptyset$) とする (実際には、ユーザがデータの全体集合 U について知らない限り、 u^* を具体的に求めることはできないことに注意)。更に、ユーザは各データに対して、必要か不要かを判別できると仮定する。

ユーザは情報を検索する際に、属性とその値の組 ([属性=値]) で表される条件の連言を検索条件 Q として用いる：

$$Q : [a_1 = v_1] \wedge \cdots \wedge [a_m = v_m], \quad (10)$$

ここで、 $a_i, \dots, a_m \in A, v_i \in V_{a_i}$ である。 Q に現れる属性の集合 $A(Q) \stackrel{\text{def}}{=} \{a_1, \dots, a_m\}$ から U 上の同値関係 R_{Q_A} を構成し、商集合 U/R_{Q_A} を得る。本論文では、この商集合と検索条件に現れる属性の集合の対

$$\langle U/R_{Q_A}, A(Q) \rangle \quad (11)$$

を、関係 $R_{A(Q)}$ に基づいて粒状化された情報表と呼ぶ。粒状化された情報表を構成する同値類 $[x]_{R_{A(Q)}} \in U/R_{A(Q)}$ には、各属性 $a_i \in A(Q)$ における値の取り方が唯一該当する。特に、検索条件 Q に該当するデータの集合を u_Q と表す。 $u_Q \neq \emptyset$ である場合は、 u_Q はいずれかの同値類と一致する。

以上を踏まえ、情報表に対する検索の観点から、信念変更およびラフ集合、情報検索の関連性について考察する枠組みとして、以下の問題を設定する。

問題 与えられた情報表 $\langle U, A \rangle$ および必要なデータの集合 u^* から、条件 $u_Q \subseteq u^*, u_Q \neq \emptyset$ を満たす検索条件 Q および粒状化された情報表 $\langle U/R_{A(Q)}, A(Q) \rangle$ 、検索結果 $u_Q \in U/R_{A(Q)}$ を求めよ。

4.2 枠組みとしての対応関係

前節で設定した問題に基づいて、信念変更およびラフ集合、情報検索における、枠組みとしての相互の対応関係について考察する。

信念変更と情報検索 信念変更の枠組みでは、前節の問題における必要なデータの集合 u^* および検索条件 Q 、検索結果 u_Q はそれぞれ以下の概念に対応する：

- u^* はユーザにとって必要なすべてのデータの集合であることから、 $u^* \neq U'$ となる部分集合 $U' \subseteq U$ には、必要なデータが含まれないか、あるいは不要なデータを含むという「ズレ」が生じる。このズレを「実際の状況からのズレ」として（無理やり）解釈すると、 $u^* \in U/R$ となる適切な粒度の下で商集合 U/R の各要素を可能世界と見なすことで、 u^* は「実際の状況と一致する唯一の可能世界」（現実世界と呼ぶ）と見なすことができる。
- 検索条件 Q は、正確とは限らないものの、 u^* に関する（現時点での）情報の記述と見なすことができる。このことから、 Q は「現実世界」 u^* に関する（現時点での）信念ベース KB に対応する。
- 検索結果 u_Q は検索条件 Q に該当するデータの集合であることから、（現時点での）信念ベース KB のモデルの集合 $\|KB\|$ に対応する。

ラフ集合と情報検索 ラフ集合の枠組みでは、前節の問題における必要なデータの集合 u^* および検索条件 Q 、検索結果 u_Q はそれぞれ以下の概念に対応する：

表 1: 枠組みの対応関係

信念変更	ラフ集合	情報検索
(現実世界)	(近似の対象)	(必要なデータの集合 u^*)
信念ベース KB	(背景知識)	検索条件 Q
モデル集合 $\ KB\ $	同値類 $[u]_{R_{A(Q)}}$	検索結果 u_Q

- 一般的に、 u^* を明示することはできないものの、問題の仮定「データが必要か不要かを判別可能」より、任意のデータ $x \in U$ について、ユーザは条件 $[x]_R \subseteq u^*$ (あるいは $[x]_R \cap u^* \neq \emptyset$) を満たすかどうかを判別可能である。よって、 u^* はラフ集合による近似の対象となる。
- 検索条件 Q は属性集合 $A(Q)$ を介して、同値関係 $R_{A(Q)}$ および分割 $U/R_{A(Q)}$ を与えている。3.1 節で述べたように、 U の分割は U に関する知識を与えると見なされることから、 Q は U に関する背景知識を表していると思なすことができる。
- $u_Q \neq \emptyset$ である場合は、 u_Q は $R_{A(Q)}$ によるある同値類 $[u]_{R_{A(Q)}}$ と一致する。更に、問題の条件 $u_Q \subseteq u^*$ を満たす場合は、 $[u]_{R_{A(Q)}}$ は u^* の下近似（の一部）を構成する。

以上の考察を踏まえ、信念変更およびラフ集合、情報検索における、枠組みとしての対応関係を表 1 に示す。カッコで括られた項目は、その枠組みで明示的には用いられない項目を表す。

4.3 操作としての対応関係

4.1 節での問題設定において、条件 $u_Q \subseteq u^*$ は「ユーザが検索結果として出力されたすべてのデータを必要と判断する」ことに対応する。よって、ユーザはそのような望ましい検索結果が得られるまで、情報表に対する検索を繰り返すこととなる。本節では、情報表に対する検索（の繰り返し）操作に関して、信念変更およびラフ集合における操作との対応関係について考察する。

信念変更と情報検索 信念変更における拡大および縮小、修正の操作は、情報検索における以下の操作にそれぞれ対応する：

- 前節での考察を踏まえると、信念ベースの拡大は、現時点での検索条件 Q に条件 q を追加した上で、改めて $Q \wedge q$ で検索し、検索結果 $u_{Q \wedge q}$ が得られたことに相当する。これは、情報検索における絞込み検索が成功した場合に対応する。

表 2: 操作の対応関係

信念変更	ラフ集合	情報検索
拡大	ズーム・イン	絞込み検索
縮小	ズーム・アウト	検索条件の緩和
修正	ズーム・イン & アウト	絞込み検索 & 条件の緩和

- 信念ベースの縮小は、 Q から一部の条件 q を取り除いた $Q - q$ で検索を行い、検索結果 u_{Q-q} が得られたことに相当する。これは検索条件を緩和することに対応する。
- 信念ベースの修正は、元の検索条件 Q と新条件 q が両立しない (すなわち、 $Q \wedge q$ に該当するデータが存在しない) ため、 Q を緩和し、その結果として検索結果 u_{Q*q} が得られたことに相当する。これは、絞込み検索の失敗を受けて、元の検索条件 Q を緩和することに対応する。

これらの対応から、絞込み検索などによる検索条件の変更が信念変更を引き起こし、その結果として新たな検索結果の獲得をもたらすことが示唆される。

ラフ集合と情報検索 信念変更の操作を仲介することで、ラフ集合における粒度調整の操作は以下のように情報検索の操作と対応する:

- Q の属性集合 $A(Q)$ および $Q \wedge q$ の属性集合 $A(Q \wedge q)$ に対して、 $A(Q) \subseteq A(Q \wedge q)$ が成立する。よって、信念変更と情報検索の対応を踏まえると、ズーム・インは絞込み検索に対応する。
- 一般的に $A(Q) \supseteq A(Q - q)$ が成立することから、ズーム・アウトは検索条件の緩和に相当する。
- 一般的に、 $A(Q)$ と $A(Q * q)$ とは入れ子にならないため、ズーム・イン & アウトは絞込み検索の失敗 & 検索条件の緩和に相当する。

これらの対応から、信念変更の操作および新たな検索結果の獲得が粒度調整を引き起こし、新たな「粒状化された情報表」の獲得をもたらすことが示唆される。

以上の考察を踏まえ、信念変更およびラフ集合、情報検索における、操作の対応関係を表 2 に示す。

5 まとめ

本論文では、情報表に対する検索という問題設定の下で、信念変更およびラフ集合、情報検索の相互の対応関係について論じた。その結果、これら 3 種類の枠組みおよび各枠組みにおける操作の手法の間に大まかな対応関

係があることが示唆された。また、「必要なデータが得られるまで検索を繰り返す」一連の過程の中に、以下のサイクルが存在することが示唆された:

検索要求 (絞込み、条件の緩和など) → 前のステップでの検索条件に対する信念変更 → 新たな検索結果の獲得 → 粒度調整による、新たな「粒状化された情報表」の獲得 → (必要があれば) 次ステップでの情報検索

本論文で指摘した対応関係において、拡大とズーム・インおよび縮小とズーム・アウトの対応関係は、著者らによる、ホーン節論理プログラムにおける信念変更と粒状推論との対応関係とも一致する [4, 5]。

本論文では、信念変更およびラフ集合、情報検索の間の対応関係について、基本的な考え方についてのみ述べた。対応関係の詳細および精緻化、理論的定式化などについては今後の課題とする。

参考文献

- [1] Gärdenfors, P.: *Knowledge in Flux*, MIT Press, 1988.
- [2] Gärdenfors, P. and Rott, H.: Belief Revision, *Handbook of Logic in Artificial Intelligence and Logic Programming*, Gabbay, D. M., Hogger, C. J. and Robinson, J. A. (eds.), pp.35–132, Clarendon Press, 1995.
- [3] Katsuno, H. and Mendelzon, A. O.: Propositional Knowledge Base Revision and Minimal Change, *Artificial Intelligence*, Vol. 52, pp.263–294, 1991.
- [4] Kudo, Y. and Murai, T.: Belief Base Revision of Horn Logic Programs Based on State Transition Diagrams, *Proc. of The 8th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics*, Vol. 5, pp.69–74, 2004.
- [5] 工藤 康生, 村井 哲也: 粒状推論に基づく信念変更に関する一考察, 第 3 回ラフ集合と感性工学ワークショップ講演論文集, pp. 25–28, 2004.
- [6] Murai, T., Nakata, M. and Sato, Y.: A Note on Filtration and Granular Reasoning, *New Frontiers in Artificial Intelligence*, Terano, T. et al. (eds), LNAI 2253, pp. 385–389, Springer, 2001.
- [7] Murai T., Resconi, G., Nakata, M. and Sato, Y.: Granular Reasoning Using Zooming In & Out: Part 2. Aristotle's Categorical Syllogism. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, Vol.82, Issue 4, 2003.
- [8] Murai T., Resconi, G., Nakata, M. and Sato, Y.: Granular Reasoning Using Zooming In & Out: Part 1. Propositional Reasoning. *Rough sets, Fuzzy sets, Data mining, and Granular Computing*, Wang, G., Liu, Q., Yao, Y. and Skowron, A. (eds.), LNAI 2639, Springer, pp.421–424, 2003.
- [9] Pawlak, Z.: *Rough Sets: Theoretical Aspects of Reasoning about Data*, Kluwer, Dordrecht, 1991.

連絡先

工藤 康生

〒 050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1

室蘭工業大学工学部情報工学科

Tel: 0143-46-5469, Fax: 0143-46-5499

Email: kudo@csse.muroran-it.ac.jp