

単語の類似度を用いた UML クラス図の理解性の測定と評価

中村 悠人[†] 鷲崎 弘宜[†] 深澤 良彰[†]

モデルを中心としたソフトウェア開発において、UML クラス図は開発するソフトウェアの静的な構造を可視化する方法として広く使われている。しかし、クラス図において分かりやすさ（理解性）の有効な測定法はない。我々は、クラス図の理解性の定量的な測定法を語の類似度を用いて示し、更にその測定法の妥当性を人手による定性評価との比較によって評価する。比較対象は、ドメインの専門家がソフトウェアの静的な構造をモデリングしたクラス図に対して下した、理解性に関する定性評価である。定性評価と提案手法による測定値の相関は良好であり、我々が提案する測定法はクラス図の理解性を測ることについて有効であることを明らかにした。

Evaluation of Understandability of UML Class Diagrams by Word Similarity

Yuto Nakamura[†] Hironori Washizaki[†] Yoshiaki Fukazawa[†]

In the software development using model frequently, the UML Class diagram that has static structure of developing software is widely used. However, there is no effective method of measurement concerning class diagram's understandability. We propose methods of quantitative measurement concerning class diagram's understandability and evaluate propriety of those methods, and we took satisfactory interrelation between qualitative evaluation of understandability of class diagram by domain expert and measurements of our methods. This result is shown our proposal can measure understandability of class diagram effectively.

1. はじめに

UML（統一モデリング言語：Unified Modeling Language）[1] はオブジェクト指向開発に用いる様々なモデルの表記法を標準化した汎用モデリング言語である。表記法が標準化されているため、UML を学習しているもの同士であれば UML モデルを紹介することによって、情報共有が容易になる。

UML の定義において、クラス図は対象問題に存在する概念と、その間の関連の静的構造をモデリングしたものである。一方でクラス図の理解はクラス間の関連の妥当性の評価によって行われる。具体的には読み手が暗黙に有している概念間の関係と、クラス図にモデリングされた概念間の関連構造を比較することによって理解を進める。双方の構造が類似しているとクラス図の関連構造の妥当性を強く感じ、理解性が高くなる。構造に隔たりがあると妥当性を弱く感じ、理解性も低くなる。この経験則から、関連端のクラス名を用いて「A という言葉と B という言葉には関連がある」と読み上げ、違和感を覚えれば責務の置き所を見直す

べきというセルフレビュー法が提案されている[2]。

しかし、関連の妥当性評価と理解性の関係はあくまで経験的に知られている事柄に過ぎず、データを用いて実証されているわけではない。

一方でソフトウェアの品質測定の客観的な尺度となるメトリクスはクラス図に対しても種々存在する。クラスにおける操作の複雑さの和や凝集性の欠如などを測定する CK メトリクス[3]が代表的であるが、クラス図の理解性に関するメトリクスは定義されていない。またクラス間の結合に基づく構造の複雑さ[4]と、理解性を含めたモデルの総合的な定性評価の相関は強くないとする報告[5]もある。クラス図の理解性に関するメトリクスを得られれば、クラス図の理解に必要な時間コストの見積もりに加えて、クラス図の客観的なレビュー、複数の同一問題に対する解から理解性の高いクラス図モデルの選択、更にはクラス図内の理解性を下げる箇所特定に用いることも可能となる。

我々は語の類似度が高いほど、読み手は語の間の関係を強く感じ、そのような語の関係が強い単語がクラス図上で近くに置かれていると理解性が高いと仮説を立てる。そして仮説から測定法を定め、クラス図の理解性に関する定性的な評価との比較によって仮説および測定法の妥当性を評価する。

[†] 早稲田大学理工学術院 基幹理工学研究所
Graduate school of Fundamental Science and Engineering, Faculty of
Science and Engineering, Waseda University.

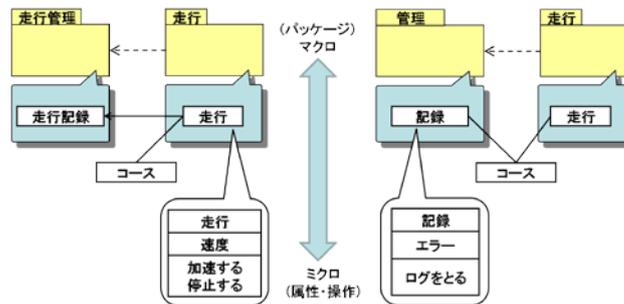


図1 クラス図の3つの視点 (左: 図1.1, 右: 図1.2)

2. クラス図の理解性メトリクスの提案

クラス図は図1のようにクラスの構造を中央にして、マクロな視点ではパッケージ構造を、ミクロな視点では属性や操作を持つ。

我々はクラス図の理解性に関する測定法を定めるにあたって、「語の類似度が高いほど、人は語間の関係を強く感じ、クラス図上でもより近くに配置されている」という根本となる仮説を立てた。この仮説をクラス図の持つ3つの視点に合わせて詳細化する。

H1) クラス図視点の仮説

「クラス名間の類似度が高いほどクラス図におけるクラス間の構造的な最短距離が近く、類似度が低いほど最短距離が遠いという相関を、クラス図全体にわたって多く保っているクラス図は理解性が高い。」

図1.1と図1.2を見比べてみると、双方は似たクラスを持っているが、図1.1がより理解しやすいと考えられる。これは図1.2において近くに配置されているコースクラスと記録クラスに関連の妥当性を強く感じられないが、図1.1では容易に関連構造の妥当性を感じることができるためと考えられる。

H2) パッケージ視点の仮説

「パッケージ名間の類似度が高いほどクラス図におけるパッケージ間の構造的な最短距離が近く、類似度が低いほど最短距離が遠いという相関を、クラス図全体にわたって多く保っているクラス図は理解性が高い。」

図1においては図1.1の方が理解しやすい。図1.2の走行と管理という依存関係には妥当性を感じにくいですが、走行管理と走行には依存関係の妥当性を強く感じられるためである。

H3) 属性・操作視点の仮説

「語の類似度が高い属性や操作が1つのクラスにまとめられていると、そのクラスの凝集性は高く、読み手の理解性も高くなる」と仮説を立てる。

図1.1の走行クラスは走行・速度、走行・加速する、

速度・停止するなど、語の関係を強く感じる属性や操作が一つのクラスにまとめられている。この特徴により、走行クラスは凝集度の高い理解しやすいクラスと考えられる。図1.2の記録クラスは記録とエラーという語の関係を強くは感じないため、比べて凝集度は低く感じる。

前述の3つの仮説から、クラス図の理解性を測定するためにはクラス構造をモデルから抽出する方法と、語の類似度を測定する方法が必要である。クラス構造の抽出は有向グラフを用いた解析によって実現し、語の類似度に関しては次節で詳細を説明する。

2.1. 語間の類似度

人は語間の類似度を定性的に判断することはできるが、定量的に扱うことは難しい。そこで我々はWordNetシソーラス[6]を用いて作られた、WordNetSimilarity[7]モジュールのPathLength法を用いて属人性を排した単語間の類似度を測定する。

PathLength法による2単語x, y間の類似度測定はまず、WordNet上で共通する上位概念を探し、最短経路を探す。次に最短経路におけるノードの数(最短経路の距離+1)の逆数をとることによって2単語間の類似度 $Wsim$: Word Similarity とする。以下に式を示し、「running」と「record」の類似度を測定する例を図2に示す。

$$Wsim(x, y) = 1 / (x \text{ と } y \text{ の概念間の最短距離} + 1)$$



図2 「running」・「record」間の類似度測定

クラス図には複数の単語を組み合わせた複合語が頻出する。複合語間の類似度測定はまず、単語の頭文字

を大文字にする命名規則を利用して複合語 cw_a を $cw_a = \{w_{a1}, \dots, w_{am}\}$ のように分解し, cw_a の分解語と cw_b の分解語の組み合わせ全てに対して類似度を測定する. ここで複合語 cw_a の分解数は $|cw_a| = m$ とする. 次に単語間の類似度が最も高い組み合わせを特定する ($mp_k(cw_a, cw_b)$ 式). そして特定された組み合わせに用いられている単語 (w_{ax} と w_{by}) を各集合から省き, 同様の計算 ($mp_k(cw_a, cw_b)$ 式) を繰り返して類似度の和を求める. 繰り返しの回数は少ない方の複合語分解数 (n) とする. 最後に多い方の複合語分解数 (m) で割って平均をとり, 複合語間の類似度 $CWsim$: *Compound Word Similarity* とする. 定義式を以下に示す.

$$\begin{aligned}
 cw_a &= \{w_{a1}, \dots, w_{am}\} \quad |cw_a| = m \\
 cw_b &= \{w_{b1}, \dots, w_{bn}\} \quad |cw_b| = n \quad (m \geq n) \\
 mp_k(cw_a, cw_b) &= \max(\{Wsim(w_{ax}, w_{by}) \mid (w_{ax}, w_{by}) \in cw_a - \{w_{ax}\} \times cw_b - \{w_{by}\}\}) \\
 (w_{ax}: k-1 \text{項で用いた, } cw_a \text{ から分解された単語}) \\
 (w_{by}: k-1 \text{項で用いた, } cw_b \text{ から分解された単語}) \\
 CWsim(cw_a, cw_b) &= \frac{\sum_{k=1}^n mp_k(cw_a, cw_b)}{m}
 \end{aligned}$$

より多くの語の情報を反映するような類似度を算出するために, 一度使用した単語を省く. また, 組み合わせから漏れた単語があるという情報を類似度に反映させるために, 平均をとる際に少ない方でなく, 多い方の分解数 (m) で割った.

複合語の類似度測定方法を, *SensorID* と *getSensorID* 間の類似度を求める例を用いて示す. 表 1 に複合語の単語への分解と, 全ての単語間の類似度を測定した結果を示す.

表 1 全ての単語間の類似度

	Get	Sensor	ID
Sensor	0.05	1	0.0769
ID	0.0625	0.0769	1

$n=2$ であるため, 同じ単語を使わないように 2 組の類似度が高い組み合わせを求める. 例では $\{(Sensor, Sensor), (ID, ID)\}$ となる. 最後に特定した組み合わせの類似度の和を $m=3$ で割り, 類似度は $(1+1)/3 \approx 0.6667$ となる.

2.2. クラス構造の理解性に関するメトリック

2.2.1. 定義式

C はクラス図が持つクラスの集合, $|C|$ はクラス図が持つクラス数, 要素としてのクラスは $c_x (x=1, \dots, |C|)$ とする. div 式はクラス図における 2 クラス間における誘導可能性を考慮しながら関連を辿ることによって到

達可能な経路の最短距離を表す. 理解性の高いクラス図はクラス名間の類似度が高いほどクラス間の最短距離は近く, クラス名間の類似度が低いほどクラス間の最短距離は遠いという仮説 H1 に基づいて, クラス間の静的な関連構造の最短距離に基づく, クラス名間の類似度に期待する値 $ESim$: *Expected Similarity by Relational Distance* を定義する. 式を以下に示す.

$$ESim(c_x, c_y) = 1 / (div(c_x, c_y) + 1)$$

ただし, $x \neq y$ とする. 値域は $x \neq y$ より $0 < ESim(c_x, c_y) \leq 1/2$ となり, クラス図における両クラス間の最短距離が近いほど $ESim$ は $1/2$ に近づく.

$CWsim(c_x, c_y)$ はクラス名間の類似度を表す. c_x と c_y 間の $ESim$ と $CWsim$ の差を取り, 1 に近いと理解性が高く, 0 に近いと理解性が低くなるように正規化した式が関連間距離理解度 RDU : *Relational Distance Understandability* である.

$$RDU(c_x, c_y) = 1 - |ESim(c_x, c_y) - CWsim(c_x, c_y)|$$

最後に RDU 値のクラス図全体における平均をとることによってクラス関連構造理解度 $CRSU$: *Class Relational Structure Understandability* を得る.

$$CRSU(C) = \frac{\sum_{c_x \in C} \sum_{c_y \in C - \{c_x\}} RDU(c_x, c_y)}{|\{(c_x, c_y) \in C \times C \mid c_x \neq c_y \wedge div(c_x, c_y) \geq 1\}|}$$

上式の分母は $c_x \neq c_y$ かつ div 式の結果が 1 以上になるクラスの組み合わせ数である. 仮説 H1 が正しければ, $CRSU$ 値が 1 に近づくほど読み手の理解性が高く, 値が 0 に近づくほど理解性は低くなる.

2.2.2. 測定プロセス

我々は $CRSU$ を測定するシステムを構築した. 図 3 に全体像を示す. 測定例として, システムの流れに沿って図 1.1 のクラス図モデルの $CRSU$ を測定する. 表 2 に測定過程で出力されたデータをまとめる.

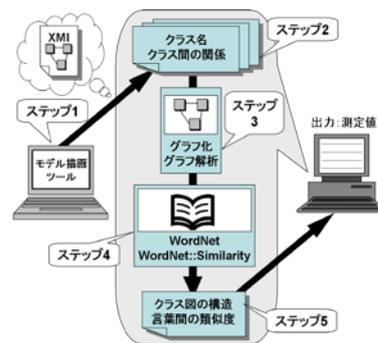


図 3 $CRSU$ を測定するシステム

表2 CRSU 測定過程における出力

c_x	c_y	Div	$ESim$	$Wsim$	RDU
Course	Running	1	0.5	1	0.5
Running	RunningRecord	1	0.5	0.5	1
Course	RunningRecord	2	0.3333	0.5	0.8333

1) モデル描画ツールからの XMI 出力

モデル描画ツールを用いて図1.1のクラス図を描き、クラス図を XMI 形式[8]で出力する。このステップは人手で行う必要がある。

2) クラス間の関連、クラス名を取得する

ステップ1で得た XMI を解析し、クラス間の関連とクラス名を取得する。同時に excite 翻訳サービス[9]を利用して、クラス名の日本語から英語への翻訳結果を得る。この作業は WordNet の対象言語が英語のためである。また、翻訳作業における属人性を排するために翻訳サービスを用いた。

3) ステップ2の情報をグラフ化し、グラフを解析

関連を持つ参照の方向や依存の方向を考慮するために、ステップ2の情報から有向グラフを生成し、経路が存在する全ての2クラス間の最短距離を算出する。単方向関連でない関連は、双方向への移動が可能な経路として扱う。関連の種類は特に考慮していない。

4) 解析結果に語間の類似度を付加

語間の類似度測定方法は2.1節に示した通りである。

5) ステップ4の情報から測定値を得る。

2.2.1節の定義式から、RDU 値を算出する。そして RDU 測定値の平均が CRSU である。

$$CRSU = (0.5 + 1 + 0.8333) / 3 = 0.7777$$

図1.2を同様に測定すると0.6944という結果を得る。ここで図1.1と1.2の直観的に感じる理解しやすさを改めて比較すると、双方はそれぞれ同じようなクラスを持っているが、関連構造が異なっている。図1.2はコースと記録のように関連の妥当性を感じにくいクラスが近くに配置されているため、容易に関連の妥当性を感じられる図1.1よりも理解性が低いと考えられる。

よって直観的に感じるクラス図の理解しやすさと測定値の対応が取れており、図1の例においては測定法と仮説 H1 が正しかったといえる。

2.3. パッケージ構造の理解性に関するメトリック

P はクラス図が持つパッケージの集合、 $|P|$ はクラス図が持つパッケージ数、要素としてのパッケージは $p_i (i = 1, \dots, |P|)$ とする。 div 式はクラス図における $p_x \cdot p_y$ 間において依存線を辿って到達が可能な経路の最短距離を表す。理解性の高いクラス図はパッケージ

名間の類似度が高いほどパッケージ間の最短距離は近く、パッケージ名間の類似度が低いほどパッケージ間の最短距離は遠いという仮説 H2 に基づいて、パッケージ間の構造的な最短距離に基づく、パッケージ名間の類似度に期待する値 $ESim$ を定義する。式を以下に示す。

$$ESim(p_x, p_y) = 1 / (div(p_x, p_y) + 1)$$

ただし、 $x \neq y$ とする。値域は $x \neq y$ より $0 < ESim(c_x, c_y) \leq 1/2$ となり、クラス図における両パッケージ間の最短距離に近いほど $ESim$ は $1/2$ に近づく。

$CWSim(p_x, p_y)$ は p_x と p_y のパッケージ名間の類似度を表す。 p_x と p_y 間の $ESim$ と $CWSim$ の差を取り、1に近いと理解性が高く、0に近いと理解性が低くなるように正規化した式が関連間距離理解度 RDU である。

$$RDU(p_x, p_y) = 1 - |ESim(p_x, p_y) - CWSim(p_x, p_y)|$$

最後に RDU 値のクラス図全体における平均をとることによってパッケージ関連構造理解度 $PRSU$: Package Relational Structure Understandability を得る。

$$PRSU(P) = \frac{\sum_{p_x \in P} \sum_{p_y \in P - \{p_x\}} RDU(p_x, p_y)}{|\{(p_a, p_b) \in P \times P \mid p_a \neq p_b \wedge div(p_a, p_b) \geq 1\}|}$$

上式の分母は $p_a \neq p_b$ かつ div 式の結果が1以上になるパッケージの組み合わせ数である。仮説 H2 が正しければ、 $PRSU$ 値が1に近づくほど読み手の理解性が高く、値が0に近づくほど理解性が低くなる。

図1.1の $PRSU$ 測定値は1、対して図1.2は0.8333となる。一方我々が感じる図1の理解しやすさの優劣は、図1.2の走行と管理という依存関係には妥当性を感じにくい、図1.1の走行管理と走行には依存関係の妥当性を強く感じることから、図1.1の方が優れている。これは $PRSU$ 測定値と対応が取れているため、図1の例においては $PRSU$ に関する仮説 H2 と測定法が正しかったといえる。

2.4. 類似度に基づくクラス凝集度

1つのクラスの全てのクラス名・属性名間、クラス名・操作名間、属性名・操作名間で類似度を測定し、項目別の平均を取る。その3項目を足し合わせた値が

大きければ読み手はそのクラスの凝集度を高く感じ、理解性も高く感じると、前述の仮説H3を詳細化する。

以下に定義式を示す。式における C はクラス図を持つクラスの集合、 $|C|$ は対象クラス図を持つクラス数、要素としてのクラスは $c_x (x=1, \dots, |C|)$ と表す。 A_x は c_x が持つ属性の集合、 $|A_x|$ は c_x が持つ属性の数、要素としての属性は $a_{xi} (i=1, \dots, |A_x|)$ と表す。同様に M_x は c_x が持つ操作の集合、 $|M_x|$ は c_x が持つ操作の数、要素としての操作は $m_{xj} (j=1, \dots, |M_x|)$ と表す。

まず各クラスにおける、クラス名・属性名間の類似度の平均： $simCA(c_x)$ 式、クラス名・操作名間の類似度の平均： $simCM(c_x)$ 式、属性名・操作名間の類似度の平均： $simAM(c_x)$ 式を定義する。

$$simCA(c_x) = \frac{1}{|A_x|} \sum_{a_{xi} \in A_x} CWsim(c_x, a_{xi})$$

$$simCM(c_x) = \frac{1}{|M_x|} \sum_{m_{xj} \in M_x} CWsim(c_x, m_{xj})$$

$$simAM(c_x) = \frac{1}{|A_x| + |M_x|} \sum_{a_{xi} \in A_x} \sum_{m_{xj} \in M_x} CWsim(a_{xi}, m_{xj})$$

次に以下3式によってクラス図全体における各項目の平均をとる。なお項目値を持たないクラスは平均の計算から除外する。

$$simCA(C) = \frac{\sum_{c_x \in C} simCA(c_x)}{|\{c_y \in C \mid simCA(c_y) > 0\}|}$$

$$simCM(C) = \frac{\sum_{c_x \in C} simCM(c_x)}{|\{c_y \in C \mid simCM(c_y) > 0\}|}$$

$$simAM(C) = \frac{\sum_{c_x \in C} simAM(c_x)}{|\{c_y \in C \mid simAM(c_y) > 0\}|}$$

最後の式によってそれらの値を足し合わせて類似度に基づく凝集性のメトリック $CCS : Class Cohesion based on word Similarity$ とする。

$$CCS(C) = simCA(C) + simCM(C) + simAM(C)$$

図1.1のクラス図のCCSを測定すると1.1667となり、図1.2を測定すると0.4442となる。我々が図1に対して感じた凝集度の高低と測定値の大小関係の対応が取れているため、図1の例においては測定法と仮説H3が正しかったといえる。

3. 測定結果と定性評価の比較

本稿では測定対象を、ETロボコン2008[10]の予選大会で提出されたモデルの中から、無作為に抽出した29個のモデルを使用した。ETロボコン参加チームは、自

律的にライントレースしながら所定のコースを走るロボットの制御ソフトウェアを、モデルを中心に置きながら開発する。生成されたモデルの定性評価は、複数人のドメインエキスパートが一定の評価基準に則したレビューによって下すため、属人性は排されている。定性評価は「モデルの書き方」5項目と「モデルの内容」6項目に関してA-Dの4段階で表され、その中から測定値の比較対象としてクラス図の理解性に関わる以下の2項目を選択した。

- ・図の見やすさ：図を見ただけで理解しやすいか。
- ・構造面：すべての要素および要素間の関係が網羅されており、要素および要素間の関係が妥当であるか。

3.1. クラス構造の理解性に関するメトリック

クラス図29個に対するCRSU測定値と、定性評価をA:4~D:1点として得た平均点を分布図にして図4に示す。平均点計算の際にETロボコンにおけるモデルは、ソフトウェアとして高品質な設計がなされているかが重視されるため、設計の品質に関わる「構造面」の評価には2倍の重みを付ける。具体的には図の「見やすさ」がC、「構造面」がBという評価であれば、平均点は $(2+3 \times 2)/2=4$ 点となる。

測定値と定性評価の相関係数は0.6400と、強い相関を得られた。グラフ内に示した数式はクラス図の理解性に関する定性評価の平均点を従属変数、CRSU測定値を独立変数とした単回帰式である。示した回帰式の係数が0となる仮説をたて検定すると、自由度27の有意水準1%の|t|値が2.771であるのに対して、回帰式の係数の|t|値が4.328と上回っており、有意水準1%で係数が0となる仮説は棄却され、回帰式は有効であることが示された。よってこの回帰式の変数にCRSU測定値を代入することにより、クラス図の理解性に関する定性評価を推測できる。

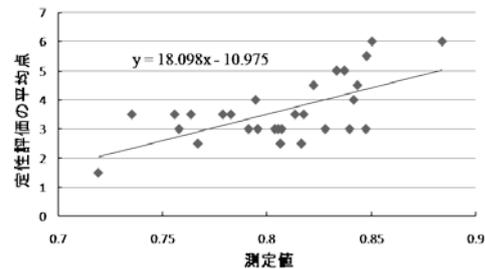


図4 CRSU測定値と理解性に関する定性評価の分布

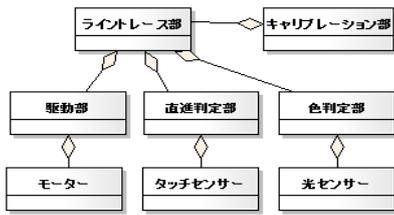


図5 CRSU 測定値と定性評価が共に高いクラス図

以下に2つの測定結果例を示す。

・CRSU 測定値・定性評価が共に高いクラス図

CRSU 測定値・定性評価が共に高く、図4における近似直線の近くに分布したクラス図の一部を図5に示す。このクラス図のCRSU 測定値は0.8434、定性評価は「見やすさ」がB、「構造面」がBである。Bという評価はクラス図が十分理解しやすく、要素間の関連も妥当であることを示す評価である。

クラス図を見ると、クラス「ライントレース部」に関連しているクラスは全て「部」という単語を含んだクラス名となっており、クラス図の理解性と一貫性を高める効果を狙っていると推測できる。同時にこのようなクラス図はクラス名間の類似度が高くなる。また、ハードウェアに関わるクラス群とメカニズムに関するクラス群の関連も全て妥当であり、クラス図の理解性およびCRSU 測定値は共に高くなる。

・CRSU 測定値・定性評価が共に低いクラス図

CRSU 測定値・定性評価が共に低く、図4における近似直線の近くに分布したクラス図を図6にクラス名のみ抜粋して示す。図6のクラス図の測定値は0.7670、定性評価は「見やすさ」がD、「構造面」がCである。

CRSU 測定値が低くなった要因はクラス「鯨鷹」である。鯨鷹のような造語はWordNet シソーラス上には存在しないため、鯨鷹クラスを関連の端点とするクラス間のクラス名の類似度は0となり、CRSU 値を下げる要因となる。「構造面」のCという定性評価は、どのような責務を負うか分からない鯨鷹クラスに対しても補足説明が記述されていたため、最低限の理解ができたことによると考えられる。

以下にCRSU の測定と評価について考察する。

a) クラス図が対象とする開発段階

今回の測定で良い結果を得られた事実は、分析段階・設計段階に関わらずクラス図は本質的に対象問題に存在する概念と概念間にある関連の構造を表現している、そのようなクラス図の理解性を特定のドメイン

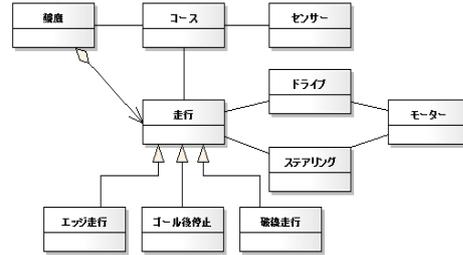


図6 CRSU 測定値と定性評価が共に低いクラス図

に依存しない汎用的な概念の関連構造を持つシソーラスによって推測できる事を示している。一方でクラス図はソフトウェア開発のライフサイクルにおいて、分析段階と設計段階で異なる役割を持っている。分析段階は対象問題に存在する概念と概念間の関連構造をそのままモデリングしたものを表す。設計段階では計算機システムの制御を目的に、分析段階のクラス図には現実世界で想定しないような概念と概念間の関連が追加される。以上のクラス図の性質から、少なくとも分析段階と設計段階の2グループに分けて測定し、定性評価との比較をしていく必要がある。

b) 参照の方向

本稿ではクラス図が持つ関連構造のうち、誘導可能性によって表される参照の方向のみ(矢印の向き)を考慮した。これは読み手がクラス図を理解する際に、矢印によって迎える先に対してのみ関連構造の妥当性を判断すると考えたためである。しかし、読み手は矢印が迎える先以外も、すなわち1つのクラスから他の全てのクラスに対して構造の妥当性を判断している可能性がある。そこで参照方向を考慮しない場合も想定して測定したところ、相関係数は0.2816と、参照方向を考慮した測定よりも弱い相関を得た。この事実は、読み手がクラス図を理解する際に参照の方向を加味していることを表す。参照の方向を考慮しない測定値と定性評価の分布を図7に示す。

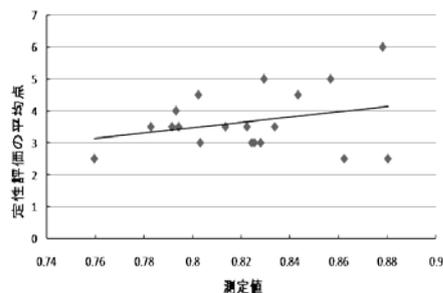


図7 参照方向を考慮しないCRSU 値と定性評価の分布

c) 他のメトリックとの比較

オブジェクト指向ソフトウェアのクラス間結合に基づく静的な複雑さを表す測定法に結合複雑度[4] *COF* : *Coupling Factor* がある。 *COF* はクラス図における継承関係および依存関係（破線矢印）を除くクラス間の単方向関連（双方向関連の場合は単方向関連2つ分と数える）の多さを、規模の大きさによらず0 から1 の間に正規化して測定する。計算式を以下に示す。

$$COF(C) = \frac{\text{継承方向を除く単方向関連の数}}{|C|^2 - |C| - 2(\text{全サブクラスの数})}$$

COF の測定値と理解性に関する定性評価の分布を図8に示す。図8内に示した近似直線と分布の相関係数は0.3880で、 *CRSU* より相関が弱いという結果が得られた。つまりクラス図が持つクラスの静的な構造のみに着目した複雑さ : *COF* の測定値から読み手のクラス図の理解性を推測するより、クラスの構造に加えて語の類似度に着目した *CRSU* の方がクラス図の理解性を推測するのに適しているといえる。

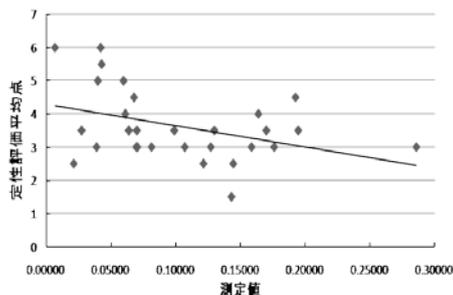


図8 *COF* 測定値と理解性に関する定性評価の分布

3.2. パッケージ構造の理解性に関するメトリック

パッケージ関連構造理解度 : *PRSU* の測定結果と定性評価の分布を図9に示す。図9内に示した近似直線と分布の相関係数は0.3219である。対象としたクラス図モデル29個の内、パッケージ構造を抽出できたモデルが9個と、標本数が少ないため統計的な結論とすることはできないが、現状では相関自体も弱い上に *PRSU* 測定値が低いほど定性評価が良くなるという期待とは逆の結果を得てしまったため、 *PRSU* の測定法としての妥当性は確認されなかった。

3.3. 類似度に基づくクラス凝集度

29個のモデルの中から、属性と操作が記述されていた12個のクラス図に対して、類似度に基づくクラス凝集度 : *CCS* の測定結果と定性評価の分布を図10に示す。図内に示した近似直線と分布の相関係数は0.1564と相関は弱く、 *CCS* の妥当性は確認されなかった。

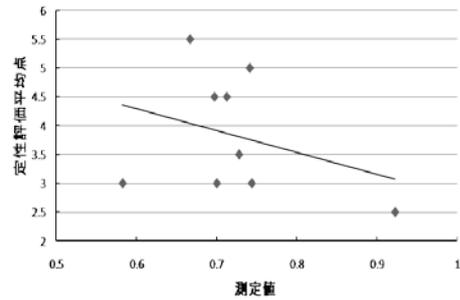


図9 *PRSU* 測定値と理解性に関する定性評価の分布

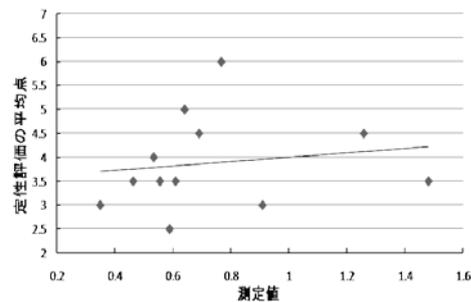


図10 *CCS* 測定値と理解性に関する定性評価の分布

3.2節と3.3節の結果から、クラス図の理解性を読み手が評価する際には、クラス構造が支配的な影響力を持ち、パッケージ構造やクラス凝集度の影響力は小さいと考察できる。

4. 関連研究

Chidamber, Kemerer らによって定義されたオブジェクト指向のシステムに関する以下の6つのメトリック、 *CK* メトリクス[3]がある。 *CK* メトリクスは経験的にあってはならないオブジェクト指向設計の構造を6つの側面から量的に判断することができる。しかしクラス図の理解性には言及していない。

種々の *UML* ダイアグラムのメトリックを測定する代表的なツールに *SD Metrics*[11]がある。クラス図に関しても、上記の *CK* メトリクスの一部を含む計32種のメトリックを測定することができる。また、デザインルールに関しても測定できる。具体例として、クラスが属性・操作を計60以上持っていないか、名前を付けられていないクラスがないかが挙げられる。 *SD* メトリクスは過去の研究によって得られたメトリックや、モデルが *UML* 標準を満たしているかを測る上では非常に有用であるが、クラス図の理解性を示す測定値を得ることはできない。

同じシソーラスを用いて要求分析の支援を試みる研究[12]がある。この研究で用いるシソーラスは、現存

のソフトウェアパッケージからドメインエキスパートが語を抽出することによって独自に生成したものである。提案手法ではドメインフリーなシソーラスを用いて特定ドメインを測定したが、ドメイン毎にシソーラスを作成し測定に用いれば、測定精度の向上を望める。

モデルの理解性に言及する研究として UML ステートチャート図の理解性に関する研究[13]がある。ステートチャート図の理解性を構造の複雑さに基づく幾つかのメトリクスから推測できるか検証し、成果を得ている。

クラス図の構造面からモデルの総合的な評価を推測する試み[5]があり、クラス間の結合に基づく構造的な複雑さ: *COF* の測定値を用いて、人手によるクラス図の総合的な品質の評価を推測できるか評価している。しかし測定値と定性評価との相関を分析したところ、相関は得られなかった。この結果はモデルの評価にはクラス図の構造的な複雑さ以外の要因も大きく影響することを示している。我々は複雑さ以外の要因を「語の類似度」とすることによって測定法を定め、モデルの理解性の評価との相関を分析した。

5. おわりに

我々はシソーラスから算出する語の類似度に着目し、クラス図の3つの視点それぞれに対して理解性に関する測定法を提案した。更にクラス図の理解性に関する定性評価との相関を分析することによって、これらの測定法の妥当性を評価した。

クラス構造の理解性に関するメトリック: *CRSU* の測定結果と理解性に関する定性評価の相関は強く、提案した測定法と仮説 *H1* の妥当性が確認できた。よって *CRSU* を用いて、クラス図の理解に必要な時間コストの見積もりや、同一問題に対するクラス図として複数のモデル候補が存在する際の理解性の高いモデルの選択をすることが可能となる。

パッケージ構造に着目した測定法: *PRSU* とクラスの凝集度に着目した測定法: *CCS* は、測定結果と定性評価の相関が弱く、現状では妥当性を確認することはできなかった。

今後の課題を以下に示す。

1) 異なるドメインの測定と評価

本稿では組み込みソフトウェアのモデルに対して測定・評価したが、今回得られた結果はドメイン特有の結果という可能性がある。よって異なるドメインにおける提案手法の有効性も評価していく。

2) *RDU* に関して

CRSU はクラス図全体で *RDU* 値の平均を取った値

である。これは *CRSU* の妥当性を評価する際に用いる定性評価がクラス図全体に対して下されたものであり、比較のために取らざるを得ない措置であった。実験により *RDU* の妥当性が確認されれば、クラス図の理解性を下げる箇所の特定に用いることができる。

3) 包括的なクラス図の理解性測定法の提案

クラス図はクラス名だけでなく、ロールや多重度といった情報も含む。現状では加味されていない情報がクラス図の理解性に与える影響を探っていく。

また、関連の種類によって有向グラフの経路の重みを設定し、提案手法を洗練する。

参考文献

- 1) Object Management Group : Unified Modeling Language Specification, Version 1.5, OMG document formal/03-03-01, 2003.
- 2) 荒井玲子:UMLによるオブジェクト指向モデリングセルフレビューノート,ディーアート,pp199,2005.
- 3) S.R.Chidamber and C.F.Kemerer : A Metirc suite for Object-Oriented Design, IEEE Trans. Software Eng., Vol.20, no.6, pp.476-493, 1994.
- 4) F.B.Abreu, et al. : Toward the Design Quality Evaluation of Object-Oriented Software Systems, Proc. 5th International Conference on Software Quality, 1995.
- 5) Hironori Washizaki, et al. : Experiments on quality evaluation of embedded software in Japan robot software design contest, 28th International Conference on Software Engineering, pp.551-560, 2006.
- 6) WordNet - Princeton University Cognitive Science Laborator. <http://wordnet.princeton.edu/>.
- 7) Ted Pedersen - WordNet::Similarity. <http://wn-similarity.sourceforge.net/>.
- 8) Object Management Group : MOF 2.0/XMI Mapping, Version 2.1.1, OMG document formal/07-12-01, 2007
- 9) Excite 翻訳. <http://www.excite.co.jp/world/>.
- 10) ET ロボコン 2008 資料集・実行委員会編. <http://www.etrobo.jp/ETROBO2008/index.html>.
- 11) SD Metrics - the design quality tool for UML Models . <http://www.sdmetrics.com/>
- 12) 加藤潤三, 佐伯元司, 大西淳, 永田守男, 海谷治彦, 古宮誠一, 山本修一郎, 蓬萊尚幸 : 要求分析のためのシソーラス作成支援, Technical report of IEICE. KBSE 103(217), pp.41-46, 2003.
- 13) José A. Cruz-Lemus, Ann Maes, Marcela Genero, Geert, Poels and Mario Piattini : The Impact of Structural Complexity on the Understandability of UML Statechart Diagrams, Working Papers of Faculty of Economics and Business Administration, Ghent University, Belgium, 2007.