

## 事例ベース意思決定理論に基づくゴール分解の数理モデル構築構想

佐藤慎一<sup>1</sup>  
青山学院大学<sup>2</sup>

## 1 はじめに

情報システム開発の最上流工程である要求分析は、主に**要求獲得**と**要求仕様記述**という2つの段階からなり、前者を行った後に後者が行われる。要求獲得とは、情報システムの開発者が、顧客のニーズをこれから開発する情報システムが満たすべき要求として獲得する作業である。要求仕様記述とは、獲得された要求をもとに要求仕様書を作成する作業である。

要求仕様記述に関しては、**形式手法**による形式的な仕様記述およびその検証が可能になりつつある。一方、要求獲得を形式的に行うための手法は未だ確立されていない。そのため、現状、ソフトウェア工学の一分野である要求工学において、形式的な要求獲得手法として**ゴール指向要求分析 (Goal-Oriented Requirements Analysis: GORA)**の研究が精力的に進められている [佐藤 13]。

ゴール指向要求分析による要求獲得は、**ゴール分解**と**ゴール選択**という2つの段階からなり、前者を行った後に後者を行う (図 1)。本稿では、この内、前者のゴール分解に焦点を当て、**事例ベース意思決定理論** [Gilboa 01] に基づいた、新たな形式的ゴール分解手法の構築構想について述べる。

## 2 事例ベース意思決定理論

**事例ベース意思決定理論 (Case-Based Decision Theory: CBDT)** [Gilboa 01] は、「過去の経験からの類推に基づいて現時点での行動を決める」という考え方の数理モデルである。CBDT では、(問題, 行為, 帰結) の3つ組を事例として記憶に保存して蓄積していき、新たな問題に対して意思決定を行う際には、「記憶の中の事例において、各行為がどのくらいの効用を持つ帰結をもたらしたか」を判断基準として現在の問題の解決のために最も適した過去の行為を決定する。

CBDT は、意思決定**問題**の集合  $P$ 、現在の問題において取り得る**行為**の集合を  $A$ 、あり得る**帰結**の集合  $R$  の直積によ

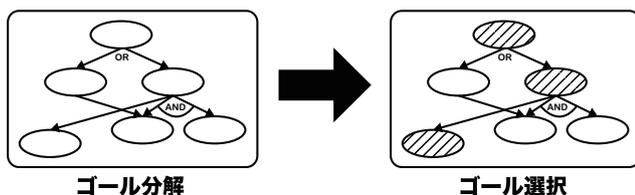


図 1: 要求獲得の流れ

A Conception to develop a Mathematical Model of Goal Decomposition Based on Case-Based Decision Theory

<sup>1</sup>Shin'ichi Sato

<sup>2</sup>Aoyama Gakuin University

<sup>3</sup>Email: sato@ise.aoyama.ac.jp

て、考え得る**事例**の集合  $C$  が定義され ( $C := P \times A \times R$ )、個々の事例  $c = (p, a, r)$  ( $p \in P, a \in A, r \in R$ ) を蓄積していき、**記憶**  $M \subset C$  を大きくしていく。そして、類似度関数  $s: P \times P \rightarrow [0, 1]$  によって得られる値  $s(p, q)$  によって、問題  $p$  と  $q$  の間の類似度が定量的に評価される。最後に、この類似度と帰結に対する効用関数  $u: R \rightarrow \mathbb{R}$  の積の記憶の中のすべての事例における総和 ( $U(a) := \sum_{(p,a,r) \in M} s(p, q)u(r)$ ) として各行為  $a$  を順序づけ、 $U(a)$  が最大となる行為を選択する。以上が CBDT の基本型である。

## 3 提案手法

CBDT の想定する意思決定主体は、完全に無知の状態から出発し、経験を積み重ねて記憶を拡大することで世界観を構築していく。ここで、意思決定主体をゴールに置換してみると、ゴール分解によってゴールグラフが作成されていく過程は、CBDT において意思決定主体が記憶を拡大し世界観を構築していく過程のアナロジーとして捉えることができる。

そこで本研究では、次の通りゴール分解を行う数理モデルを提案する。対象とするゴールグラフにおける**親ゴール**を  $P$  (Parent goals)、現在着目しているゴールを分解する際の**観点**の集合を  $V$  (Viewpoint)、分解された**子ゴール**の集合 (あり得るゴール分解結果) を  $C$  (Child goals) とし、これらの直積によって考え得る**ゴール分解事例**の集合  $R$  (Refinements) が定義され ( $R := P \times V \times C$ )、個々のゴール分解事例  $r = (p, v, c)$  ( $p \in P, v \in V, c \in C$ ) を蓄積していき、**データベース**  $D \subset R$  を大きくしていく。そして、類似度関数  $s: P \times P \rightarrow [0, 1]$  によって得られる値  $s(p, q)$  によって、現在分解しようとしている親ゴール  $p^c$  と既存の親ゴール  $p^e$  の間の類似度が定量的に評価される。最後にこの類似度と、子ゴールに対する効用関数  $u: C \rightarrow \mathbb{R}$  の積のゴールグラフ中のすべてのゴール分解事例における総和 ( $U(v) := \sum_{(p^e, v, c) \in R} s(p^e, p^c)u(c)$ ) として各観点  $v$  を順序づけ、 $U(v)$  が最大となる観点を選択する。

## 4 評価

ゴール分解しようとして着目している親ゴールが  $p^c$  であるとする。一方、データベース内には、わずか3つのゴール分解事例  $r_1 = (p_1^e, v_1, c_1)$ ,  $r_2 = (p_1^e, v_1, c_2)$ ,  $r_3 = (p_2^e, v_2, c_3)$  のみが保存されている状況を考える (図 2)。 $r_1$  と  $r_2$  は親ゴールが同じ ( $p_1^e$ ) であり、かつ、観点も同じ ( $v_1$ ) であるが、子ゴールはそれぞれ異なっている。一方、 $r_1$  と  $r_3$  は、親ゴール、観点、子ゴールのすべてが異なっている。何らかの類似度関数によって、 $p^c$  とデータベースに格納されている各事例の親ゴールの間の類似度が、 $s(p_1^e, p^c) = 0.5$ ,  $s(p_2^e, p^c) = 0.8$  と求まったとする。一方、何らかの効用関数によって、データベースに格納されている各事例の子ゴールの効用が  $u(c_1) = 0.9$ ,  $u(c_2) = 0.5$ ,

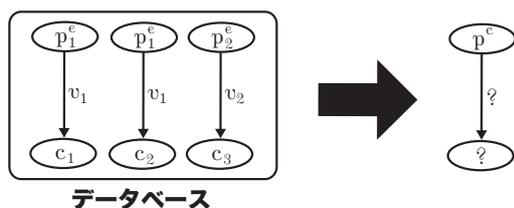


図2: 提案手法によるゴール分解の一例

$u(c_3) = 0.3$  と求めたとする。これらの類似度と効用から、データベースに格納されている各事例の観点の効用は、

$$\begin{aligned} U(v_1) &= \sum_{(p^e, v_1, c) \in D} s(p^e, p^c)u(c) \\ &= s(p_1^e, p^c)u(c_1) + s(p_1^e, p^c)u(c_2) \\ &= 0.5 \cdot 0.9 + 0.5 \cdot 0.5 \\ &= 0.7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U(v_2) &= \sum_{(p^e, v_2, c) \in D} s(p^e, p^c)u(c) \\ &= s(p_2^e, p^c)u(c_3) \\ &= 0.8 \cdot 0.3 \\ &= 0.24 \end{aligned}$$

と求まり、データベース内のすべての事例の観点の効用の内、 $U(v_1)$  が最大値をとることから、 $p^c$  をゴール分解する上で最適な観点は  $v_1$  と求まる。

## 5 関連研究

CBDT は、Simon により提唱された満足化理論 [Simon 57] を数理モデル化したものと解釈される。不確実性下の意思決定において、人間は、最適化を図るのではなく、満足化を図る。すなわち、人間は、しばしば最善の選択肢を追い求めるのではなく、自身の過去の経験と照らして、現状の要求水準を満たす程度の選択肢を選ぶに留まる。

一方、GORA では、ゴール分解においてソフトゴールを作成することが許される [REBOK 11]。ソフトゴールとは、達成の真偽が定性的にしか評価できないゴールである。換言すれば、ソフトゴールの達成度合いはファジィ論理で評価する必要がある。提案手法では、過去の観点の中から最適な観点を選択する。しかし、過去のどの観点も現在のゴール分解には好ましくない場合もあり得る。過去の観点の中から満足な観点を選ぶのか、それとも新たに満足に足る観点を考案するのかを決めるための判定基準として、提案手法の効用関数  $u(c)$  の設計に、ファジィ論理に基づくソフトゴールの達成度合いを導入することが考えられる。

ところで、CBDT は、人工知能分野において研究されている事例ベース推論 (Case-Based Reasoning) [Riesbeck 89] から部分的に影響を受けているものの、両者の間の共通項はあまりないとされている [Gilboa 01]。ただし、データベースに格納されている事例の検索・表現・評価・修正などの諸手法について、参考にするべき点は多いものと考えられる。特に、将来的に、提案手法をプログラムに実装する段階では、事例ベース推論の諸手法は大いに役立つだろう。

また、本稿で提案した数理モデルは、未だ実験的な域を出ておらず、数理モデル自体に改善の余地が残されている。例えば、本稿で提案した数理モデルは、現在ゴール分解しようとしている親ゴール  $p^c$  と、データベースに格納されている親ゴール  $p^e$  の間の類似度を評価している。しかし、 $p^c$  に対する観点の候補があらかじめ決まっており、必ず候補の中から観点を選択しなければならない場合もあり得る。この場合、親ゴール同士の類似度ではなく、親ゴールと観点の対 (親ゴール, 観点) の類似度を評価すべきであろう。この場合の数理モデルは、Matsui [Matsui 00] によって提案されている。

## 6 おわりに

本稿では、事例ベース意思決定理論に基づくゴール分解の数理モデルの構築構想について述べた。現状、要求獲得は熟練 SE の暗黙知に依存するところが大きく、BABOK [IIBA 09] や REBOK [REBOK 11] などの知識体系が現場で徐々に浸透してきているものの、現場のノウハウを形式知化して次代の若手 SE へ継承する具体的な方策の登場はこれからという状況にある。次代の要求獲得手法であるゴール指向要求分析を用いた要求獲得では、ゴール分解が最初の段階である。したがって、ゴール分解の成果物であるゴールグラフの質が低いと、後段のゴール選択において最適なゴール選択が行えたととしても、獲得される要求の質が低くなってしまふ。よって、ゴール指向要求分析による要求獲得では、ゴール分解の質が保証されていることが前提になる。しかるに、ゴール分解こそまさに、要求分析者の経験や能力に大きく依存する作業である。今後、本稿で提案した手法を叩き台としてさらに発展させることで、要求分析者の暗黙知に依存しない形式的ゴール分解手法を構築したい。

## 参考文献

- [Gilboa 01] Gilboa I. and Schmeidler D.: *A Theory of Case-Based Decisions*, Cambridge University Press (2001), [邦訳] イツァーク・ギルボア, デビッド・シュマイドラー (著) 浅野 貴央, 尾山 大輔, 松井 彰彦 (訳), 決め方の科学—事例ベース意思決定理論, 勁草書房 (2005)
- [IIBA 09] IIBA : *A Guide to the Business Analysis Body of Knowledge (BABOK Guide)*, International Institute of Business Analysis, 2nd edition (2009), [邦訳] IIBA 日本支部 BABOK 翻訳プロジェクト (監訳), ビジネスアナリシス知識体系ガイド (BABOK ガイド), 2nd ed., IIBA 日本支部 (2009)
- [Matsui 00] Matsui A.: Expected utility and case-based reasoning, *Mathematical Social Sciences*, Vol. 39, p. 1–12 (2000)
- [Riesbeck 89] Riesbeck C. K. and Schank R. C.: *Inside Case-Based Reasoning*, Psychology Press (1989)
- [Simon 57] Simon H. A.: *Models of Man: Social and Rational—Mathematical Essays on Rational Human Behavior in a Social Setting*, Wiley (1957), [邦訳] ハーバート・A・サイモン (著), 宮沢 光一 (監訳), 人間行動のモデル, 同文館出版 (1970)
- [REBOK 11] REBOK 企画 WG (編) : 要求工学知識体系, 近代科学社, 第 1 版 (2011)
- [佐藤 13] 佐藤 慎一: ゴール指向要求分析における形式的ゴール選択方法の構築, PhD thesis, 東京工業大学 (2013), <http://tdl.libra.titech.ac.jp/hkshi/xc/contents/pdf/300382932/1>