

階層分析法に基づいて顧客の影響度を考慮に入れた顧客のニーズに関する妥当性の計算方法

佐藤 慎一^{1,a)} 猪原 健弘¹

概要: ゴール指向要求分析法におけるゴール選択基準の1つである「顧客のニーズに関する妥当性」の計算においては、顧客の影響度を考慮に入れるべきであるという指摘がなされている。しかしながら、顧客の影響度を考慮に入れた顧客のニーズに関する妥当性の計算方法は未だ提案されていない。そこで本稿では、階層分析法に基づき、その方法を構築する。仮定の事例を用いて提案方法を評価することで、顧客のニーズに関する妥当性の計算には顧客の影響度を考慮に入れるべきであり、顧客の影響度を考慮に入れる場合と入れない場合とで、ゴール選択結果が変化する場合があることを明らかにする。また、顧客のニーズに関する妥当性を見積もるために著者らが提案している計算方法は、本稿で提案する方法の特別な場合であることを示す。

キーワード: 要求獲得, ゴール指向要求分析法, 妥当性, 影響度, 階層分析法 (AHP)

A Method Based on Analytic Hierarchy Process to Calculate Validity on Customers' Needs with Consideration on Influence of Customers

SHIN-ICHI SATO^{1,a)} TAKEHIRO INOHARA¹

Received: November 4, 2011, Accepted: December 1, 2011

Abstract: It has been pointed out that in the calculation of “validity on customers' needs”, which is one of the goal selection criteria, one should consider influence of customers. However, any calculation method into which the influence of customers on the validity on customers' needs is incorporated has not been proposed. In this paper, we propose such a method based on Analytic Hierarchy Process. From the result of evaluation of the proposed method, we find out that the influence of customers should be incorporated into the calculation of the validity on customers' needs, and that the result of goal selection can change if the influence of stakeholders is incorporated or not. Also, we find out that a method which the authors have proposed to estimate the validity on customers' needs is a special case of the method which is proposed in this paper.

Keywords: Requirements Elicitation, Goal-Oriented Requirements Analysis Method, Validity, Influence, AHP (Analytic Hierarchy Process)

1. はじめに

ソフトウェア開発における要求定義は、顧客から要求を獲得する要求獲得作業からはじまる [13]。種々の要求獲得方法が存在する [8] が、このうち、ゴール指向要求分析

法 [9] は、ゴールと呼ばれる達成すべき目標をより具体的なゴールに分解していくことによって、最終的にソフトウェアで実現可能なゴールまで詳細化されたら、そのゴールを要求と見なす方法である。分解元のゴールは「親ゴール」、分解先のゴールは「子ゴール」と呼ばれ、分解の関係は、「AND 分解」または「OR 分解」のいずれかである。ここで、AND 分解とは、すべての子ゴールが達成された場合に、親ゴールが達成される分解関係である。OR 分解

¹ 東京工業大学 大学院社会理工学研究科
Graduate School of Decision Science and Technology, Tokyo Institute of Technology
^{a)} phisin@valdes.titech.ac.jp

とは、子ゴールのうち、いずれか1つが達成された場合に、親ゴールが達成される分解関係である。

要求仕様書の妥当性 [3] は、ツールや手続きによって検証することが難しく、顧客による確認を必要とする [11]。これまでに著者らは、要求仕様書作成前に、あらかじめ要求仕様書の妥当性を満たす要求を獲得するために、「顧客のニーズに関する妥当性」をゴール選択基準として採用することを提案している [12]。また、この基準を見積もる方法 $Cup(g)$ も提案している [12]。 $Cup(g)$ は、属性付きゴール指向要求分析法 (AGORA: Attributed Goal-Oriented Requirements Analysis method) [4] で提案されている「満足度行列」において、すべてのステークホルダが顧客に対して振った満足度の平均として定義される [12]。個々の満足度は、すべてのステークホルダ間の影響度が等しい場合の値である。それ故に、 $Cup(g)$ は、すべての顧客の影響度が等しい場合の値である。しかし、現実には顧客ごとに影響度は異なり得る。したがって、顧客のニーズに関する妥当性を、影響度の差異を考慮に入れたゴール選択基準とするために、 $Cup(g)$ は、顧客の影響度を反映した方法として精緻化されることが望ましい [12]。そこで本稿では、多属性意思決定方法の1つである「階層分析法」[6]に基づき、顧客の影響度を考慮に入れた顧客のニーズに関する妥当性の計算方法を提案する。そして、提案方法を評価することで、顧客のニーズに関する妥当性の計算には顧客の影響度を考慮に入れるべきであり、顧客の影響度を考慮に入れる場合と入れない場合とで、ゴール選択結果が変化する可能性があることを明らかにする。また、顧客の影響度を考慮に入れた顧客のニーズに関する妥当性の計算方法としては、 $Cup(g)$ は本稿で提案する方法の特別な場合であることを示す。

本稿の構成は次の通りである。2節では、「顧客のニーズに関する妥当性」及び「顧客の影響度」について述べ、既存研究における課題を明確にする。3節では、階層分析法に基づく顧客の影響度を考慮に入れた顧客のニーズに関する妥当性の計算方法を提案する。4節では、提案方法を評価した結果について述べる。5節で考察を行い、6節で、まとめと今後の課題について述べる。

1.1 用語の定義

本稿では、以下の通り用語を定義する。

- (1) 利用者：開発されたソフトウェアを使う人々 [11]。
- (2) 顧客：ソフトウェアを発注する際に、お金を出す立場の人々。利用者と顧客は同じ人々である場合もあるし、異なる人々である場合もある [11]。
- (3) 供給者：顧客のためにソフトウェアを開発する人々 [11]。
- (4) ステークホルダ：要求定義にかかわるすべての人。利用者、顧客及び供給者はすべてステークホルダに含まれる [11]。
- (5) 部分ゴールグラフ：ゴールグラフの1部分を構成する

ゴールグラフ。

- (6) ゴール選択：ゴールグラフ上の1つの親ゴールとそのすべての子ゴールから成り、かつ、親ゴールがすべての子ゴールに対して OR 分解で結合している部分ゴールグラフ (本稿では、簡単のため、「2階層-OR分解部分ゴールグラフ」と呼ぶ) において、親ゴールの達成のために選択されるべき少なくとも1つの子ゴールを決定すること。

2. 既存研究

2.1 顧客のニーズに関する妥当性

ゴール指向要求分析法では、「ゴールグラフ」と呼ばれる、個々の頂点が達成されるべき目標を表す「ゴール」として定義される AND/OR グラフ [2] に基づいた分析が行われる。ゴールグラフは、無閉路有向グラフである。分解元の親ゴールを第1成分、分解先の子ゴールを第2成分とする順序対 (親ゴール, 子ゴール) は「枝」と呼ばれ、ゴールグラフ上では、親ゴールから子ゴールへの矢線で表現される。2階層-OR分解部分ゴールグラフの例を図1に示す。図1において、親ゴール「海外収益向上」は、「英語公用化」と「現地通訳雇用」という2つの子ゴールに OR 分解されている。ここで、子ゴールに対して振られている行列は「満足度行列」[4] と呼ばれる。満足度行列は、ゴールが達成された場合に、各々のステークホルダが満足する度合いを表す、「満足度」を成分とする行列である。ただし、各々のステークホルダは、自身の評価だけではなく、他のステークホルダの立場に立った評価も行う。満足度行列の各行は評価者を表し、各列は被評価者を表す。したがって、満足度行列の主対角成分は各ステークホルダ自身の満足度であり、主対角成分を除く各成分は、各ステークホルダが他のステークホルダの立場に立って評価した満足度である。図1のゴール「英語公用化」に振られている満足度行列は、ステークホルダとして、「利用者」、「経営者」、「供給者」の3者を考えている (このうち、利用者と経営者が「顧客」(1.1節参照) であるとする)。例えば、この満足度行列の1行1列成分は、利用者自身の満足度を表しており、1行2列成分は、利用者から見た経営者の満足度を表している。満足度にステークホルダ間の影響度 (2.2節参照) の差異を反映させないために、各々のステークホルダは、満足度を振る際、他のステークホルダが振った満足度を見ることはできない [7]。例えば、図1のゴール「英語公用化」に振られている満足度行列において、利用者は経営者が振った2行目の各成分の満足度 (-9, -7, 8) 及び、供給者が振った3行目の各成分の満足度 (-9, -4, 8) を見ることはできない。満足度行列のすべての成分を見ることができるのは、すべてのステークホルダに対して独立した立場から分析を行う権限が与えられた分析者だけである。

「顧客のニーズに関する妥当性」を見積もる方法は、ゴー

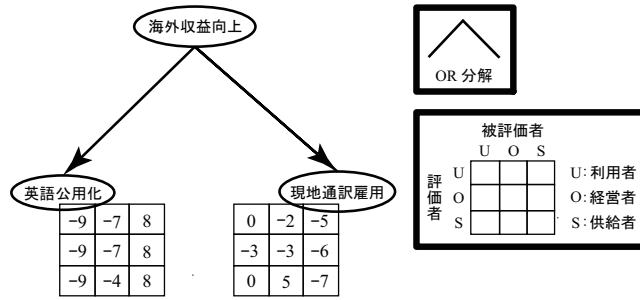


図 1 2 階層-OR 分解-部分ゴールグラフの例 [12].

Fig. 1 An example of 2 layers-OR decomposition-sub goal graph[12].

ル g に対して、満足度行列から次式で定義される [12].

$$Cup(g) \stackrel{\text{def.}}{=} \frac{\sum_{s \in Stakeholder, c \in Customer} m(g)_{s,c}}{|Stakeholder| \times |Customer|} \quad (1)$$

ただし、*Stakeholder* は、立場の異なる個々のステークホルダを要素とする集合。*Customer* は、*Stakeholder* に含まれる、顧客に該当するステークホルダの集合。*Goal* は、ゴールグラフ上のすべてのゴールを要素として持つ集合であり、 $g \in Goal$ はゴールを表す。 $m(g)_{s,c}$ は、ステークホルダ $s \in Stakeholder$ から見た顧客 $c \in Customer$ にとっての、ゴール g の満足度である。 $Cup(g)$ は、 -10 から 10 までの値をとる。例えば、図 1 において、 $Cup(\text{英語公用化}) = -7.5$ 、 $Cup(\text{現地通訳雇用}) = -0.5$ である。したがって、図 1 では、顧客のニーズに関する妥当性をゴール選択基準とする場合、子ゴールのうち $Cup(g)$ が最大である、「現地通訳雇用」が選択される。

2.2 顧客の影響度

ステークホルダの「影響度」とは、「要求に対して、ステークホルダが及ぼす影響の度合い」[10] である。顧客はステークホルダに含まれる (1.1 節参照) ため、顧客に該当するステークホルダの影響度が「顧客の影響度」ということになる。 $Cup(g)$ ((1) 式) は、満足度行列 (2.1 節参照) において、すべてのステークホルダが顧客に対して振った満足度の平均として定義される。個々の満足度は、すべてのステークホルダ間の影響度が等しい場合の値である (2.1 節参照)。それ故に、 $Cup(g)$ は、すべての顧客の影響度が等しい場合の値である。しかし、現実には顧客ごとに影響度は異なり得る。したがって、顧客のニーズに関する妥当性を、影響度の差異を考慮に入れたゴール選択基準とするために、 $Cup(g)$ は、顧客の影響度を考慮に入れることが可能な方法として精緻化されることが望ましい [12].

ステークホルダの影響度に優先順位をつけるための方法として、「影響度マトリクス」[1] が提案されている。しかし、[1] で提案されている影響度マトリクスは、各成分に、あるステークホルダの他のステークホルダに対する相対的な強みまたは弱みを自然言語で書き入れるものであり、ステークホルダの影響度を数値で比較するものではない。本

稿で提案する方法は階層分析法に基づいて構築される。そのため、顧客に該当するステークホルダの影響度マトリクスを一対比較行列として定義し、顧客の影響度を数値で表現する。

以上、2.1、2.2 節で述べた背景からわかるように、顧客のニーズに関する妥当性を見積もる指標 $Cup(g)$ ((1) 式) は、顧客の影響度を反映した指標ではない。そのため、影響度の差異を考慮に入れたゴール選択基準とするために、 $Cup(g)$ は、顧客の影響度が考慮された指標として精緻化されることが望ましい。そこで本稿では、多属性意思決定方法の 1 つである階層分析法に基づき、その方法を提案する。

2.3 階層分析法

階層分析法 (AHP : Analytic Hierarchy Process) [6] では、階層構造の最上層に達成すべき目標を 1 つ置き、これを「総合目的」と呼ぶ。本稿では、最上層を「第 1 階層」、上から 2 番目の層を「第 2 階層」などと呼ぶ。最下層には最上層の目標を達成するための選択肢を配置する。各々の選択肢は「代替案」と呼ばれる。

階層分析法では、第 h 階層の各要素に対する第 $h+1$ 階層の各要素の重みと、第 $h+1$ 階層の各要素に対する第 $h+2$ 階層の各要素の評価値を定め、それらから決定した各代替案の総合評価値によって代替案を選択する。最上層と最下層の間の階層の各々の要素は「評価基準」と呼ばれる。

本稿では、第 1 階層が総合目的、第 2 階層が評価基準、第 3 階層が代替案であるような、3 階層の階層分析を行う。そのため、総合目的に対する各評価基準の重みと、各評価基準に対する各代替案の評価値を求めればよい。この場合の階層分析法の概念図を図 2 に示す。代替案 $A_i (i = 1, 2, \dots, m)$ の総合評価値 $f(A_i)$ は、多属性意思決定において、総合評価値を求める際に最もよく用いられる、線形荷重和によって評価される。すなわち、総合目的 G に対する評価基準 $C_j (j = 1, 2, \dots, n)$ の重み c_j と、 C_j に対する A_i の評価値 a_{ji} を用いて次式で求め、総合評価値が最も高い代替案を最良の選択肢であると判断する。

$$f(A_i) = \sum_{j=1}^n c_j a_{ji} \quad (2)$$

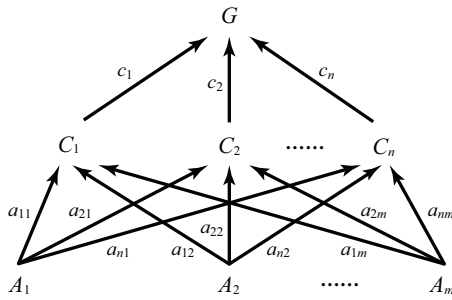


図 2 階層分析法における 3 階層の階層図. G は総合目的, C_j は評価基準, A_i は代替案. c_j は, 総合目的に対する評価基準の重み, a_{ji} は, 評価基準に対する代替案の評価値.

Fig. 2 A hierarchy diagram with 3 layers in AHP. Each of G , C_j and A_i represents a goal, an evaluation criterion and an alternative. c_j represents a weight of an evaluation criterion for a goal. a_{ji} represents an evaluation value of an alternative for an evaluation criterion.

c_j 及び a_{ji} の決定には, 一対比較行列を用いる. 一対比較行列は, 比較される評価基準または代替案の各々を各行及び各列に配置した正方行列である. ここで, x_{ij} 成分は, 評価基準または代替案 X_i が同 X_j に対してどの程度重要であるかを示す値である.

$$\mathbf{X} = (x_{ij}) = \begin{matrix} & X_1 & X_2 & \dots & X_n \\ \begin{matrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & 1 & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

各 i, j に対して, x_{ij} と x_{ji} は互いに逆数の関係, すなわち, $x_{ij} = \alpha$ ならば $x_{ji} = 1/\alpha$ (α は 0 でない定数) となるようにする. そのため, 主対角成分 x_{ii} の値は 1 となる. X_i と X_j の重みまたは評価値を, 各々 w_i, w_j とすると, $x_{ij} = w_i/w_j$ ならば $x_{ji} = w_j/w_i$ である. \mathbf{X} に w_i のベクトル $\mathbf{w} = (w_1, \dots, w_n)$ をかけると, $\mathbf{X}\mathbf{w} = \lambda\mathbf{w}$ が成立する. λ が \mathbf{X} の固有値ならば, \mathbf{w} は \mathbf{X} の固有ベクトルである. 一方, \mathbf{X} の階数は 1 であるから, それはただ 1 つの 0 でない固有値を持ち, 固有値の和が n に等しいことに注意すると, n が \mathbf{X} のただ 1 つの 0 でない固有値であって, \mathbf{w} は固有ベクトルであることがわかる. すなわち, w_i を求めることは, 固有ベクトルを求めることに帰着する.

ただし, あらかじめ w_i と w_j がわかっていない場合, この行列の各成分値を, 各評価基準または各代替案の比較 (一対比較) により決定する. 評価方法としては, 「基準尺度」[6] (表 1) に基づく 5 段階評価が推奨されている. 本稿でもこの評価方法を採用する.

一対比較によって \mathbf{X} を作成する場合, 必ずしも $x_{ij} = w_i/w_j$ になるとは限らない. そのため, 固有値も n になるとは限らない. そこで, 階層分析法では, $\sum_i w_i = 1$ となるように正規化された \mathbf{X} の主固有ベクトル (最大固有値

表 1 基準尺度 [6].

Table 1 Fundamental scale[6].

| 重要度 | 定義 |
|-----|-------|
| 1 | 同程度重要 |
| 3 | すこし重要 |
| 5 | かなり重要 |
| 7 | 非常に重要 |
| 9 | 極めて重要 |

ただし, 2, 4, 6, 8 は中間のときに用い, 重要でないときは逆数を用いる.

に対する固有ベクトル) の成分として w_i を推定する. この計算法は「固有ベクトル法」と呼ばれる. しかし, 固有ベクトル法による計算は, 一般に複雑である. そのため, 簡易計算法として, 一対比較行列の各行の成分の幾何平均をとって $\sum_i w_i = 1$ となるように正規化する方法がある [15]. この計算法は「幾何平均法」と呼ばれ, 固有ベクトル法の良い近似である [15]. 特に, 幾何平均法は, $n \leq 3$ では, 固有ベクトル法と結果が一致する [15]. 本稿では, $n = 2$ の場合のみを扱うため, 幾何平均法で十分である. したがって, 本稿では幾何平均法を採用する. 幾何平均法を用いた場合, w_i は次式で表される.

$$w_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n x_{ij}}}{\sum_{k=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n x_{kj}}} \quad (4)$$

\mathbf{X} の最大固有値を λ_{\max} で表すことにすると, すべての i, j に対して $x_{ij} = w_i/w_j$ のとき, $\lambda_{\max} = n$ が成立する. このとき, 一対比較行列は完全に整合性を持つという. $n = 2$ の一対比較行列は常に完全な整合性を持っている. しかし, $n > 2$ の場合にはそうとは限らない [14]. 一対比較行列の整合性は, 次に示す「整合度指数」(C. I.: Consistency Index)[6] を算出することにより調べられる.

$$\text{C. I.} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

ただし, $\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{n}$, $\lambda_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij} w_j}{w_i}$

一対比較行列の整合性が良いほど C. I. の値は小さくなり, 完全に整合性を持つ場合には 0 となる. C. I. > 0.1 の場合には, 一対比較行列を再検討する.

3. 提案方法

提案方法の手順は次の通りである.

- (1) ゴールグラフ上の任意のゴールを 1 つ選定.
- (2) (1) で選定したゴールを親ゴールとする 2 階層-OR 分解-部分ゴールグラフを把握し, そのすべての子ゴールに満足度行列を振る.
- (3) 階層図作成.
- (4) 影響度マトリクスに基づき, 総合目的 (親ゴール) に対する各評価基準 (顧客) の重みを決定.

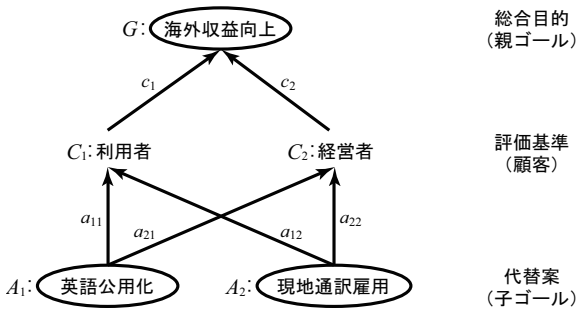


図 3 提案方法の階層図。

Fig. 3 A hierarchy diagram of the proposed method.

- (5) 満足度行列に基づき、各評価基準（顧客）に対する各代替案（子ゴール）の評価値を決定。
- (6) 総合目的（親ゴール）に対する各代替案（子ゴール）の総合評価値（顧客の影響度を考慮に入れた顧客のニーズに関する妥当性）を決定。

以下、各々の工程について、図 1 に対する適用結果と共に詳述する。

- (1) ゴールグラフ上の任意のゴールを 1 つ選定
図 1 の「海外収益向上」を対象とする。
- (2) (1) で選定したゴールを親ゴールとする 2 階層-OR 分解-部分ゴールグラフを把握し、そのすべての子ゴールに満足度行列を振る
図 1 が対象となる。子ゴールの満足度行列は、図 1 の通りに振られたものとする。
- (3) 階層図作成
階層図を作成する。図 1 に対して作成される階層図は、図 3 となる。総合目的には親ゴールを設定する。図 1 の満足度行列から、ステークホルダは利用者、経営者、供給者の 3 者であることがわかり、このうち、顧客に該当するステークホルダは、利用者と経営者である (2.1 節参照) ため、評価基準として、これら 2 者を設定する。代替案には子ゴールを設定する。

- (4) 影響度マトリクスに基づき、総合目的（親ゴール）に対する各評価基準（顧客）の重みを決定

(a) 影響度マトリクスの作成

総合目的「海外収益向上」に対する評価基準の一对比較行列として影響度マトリクスを作成する。影響度マトリクスの各値は、ステークホルダの合意により決定されるものとする。本稿では、図 4 に示す影響度マトリクスが作成されたものとする。

(b) 影響度マトリクスの整合性判定

総合目的「海外収益向上」に対する評価基準「利用者」、「経営者」の重み (c_1, c_2) は、(4) 式から、 $(0.1, 0.9)$ と求まる。また、 $n = 2$ であるため、 $C. I. = 0 (\leq 0.1)$ である (2.3 節参照)。そのため、総合目的に対する影響度マトリクスの整合性に問

| | | |
|-------|-------|-------|
| G | C_1 | C_2 |
| C_1 | 1 | 1/9 |
| C_2 | 9 | 1 |

図 4 影響度マトリクス。G は、総合目的「海外収益向上」、 C_1 、 C_2 は各々、評価基準「利用者」、「経営者」を表す。

Fig. 4 An influence matrix. G represents “increasing profitability from abroad” as a goal. Each of C_1 and C_2 represents “users” and “managers” as an evaluation criterion.

題はない。よって、手順 (5) へ移る。

- (5) 満足度行列に基づき、各評価基準（顧客）に対する各代替案（子ゴール）の評価値を決定

満足度行列から、個々の評価基準ごとに代替案の一对比較行列を作成する。一对比較行列の各成分値は、次式で定義する関数 $Ptp(Stp(g, s), Stp(g', s))$ で与えられるものとする。

$$Ptp(Stp(g, s), Stp(g', s)) \stackrel{\text{def.}}{=} \begin{cases} \text{rnd}_1 \left(\frac{9}{10} \times Imp(Stp(g, s), Stp(g', s)) \right) & \text{if } \text{rnd}_1 \left(\frac{9}{10} \times Imp(Stp(g, s), Stp(g', s)) \right) > 0, \\ 1 & \text{if } \text{rnd}_1 \left(\frac{9}{10} \times Imp(Stp(g, s), Stp(g', s)) \right) = 0, \\ 1 / \text{rnd}_1 \left(\frac{9}{10} \times |Imp(Stp(g, s), Stp(g', s))| \right) & \text{otherwise} \end{cases}$$

ただし、 $Imp(Stp(g, s), Stp(g', s)) \stackrel{\text{def.}}{=} \frac{Stp(g, s) - Stp(g', s)}{2}$ 、 $Stp(g, s) \stackrel{\text{def.}}{=} \frac{\sum_{s' \in Stakeholder} m(g)_{s', s}}{|Stakeholder|}$ (6)

ただし、 $m(g)_{s', s}$ は、ステークホルダ $s' \in Stakeholder$ から見た、ステークホルダ $s \in Stakeholder$ にとっての、ゴール g の満足度。 $Imp(Stp(g, s), Stp(g', s))$ は、 $Stp(g', s)$ に対する $Stp(g, s)$ の重要度。 $\text{rnd}_n(x)$ は、 $x \geq 0$ ならば、実数 x の小数点第 n 位を四捨五入した値。 $x < 0$ ならば、 $\text{rnd}_n(x) \stackrel{\text{def.}}{=} -\text{rnd}_n(|x|)$ 。 $Stp(g, s)$ は、ゴール g に振られた満足度行列において、すべてのステークホルダがステークホルダ s に対して振った成分値の平均である。

図 3 の各評価基準に対する、代替案の一对比較行列を図 5 に示す。このうち、評価基準の 1 つ「利用者」に対する代替案の一对比較行列 (図 5(a)) の作成過程は次の通りである。

- (a) 各評価基準に対する代替案の一对比較行列を作成

図 1 において、代替案（子ゴール）は、「英語公用化」と「現地通訳雇用」である。評価基準の 1 つ「利用者」に対するこれら 2 つの代替案の一对比較

| | | |
|-------|-------|-------|
| C_1 | A_1 | A_2 |
| A_1 | 1 | 1/4 |
| A_2 | 4 | 1 |

(a)

| | | |
|-------|-------|-------|
| C_2 | A_1 | A_2 |
| A_1 | 1 | 1/3 |
| A_2 | 3 | 1 |

(b)

図 5 満足度行列から作成される、各評価基準に対する代替案の対比較行列. (a), (b) は各々、評価基準「利用者」、「経営者」に対する代替案の対比較行列である. C_1, C_2 は各々、評価基準「利用者」、「経営者」を表す. A_1, A_2 は各々、代替案「英語公用化」、「現地通訳雇用」を表す.

Fig. 5 Pairwise comparison matrices of alternatives for each evaluation criterion, each of which are generated from preference matrices. Each of (a) and (b) represents a pairwise comparison matrix of alternatives for each of “users” and “managers” that is an evaluation criterion. Each of C_1 and C_2 represents “users” and “managers” as an evaluation criterion. Each of A_1 and A_2 represents “using English for official language” and “hiring a local interpreter” as an alternative.

行列は、(6) 式から計算される. 例えば、1 行 2 列成分は、 $Stp(A_1, C_1) = -9, Stp(A_2, C_1) = -1$ より、 $Imp(Stp(A_1, C_1), Stp(A_2, C_1)) = -4$ であるから、 $rnd_1(9/10 \times Imp(Stp(A_1, C_1), Stp(A_2, C_1))) = -4 (< 0)$ となり、「それ以外」に該当する. したがって、求める 1 行 2 列成分の値は、 $Ptp(Stp(A_1, C_1), Stp(A_2, C_1)) = 1/4$ と定まる. 他の成分値も同様にして計算される.

(b) 各評価基準に対する代替案の対比較行列の整合性判定

各評価基準に対する代替案の対比較行列の整合性を判定する. 例えば、評価基準の 1 つ「利用者」に対する各代替案の評価値は、(4) 式を計算することによって、 $(a_{11}, a_{12}) = (0.2, 0.8)$ と求まる. また、 $n = 2$ であるため、 $C. I. = 0 (\leq 0.1)$ である (2.3 節参照).

もう 1 つの評価基準「経営者」に対する代替案の対比較行列も「利用者」の場合と同様にして作成される. 「経営者」に対する各代替案の評価値は、 $(a_{21}, a_{22}) = (0.25, 0.75)$ であり、 $n = 2$ であるため、 $C. I. = 0 (\leq 0.1)$ である (2.3 節参照). 各評価基準に対する代替案の対比較行列の整合性がすべて 0.1 以下であるため、手順 (6) へ移る.

(6) 総合目的 (親ゴール) に対する各代替案 (子ゴール) の総合評価値 (顧客の影響度を考慮に入れた顧客のニーズに関する妥当性) を決定

総合目的に対する各代替案の総合評価値は、(2) 式から $(f(A_1), f(A_2)) = (0.245, 0.755)$ と求まる. したがって、顧客の影響度を考慮に入れたゴール g の顧客のニーズに関する妥当性を $Cup^I(g)$ で表すことにする

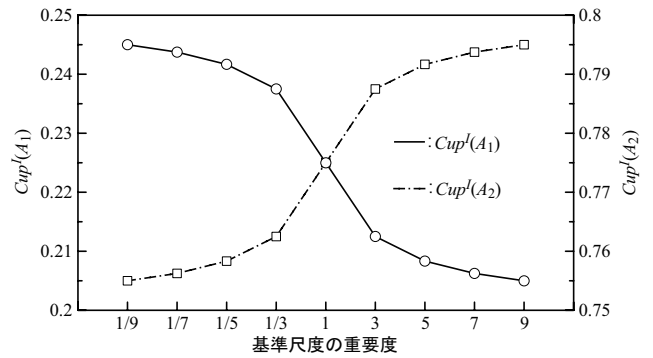


図 6 C_2 に対する C_1 の対比較値に対する $Cup^I(A_1)$ と $Cup^I(A_2)$ のグラフ. 実線は $Cup^I(A_1)$ であり、左軸の範囲の値をとる. 一点鎖線は $Cup^I(A_2)$ であり、右軸の範囲の値をとる.

Fig. 6 Graphs of $Cup^I(A_1)$ and $Cup^I(A_2)$ for the value of pairwise comparison of C_1 for C_2 . A solid line represents $Cup^I(A_1)$, the range of which corresponds to the left axis of the graph. A chain line represents $Cup^I(A_2)$, the range of which corresponds to the right axis of the graph.

と、 A_1 と A_2 の顧客の影響度を考慮に入れた顧客のニーズに関する妥当性は、 $Cup^I(A_1) = f(A_1) = 0.245, Cup^I(A_2) = f(A_2) = 0.755$ であることがわかる. したがって $Cup^I(g)$ をゴール選択基準とする場合、子ゴールのうち $Cup^I(g)$ が最大である A_2 、すなわち「現地通訳雇用」が選択される.

4. 評価

本稿で提案した方法は、AGORA[4] の持つ属性の 1 つである「満足度」を、各評価基準 (顧客) に対する代替案 (子ゴール) の対比較行列に変換する方法 ((6) 式) を提供している. これにより、本稿で提案した方法の階層図 (図 3) の第 3 階層を構成する、各評価基準に対する代替案の対比較行列は機械的に作成することができる. しかし、第 2 階層を構成する、総合目的に対する評価基準の対比較行列 (影響度マトリクス) の各成分値は、ステークホルダの合意に基づいて決定される (3 節 (4a) 参照) ため、機械的に作成することはできない. したがって、本稿で提案した方法は半形式的であり、恣意性が残されている.

影響度マトリクスに内在するこの恣意性が、ゴール選択結果にどの程度影響するかを調べるために、 C_2 に対する C_1 の対比較値 (図 4 の 1 行 2 列成分値) を、基準尺度 (表 1) でとり得るすべての重要度の範囲内で順に変化させた場合の、 $Cup^I(A_1)$ と $Cup^I(A_2)$ (3 節 (6) 参照) のグラフを作成した. 結果を図 6 に示す. 各値の具体的な値は表 2 の通りである.

図 6 と表 2 から、次のことがわかる.

- (1) 基準尺度のすべての重要度で $Cup^I(A_1) < Cup^I(A_2)$ である. したがって、顧客の影響度に関わりなく、 A_2

*1 小数点第 6 位で四捨五入した値を示している.

表 2 C_2 に対する C_1 の一対比較値に対する $Cup^I(A_1)$ と $Cup^I(A_2)$.

Table 2 $Cup^I(A_1)$ and $Cup^I(A_2)$ for the value of pairwise comparison of C_1 for C_2 .

| C_2 に対する C_1 の一対比較値 | $Cup^I(A_1)$ | $Cup^I(A_2)$ |
|-------------------------|--------------|--------------|
| 1/9 | 0.245 | 0.755 |
| 1/7 | 0.24375 | 0.75625 |
| 1/5 | 0.24167*1 | 0.75833*1 |
| 1/3 | 0.2375 | 0.7625 |
| 1 | 0.225 | 0.775 |
| 3 | 0.2125 | 0.7875 |
| 5 | 0.20833*1 | 0.79167*1 |
| 7 | 0.20625 | 0.79375 |
| 9 | 0.205 | 0.795 |

が選択される。これは、次に述べる性質から明らかである。(2)式は、代替案に対する各評価基準に関する優先順位が一致していれば、 c_j はゴール選択に影響を与えず、 a_{ji} のみでゴール選択結果が決定されるという性質を持つ。すなわち、次式が成立する。

$$(\forall k)(a_{ki} \leq a_{kj}) \Rightarrow Cup^I(A_i) \leq Cup^I(A_j) \quad (7)$$

ただし、 $i, j \in [1, m], k \in [1, n]$

この例では、 $a_{11} < a_{12}$ かつ $a_{21} < a_{22}$ であるため、(7)式より、 $Cup^I(A_1) < Cup^I(A_2)$ であることがわかる。よって、 A_2 が選択される。

(2) 基準尺度の重要度が 1 に近づくほど、隣り合う $Cup^I(g)$ の間の変化の割合の絶対値が大きく、逆に、1 から遠ざかるほど小さい。この結果は、顧客の影響度の偏りが小さい場合、ゴール選択結果は変更されやすく、逆に、大きい場合、ゴール選択結果は変更されにくいことを示している。

(1) より、顧客の影響度がゴール選択結果に影響するのは、代替案に対する各評価基準に関する優先順位が異なる場合である。そのため、図 5(b) の 1 行 2 列成分と、2 行 1 列成分の値を入れ換えた場合の評価を行う。すなわち、各評価基準に対する各代替案の一対比較行列が、図 7 の場合を考える。この場合の C_2 に対する C_1 の一対比較値を、基準尺度でとり得るすべての重要度の範囲内で順に変化させた場合の、 $Cup^I(A_1)$ と $Cup^I(A_2)$ のグラフとその具体的な値を各々図 8 と表 3 に示す。

図 8 と表 3 から、基準尺度の重要度が 1 未満では A_1 が選択され、1 以上では A_2 が選択されることがわかる。したがって、この場合、ゴール選択結果は顧客の影響度に依存して変化する。特に、基準尺度が 1 未満の場合のゴール選択結果は、 $Cup(g)$ によるゴール選択結果 (2.1 節参照) と一致しない。これは、 $Cup(g)$ は、すべてのステークホルダの影響度が等しい場合の値として定義されている (2.2 節参照) ためである。すなわち、 $Cup(g)$ は、本稿で提案した方法の特別な場合 (基準尺度の重要度が 1 の場合) に対

| | | |
|-------|-------|-------|
| C_1 | A_1 | A_2 |
| A_1 | 1 | 1/4 |
| A_2 | 4 | 1 |

(a)

| | | |
|-------|-------|-------|
| C_2 | A_1 | A_2 |
| A_1 | 1 | 3 |
| A_2 | 1/3 | 1 |

(c)

図 7 各評価基準に対する代替案の仮想的な一対比較行列。(a) は図 5(a) と同じ行列。(c) は、図 5(b) の 1 行 2 列成分と 2 行 1 列成分の成分値を置換した行列。

Fig. 7 Tentative pairwise comparison matrices of alternatives for each evaluation criterion. (a) is an identical matrix to Fig. 5(a). (c) is a matrix that the component value of 1st row and 2nd column is replaced by one of 2nd row and 1st column in Fig. 5(b) each other.

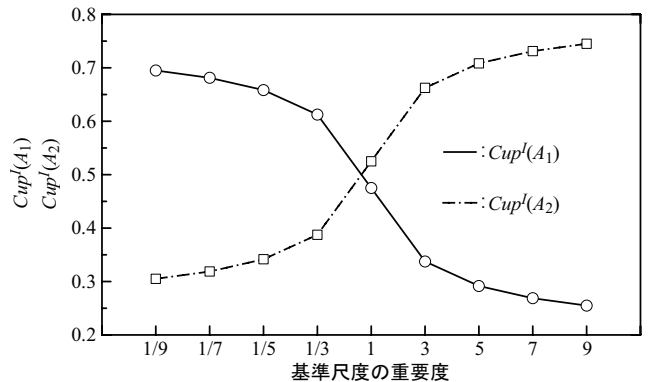


図 8 C_2 に対する C_1 の一対比較値に対する $Cup^I(A_1)$ と $Cup^I(A_2)$ のグラフ。実線は $Cup^I(A_1)$ 。一点鎖線は $Cup^I(A_2)$ 。

Fig. 8 Graphs of $Cup^I(A_1)$ and $Cup^I(A_2)$ for the value of pairwise comparison of C_1 for C_2 . A solid line represents $Cup^I(A_1)$. A chain line represents $Cup^I(A_2)$.

表 3 C_2 に対する C_1 の一対比較値に対する $Cup^I(A_1)$ と $Cup^I(A_2)$.

Table 3 $Cup^I(A_1)$ and $Cup^I(A_2)$ for the value of pairwise comparison of C_1 for C_2 .

| C_2 に対する C_1 の一対比較値 | $Cup^I(A_1)$ | $Cup^I(A_2)$ |
|-------------------------|--------------|--------------|
| 1/9 | 0.695 | 0.305 |
| 1/7 | 0.68125 | 0.31875 |
| 1/5 | 0.65833*1 | 0.34167*1 |
| 1/3 | 0.6125 | 0.3875 |
| 1 | 0.475 | 0.525 |
| 3 | 0.3375 | 0.6625 |
| 5 | 0.29167*1 | 0.70833*1 |
| 7 | 0.26875 | 0.73125 |
| 9 | 0.255 | 0.745 |

応している。これは、次に述べる性質から明らかである。

(2) 式は、任意の j に対して c_j が一定値ならば、ゴール選択に c_j は影響を与えないことを示している。すなわち、次式が成立する。

$$\begin{aligned}
(\forall k)(c_k = \beta) &\Leftrightarrow (Cup^I(A_i), Cup^I(A_j)) \\
&= ((\sum_k a_{ki})/\beta, (\sum_k a_{kj})/\beta) \quad (8)
\end{aligned}$$

ただし, β は定数, $i, j \in [1, m], k \in [1, n]$

基準尺度の重要度が 1 の場合, (4) 式より, 任意の j に対して, $c_j = 0.5$ である. よってこの場合, (8) 式が成立する. また, (4) 式と (6) 式から, a_{ji} は $Stp(g, s)$ に対応する. そこで, 任意の j に対して, $c_j = 1$ とし, a_{ji} の代わりに $Stp(g, s)$ を用いると, (1) 式と (2) 式から, 次式が成立する.

$$Cup(g) = \frac{\sum_j Stp(g, s)}{|Customer|} \quad (9)$$

ただし, $g = A_i, s = C_j, i \in [1, m], j \in [1, n]$

提案方法において (8) 式が成立するのは, 基準尺度の重要度が 1 のときだけである. そのため, 提案方法において, 基準尺度の重要度が 1 の場合のみ (9) 式が成立する. したがって, $Cup(g)$ は基準尺度の重要度が 1 の場合の $Cup^I(g)$ に対応する.

5. 考察

$Cup(g)$ ((1) 式) は, ゴール g に対して一意に定まる値である. 一方, $Cup^I(g)$ (3 節 (6) 参照) は, ゴール g の親ゴール及び, 親ゴールの分解先となっているすべての子ゴールに依存して値が変化する. 一般に, 子ゴールは複数の親ゴールと結合している場合があるため, $Cup^I(g)$ は, 複数の値を持ち得る. しかし, このことによる問題はない. 何故ならば, 顧客のニーズに関する妥当性は, ゴール選択基準として定義されているため [12] (1 節参照), $Cup^I(g)$ は, ゴール選択基準として機能すればよいからである. $Cup^I(g)$ がゴール選択基準として機能するためには, それらが, ゴールグラフ上の任意の 2 階層-OR 分解-部分ゴールグラフの親ゴールに対して, その任意の子ゴールに一意な値を与えるような基準であればよい. 提案方法では, このことは保証されている.

6. 結論

6.1 まとめ

階層分析法に基づいて顧客の影響度を考慮に入れたゴール g の顧客のニーズに関する妥当性の計算方法を, $Cup^I(g)$ (3 節 (6) 参照) として提案した. 提案方法を評価した結果, 顧客のニーズに関する妥当性の計算には顧客の影響度を考慮に入れるべきであり, 顧客の影響度を考慮に入れる場合と入れない場合とで, ゴール選択結果が変化する場合があることが明らかになった. また, 著者らが顧客のニーズに関する妥当性を求める方法として提案している $Cup(g)$ ((1) 式) は, 本稿で提案した $Cup^I(g)$ の特別な場合に対応することがわかった.

6.2 今後の課題

要求工学において, 「ステークホルダと要求との利害関係の度合いを分析する技術」 [5] として, 「ステークホルダ分析」と呼ばれる研究分野が確立されている [10]. そこで, ステークホルダから見た要求に対する利害の度合いは, 「影響度」だけではなく, 「影響度」と「重要度」の 2 つの観点から分析される. ステークホルダの「重要度」とは, 「要求に対して, ステークホルダが必要とされる度合い」 [10] である. 今後の課題として, $Cup^I(g)$ をさらに精緻化し, 顧客の重要度を考慮に入れた $Cup^I(g)$ の計算方法を構築することが挙げられる.

参考文献

- [1] Alexander, I. and Beus-Dukic, L.: *Discovering Requirements*, John Wiley & Sons (2009).
- [2] Chang, C. L. and Slagle, J. R.: An Admissible and Optimal Algorithm for Searching AND/OR Graphs, *Artificial Intelligence*, Vol. 2, No. 4, pp. 117–128 (1971).
- [3] IEEE Standards Board: IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications, IEEE Std. 830-1998 (1998).
- [4] Kaiya, H., Horai, H. and Saeki, M.: AGORA: Attributed Goal-Oriented Requirements Analysis Method, in *Proc. of the 10th Anniversary IEEE Joint International Conference on Requirements Engineering (RE'02)*, pp. 13–22 (2002).
- [5] Project Management Institute: *A Guide to Project Management Body of Knowledge*, 4th edition, Project Management Institute (2008). [邦訳]Project Management Institute: プロジェクトマネジメント知識体系ガイド (PMBOK ガイド), 第 4 版, Project Management Institute (2009).
- [6] Saaty, T. L.: *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill (1980).
- [7] Saeki, M., Hayashi, S. and Kaiya, H.: A Tool for Attributed Goal-Oriented Requirements Analysis, in *Proc. of the IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering (ASE'09)*, pp. 674–676 (2009).
- [8] Tsumaki, T. and Tamai, T.: Framework for Matching Requirements Elicitation Techniques to Project Characteristics, *Software Process: Improvement and Practice*, Vol. 11, No. 5, pp. 505–519 (2006).
- [9] van Lamsweerde, A.: Goal-Oriented Requirements Engineering: A Guided Tour, in *Proc. of the 5th IEEE International Symposium on Requirements Engineering (RE'01)*, pp. 249–262 (2001).
- [10] 一般社団法人情報サービス産業協会 REBOK 企画 WG (編): 要求工学知識体系, 近代科学社 (2011).
- [11] 大西淳, 郷健太郎: 要求工学, ソフトウェアテクノロジーシリーズ 9, 共立出版 (2002).
- [12] 佐藤慎一, 石川冬樹, 猪原健弘: 貢献度と顧客のニーズに関する妥当性の間のコンフリクト検出指標, ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム 2011 (SES2011) (2011).
- [13] 玉井哲雄: ソフトウェア工学の基礎, 岩波書店 (2004).
- [14] 刀根薫: [増補] オペレーションズ・リサーチ読本, 日本評論社 (1991).
- [15] 森村英典, 刀根薫, 伊理正夫 (監訳): 経営科学 OR 用語大辞典, 朝倉書店 (1999).