

美的基準によるクラス図レイアウトの評価メトリクスの提案と評価

大宮 拓馬^{1,a)} 小形 真平^{1,b)} 岡野 浩三^{1,c)}

概要：誤読を防ぎやすいようにクラス図レイアウトを作成支援する方法として、クラス図上でクラス同士の重なりを禁止するなどの図要素の配置方針を定めた美的基準が多数存在する。しかし、クラス図が美的基準をどの程度満たしているかを定量的に評価する研究は十分になされていない問題がある。その改善のため、本稿では美的基準ごとにクラス図レイアウトの評価メトリクスを提案する。この評価メトリクスでは、たとえば、クラス同士が重なった箇所数を計測し、値が0に近い程クラス図が美的基準を満たすとす。提案手法の妥当性評価のため、ET ロボコンで高評価なクラス図を複数取り上げ、人の主観と評価メトリクスの値の双方で各クラス図が美的基準を満たすかどうかを評価した。その結果、双方の評価結果に一貫性が見られたため、提案手法が妥当である見込みを得た。

Metrics to Evaluate Class Diagram Layout Based on Aesthetic Criteria

1. はじめに

UML(Unified Modeling Language)のクラス図とは、オブジェクト指向分析・設計において、ソフトウェアの静的構造を視覚的に表現・整理・仕様化するための図である。大規模・複雑なシステムのクラス図では、クラスや、それらの関係を示す線が増えることでレイアウトが複雑となる。そして、クラスや線が重なる等した複雑で読み辛いクラス図では、開発者等に、クラスの見落としや線の追い間違い等の原因で誤読が生じてしまう。この問題の回避には、誤読の生じにくい要素配置が成されているクラス図が必要不可欠である。そして、そのような要素配置の方針を定めた、クラス同士の重なりを禁止するといった美的基準 [1][2][3][4][5][6][7][8][9][10][11][12] が提案されている。それらの美的基準は、その一種だけをクラス図レイアウトに適用することでその可読性を高めることがわかっている [13]。その一方で、互いに相反する美的基準が存在し、複数の基準を同時に適用することには限界がある。

そのため、我々はこれまで、クラス図レイアウトに対し

て優先的に適用すべき効果的な美的基準についての調査研究を実施してきた [14]。その一環として実施した調査実験の結果では、10個の美的基準が選りすぐられた。しかしながら、開発者がクラス図レイアウトにそれらの美的基準を適用して十分に満たせたか否かを確認しようとしても、その確認を客観的に行う方法が十分に確立されていないという課題が残っている。

そこで、本稿ではクラス図レイアウトが美的基準をどの程度満たしているかを評価するメトリクスを提案する。提案手法では、先行研究 [14] で選りすぐられた計10個の美的基準それぞれについて、値が0に近いほど美的基準をクラス図レイアウトが満たすと評価するメトリクスを定めた。提案手法の妥当性評価のため、先行研究 [14] で調査したクラス図に提案手法を適用した結果と、先行研究 [14] で得られた人による主観評価結果を比較した。なお、適用事例の制約により10個中7個の提案メトリクスを評価対象とした。その結果、双方の結果に一貫性が見られたため、評価対象となった7個の評価メトリクス全てが妥当である見込みを得た。

2. 準備

2.1 美的基準

美的基準は、グラフのレイアウトの可読性を向上するた

¹ 信州大学

a) 19w2027d@shinshu-u.ac.jp
b) ogata@cs.shinshu-u.ac.jp
c) okano@shinshu-u.ac.jp

表 1 各基準群の美的基準と元となった美的基準

基準 No.	美的基準名	説明	参考文献
主要基準群			
1	類似クラスのグループ化	類似しているクラス群をグループとして見做せるように近くに配置する	[1][2]
2	クラスとエッジの重なり禁止	クラス図上のクラスとエッジの重なりを禁止する	[3][4]
3	クラス同士の重なり禁止	クラス図上のクラス同士の重なりを禁止する	[6]
4	エッジの曲げ角度の一定化	エッジを曲げるときに角度を 90 度にする	[1][5][8]
5	エッジとエッジラベルを近くに配置	エッジとエッジラベルが離れない様に近くに配置する	[11]
6	クラスとエッジの直交配置	クラスに入射するエッジの入射角を 90 度にする	[11]
7	エッジ上の別々の矢印を避ける	エッジが始点から終点まで完全に重なっているときにエッジ端に記号を与えない	[7]
副次基準群			
8	エッジ同士の交差数を最小化	クラス図上のエッジ同士の交差を少なくする	[1][2][3][4][7][5]
9	継承エッジの統合	複数の子クラスから親クラスに接続される汎化関係のエッジを統合する	[7][10]
10	類似色の使用	同一グループのクラスに同色を配色する	[11]

めに提案されている [1][2][3][4][5][6][7][8][9]。そして、これらの美的基準をクラス図に応用する手法も提案されている [12]。美的基準は、グラフのノードをクラス図のクラスに対応させることでクラス図にも用いることができる。さらに、クラス図固有の汎化関係といった図要素に着目した美的基準も提案されている [10][11][12]。

美的基準はクラス図に単一で適用することで、可読性を高めることができ、美的基準の組み合わせ方によっては、さらに可読性を高めることができる [15]。その一方で、互いに相反する美的基準が存在する。例えば、線（エッジ）の交差数を最小化すること [1][2][3][4][7][5] を優先した結果、エッジ長を均一に保つこと [1][4][7] ができなくなることがある。そのため、本研究では、全ての美的基準でなく、クラス図レイアウトに優先的に適用すべき効果的な美的基準を扱うこととする。

2.2 美的基準の選定

先行研究 [14] では、クラス図レイアウトを見やすくする美的基準の組み合わせと選択の優先順位について調査実験を行った。本調査実験は、12名の情報工学系の学生が、ETロボコン [16] で A-評価以上を得た高評価な 14 枚のクラス図に対してクラス図レイアウトの見やすさを評価し、その評価結果に貢献した美的基準を回答するという趣旨のものであった。その結果、ほぼ全てのクラス図で 7 つの美的基準（以降、主要基準群と呼ぶ）が適用されていることと、レイアウトの見やすさが高評価であったクラス図が満たしやすかった 3 つの美的基準（以降、副次基準群と呼ぶ）が存在した。表 1 にそれら計 10 個の美的基準に基準 No. を割り振って示す。本研究では、これらの美的基準を対象とする。

3. 提案手法

3.1 概要

先行研究 [14] では、優先的に適用すべきと考えられる美的基準を得た。しかしながら、開発者がクラス図レイアウトにそれらの美的基準を適用して十分に満たせたか否かを

確認しようとしても、その確認を客観的に行う方法が十分に確立されていない。そこで本研究では、クラス図レイアウトが美的基準をどの程度満たしているかを評価するメトリクスを提案する。提案手法では、先行研究 [14] で得た美的基準を対象とし、クラス図を入力として、クラス図レイアウトが美的基準をどの程度満たしているかを表すメトリクス値を出力する。

3.2 クラス図レイアウトの評価メトリクス

表 2 に示すように、美的基準ごとに評価メトリクスを定義した。各評価メトリクスでは、値が低ければ低い程、その美的基準をクラス図レイアウトが満たすと評価する。つまり、メトリクス値が 0 となれば、美的基準を完全に満たしたと評価する。逆に、メトリクス値の高さはクラス図レイアウトがその美的基準にどの程度逸脱しているかを表すものとなる。

評価メトリクスの詳細を次項から説明する。それら説明の前提として、クラス間に表れるエッジは、直線の場合には両端点間の線分で構成されるとする。ここで端点とは、エッジがクラスに接続する点を表す。たとえば、エッジが一つの線分 AB で表せる場合、A と B が端点である。一方で、エッジが途中で曲がっている場合には、その曲がり点と両端点を頂点とし、隣り合う 2 つの頂点ごとに得られる線分の集合によりエッジは構成されるとする。たとえば、エッジが二つの線分 AB と BC で表せる場合、A と C が端点であり、B が曲がり点となる。

3.2.1 類似クラスのグループ化

この美的基準は、クラス図作成者が独自にクラス間の類似性を判断し、類似性の高いクラス群をグループに見えよう配置するものである。このことから、この美的基準は、クラス図作成者の意図通りにクラスのグループが読み取れるレイアウトになっているときに満たされていると言える。そこで、提案手法では、クラス図作成者による意図的なクラスのグループ化（以下、主観的グルーピング）の結果と、クラス図レイアウトに基づく客観的な方法でのク

表 2 美的基準に対応したメトリクス

美的基準	評価メトリクス
主要基準群	
1. 類似クラスのグループ化	クラス図作成者の意図したグループに属さなかったクラスの数
2. クラスとエッジの重なり禁止	重なったクラスとエッジのペアの数
3. クラス同士の重なり禁止	重なったクラス同士のペアの数
4. エッジの曲げ角度の一定化	エッジ上の 90 度以外で曲がった点の数
5. エッジとエッジラベルを近くに配置	エッジ上の然るべき箇所近くに無いエッジラベルの数
6. クラスとエッジの直交配置	クラスへの入射角が 90 度でないエッジの端点の数
7. エッジ上の別々の矢印を避ける	記号付きエッジ端があるエッジを一つは含む、完全に重なったエッジ同士のペアの数
副次基準群	
8. エッジ同士の交差数を最少化	エッジ同士の交差数
9. 継承エッジの統合	未統合な継承エッジの数
10. 類似色の使用	配色に着目したとき、クラス図作成者の意図したグループに属さなかったクラスの数

ラスのグループ化（以下、客観的グルーピング）の結果との差異に着目し、クラス図作成者の意図したグループに属さなかったクラスの数を用いた評価メトリクスを設ける。

主観的グルーピングでは、クラス図作成者がクラスのグループを任意に手動で定義する。そして、この定義の手段として、クラス図のパッケージ要素の使用がありうる。一方、客観的グルーピングでは、レイアウト上の情報に基づいてクラスのグループを系統的に定義する。そして、この定義の手段として、クラス図上のパッケージ要素の明示や、グラフクラスタリング [17] などのクラスタリング手法がありうる。

計測方法は、まず主観的グルーピングと客観的グルーピングのそれぞれでクラスをグループ化する。次に、主観的グループごとに客観的グループを 1 つ対応付ける。この対応付けでは、各主観的グループと共通なクラスが最も多い客観的グループを（候補が複数あっても）1 つずつ選ぶ。このとき、主観的グループと客観的グループが多対 1 にならないようにする。また、主観的グループ数 > 客観的グループ数のとき、対応付け先のない主観的グループを許容する。そして、主観的グループに存在するが、対応付けた客観的グループに存在しないクラス数を計る。たとえば、1 つの主観的グループ A,B,C,D,E があり、2 つの客観的グループ A,B,C と D,E がある場合、共通なクラスが最も多い、前者の A,B,C,D,E と後者の A,B,C が対応付く。そして、主観的グループにしかない D,E を数えると結果が 2 となる。これを主観的グループ数分繰り返す、それぞれの結果を積算してメトリクス値とする。ただし、主観的グループと客観的グループの組み合わせによってはメトリクス値が増減してしまうことがあるため、とりうる全ての組み合わせを試し、最も低かった値をメトリクス値とする。もし主観と客観の両グルーピングで同一のグループが得られれば、メトリクス値は 0 となる。

実際には、類似の捉え方は様々であると考えられる。た

とえば、同一パッケージに属するクラス間を類似と捉えるとき、レイアウト上にパッケージを表せば、客観的グルーピングのグループはパッケージとなる。そして、主観的グループもまたパッケージで表し、かつ、レイアウト上に全てのパッケージを表せば、本メトリクス値は 0 となる。グラフクラスタリングであれば、リンクの有無の類似性などが類似の意味となる。また従来では、記号的グルーピング、意味論的グルーピング、配置的グルーピング、図を見やすくするためのグルーピング、循環をグルーピングという異なる考え方のグルーピングが様々にある [12]。これらを踏まえて、本メトリクスでは、主観と客観の各グルーピングの具体的手段までは問わないものとする。

3.2.2 クラスとエッジの重なり禁止

この美的基準は、クラス図上で重なったクラスとエッジのペアが一つもないときに満たされていると言える。そこで、提案手法では、重なったクラスとエッジのペアの数を計る評価メトリクスを設ける。

計測方法は、まずクラス図上に存在するエッジとクラスの全ての組み合わせをペアとして得る。次に、各ペアについて、エッジを構成する線分が一つでも、クラスの四角内の領域に重なっていないかを調べる。そして、その結果からクラスとエッジが重なっていたペアの数を計る。なお、クラスの四辺（境界線）上との重なりは、通常、端点で生じるので重なりとみなさない。

3.2.3 クラス同士の重なり禁止

この美的基準は、クラス図上で重なったクラス同士のペアが一つもないときに満たされていると言える。そこで、提案手法では、重なったクラス同士のペアの数を計る評価メトリクスを設ける。

計測方法は、まずクラス図上に存在するクラス同士の全ての組み合わせをペアとして得る。次に、各ペアについて、クラス間で互いの四角の領域が四辺（境界線）を含め重なっていないかを調べる。そして、その結果からクラス

同士が重なっていたペアの数を計る。

3.2.4 エッジの曲げ角度の一定化

この美的基準は、クラス図上でエッジの曲げ角度が全て 90 度のときに満たされていると言える。そこで、提案手法では、エッジ上の 90 度以外で曲がった点の数を計る評価マトリクスを設ける。

計測方法は、まず複数の線分で構成されるエッジを得る。次に、各エッジで隣接する線分のペアを全て得る。たとえば、線分 AB, BC, CD で構成されたエッジがあったとき、(AB, BC), (BC, CD) のペアを得る。そして、各ペアで線分がなす角を求め、その角が 90 度でない曲がり点の数を計る。

3.2.5 エッジ上の別々の矢印を避ける

この美的基準は、クラス図上で完全に重なったエッジのペアについて、いずれのエッジ端にも関連端名・多重度・誘導可能性などの記号が与えられていないときに満たされていると言える。そこで、提案手法では、記号付きエッジ端があるエッジを一つは含む、完全に重なったエッジ同士のペアの数を計る評価マトリクスを設ける。

計測方法は、まずクラス図上に存在する完全に重なったエッジ同士の全ての組み合わせをペアとして得る。次に、各ペアについて、各エッジ端の記号の有無を調べる。たとえば、線分 AB のエッジと線分 CD のエッジが完全に重なっていたとき、頂点 A, B, C, D の記号の有無を調べる。そして、記号があるエッジ端が一つでもあるペアの数を計る。

3.2.6 エッジとエッジラベルを近くに配置

この美的基準は、エッジ端の近くに関連端名や多重度といったラベルが配置され、かつ、エッジの近くに関連名といったラベルが配置されているときに満たされていると言える。そこで、提案手法では、エッジ上の然るべき箇所の近くに無いエッジラベルの数を計る評価マトリクスを設ける。

計測方法は、まず全てのエッジを得る。次に、各エッジに係るラベルについて計測を行うが、エッジ端ラベル（関連端名や多重度）かエッジラベル（関連名）かで計測手順を変える。

エッジ端ラベルの場合、まず前提としてエッジ端ラベルが存在すべき側のエッジの端点を A とし、端点 A で接続したクラス辺を BC とする。そして、エッジの中点を A' とし、エッジに対して垂直に A' を通る線分 B'C'（ただし、長さは B'A'=BA かつ A'C'=AC を満たす）を求める。さらに、A->A' の方向へエッジをなぞるように線分 BC を拡張した領域を E（頂点は BCC'B'）とする。このとき、領域 E と全く重ならない領域（四角）を持つラベルの数を計測する。

エッジラベルの場合、まず前提としてエッジの両端点を

A, A' とし、端点 A で接続したクラス辺を BC とし、端点 A' で接続したクラス辺を B'C' とする。そして、A->A' の方向へエッジをなぞるように線分 BC を拡張した領域を E（頂点は BCC'B'）とする。なお、長さ BC ≠ B'C' の場合、線分 BC の拡張時にその長さも最終的に B'C' と同一となるように線形的に拡大/縮小する。このとき、領域 E と全く重ならない領域（四角）を持つラベルの数を計測する。

3.2.7 クラスとエッジの直交配置

この美的基準は、クラス図上でクラスへのエッジの入射角が全て 90 度のときに満たされていると言える。そこで、提案手法では、クラスへの入射角が 90 度でないエッジの端点の数を計る評価マトリクスを設ける。

計測方法は、まず全てのエッジを得る。次に、各エッジについて、まず一つの端点 A を取り挙げ、エッジが端点 A で接続するクラス辺を BC とする。そして、端点 A を含むエッジの線分と線分 BC とのなす角を入射角として求める。さらに、もう一方の端点についても同様に入射角を求める。このように求めた入射角が、90 度でなかった端点の数を計測する。

3.2.8 エッジ同士の交差数を最小化

この美的基準は、クラス図上でエッジ同士が交差していないときに満たされていると言える。そこで、提案手法では、エッジ同士の交差数を計る評価マトリクスを設ける。

計測方法は、まずクラス図上に存在するエッジ同士の全ての組み合わせをペア（エッジペア）として得る。次に、各ペアについて、一方のエッジの線分集合 S1 と他方のエッジの線分集合 S2 の間で、線分の全ての組み合わせをペア（線分ペア）として得る。たとえば、線分ペア (s1, s2) があったとき、s1 は必ず S1 の要素であり、s2 は必ず S2 の要素である。各線分ペアで線分が重なった点や線分を調べる。全ての線分ペアを調べた後、重なりがあった点や線分を総合して、結合可能なものは結合する。たとえば、線分 (0, 10)-(0, 20) と線分 (0, 20)-(10, 20) が得られたとき、点 (0, 20) で結合して一つの線として扱う。この結果、得られた断片（点や線）の数を交差数とする。そして、全てのエッジペアで交差数を積算するよう計測し、マトリクス値とする

3.2.9 継承エッジの統合

この美的基準は、複数の子クラスを持つ親クラスが存在するとき、その親クラスに接続される全ての汎化関係のエッジ（継承エッジ）が統合されているときに満たされていると言える。そこで、提案手法では、未統合な継承エッジの数を計る評価マトリクスを設ける。

計測方法は、まずクラス図上で、複数の子クラスと継承エッジで接続されている親クラスを全て得る。次に、親クラスごとに継承エッジの全ての組み合わせをペアとして得る。そして、ペア内の継承エッジ間で一部の線分が重なっているかを調べる。継承エッジの統合後は直線となることもあるが、クランク状に曲がっていることがある。これを

前提として、ペア内の継承エッジを g_1, g_2 とおき、その親クラス側の端点を v_1, v_2 とそれぞれ置く。そして、 v_1 と v_2 の座標が同じであり、かつ、 v_1 と v_2 それぞれから伸びる線分が重なっている場合、統合済として記録しておく。全ての親クラスについて、継承エッジの統合の有無を記録した後、どの継承エッジとも統合されていない孤立した継承エッジの数を計測する。

3.2.10 類似色の使用

この美的基準は、「類似クラスのグループ化」と同様に、主観的グルーピングの結果に対し、色ごとにグループを作成する客観的グルーピングの結果が整合するときに満たされていると言える。そこで、提案手法では、クラス図作成者の意図したグループに属さなかったクラスの数を用いた評価メトリクスを設ける。ただし、ここではクラスの配色に着目することとする。また、クラス図上の全てのクラスが同一色の場合、クラス図作成者にクラスを色分けする意図がないとみなし、本メトリクスは計測不可とする。

計測方法は、「類似クラスのグループ化」の計測方法と同様である。ただし、客観的グルーピングでは、同じ色のクラス群をグループにするものとする。

4. 提案手法の評価実験

4.1 評価実験概要

本評価実験では、提案手法の妥当性を評価することを目的とする。そのために、提案した評価メトリクスの値が先行研究 [14] の人による手動評価結果と一貫する結果となるか否かを確認した。両者の結果が一貫する場合は、提案手法は人の感覚に近い結果を得られるということであり、本実験ではそれをもって提案手法を妥当と評価する方針である。そこで、2.2 節で触れた、ET ロボコンで A-評価以上（上位 2 ランクに入っていたもの）であった 14 枚のクラス図に提案手法を適用した。そして、人による手動評価結果 [14] と提案手法による評価結果とを比較した。

美的基準 No.1「類似クラスのグループ化」と No.10「類似色を使用」の評価メトリクスは、クラス図作成者による主観的グルーピングを要する。しかし、適用事例では、その情報が存在しなかった。たとえば、クラス図レイアウト上のパッケージ表現を主観的グルーピングの結果として扱っても、客観的グルーピングの結果と必ず整合してしまうため、妥当な評価ができないと考えられた。加えて、No.7「エッジ上の別々の矢印を避ける」では、エッジが重なっているかどうかを調べる必要がある。しかし、評価対象のクラス図は紙面に印刷されたものであったため、この正確な評価ができない状況であった。したがって、基準 No.1「類似クラスのグループ化」と No.7「エッジ上の別々の矢印を避ける」、No.10「類似色を使用」本実験で評価しないこととした。このことから、本評価実験では、No.2,3,4,5,6,8,9 の美的基準を評価した。

4.2 評価実験の流れ

評価実験は以下の手順で行なった。

手順 1 評価メトリクスの計測

適用事例となるクラス図 14 枚に対して、提案手法を適用し、実験者が手動で各評価メトリクス (No.2,3,4,5,6,8,9) を計測した。

手順 2 手動評価結果と評価メトリクス値との比較

手動評価結果 [14] と評価メトリクス値 (手順 1) とを比較した。ここで、手動評価結果とは、14 枚の各クラス図に適用されている美的基準が何かを、情報工学系の学生 12 名それぞれが判断した結果である。そして、判断対象となった美的基準には、本稿の No.2,3,4,5,6,8,9 の美的基準を全て含んでいた。提案手法の妥当性を示す上で期待される結果としては、評価メトリクス値が低いほど、その美的基準が適用されていると判断した学生が多いことである。

4.3 結果

本節では、美的基準ごとに評価した結果を示す。評価結果は、各クラス図に対して、提案手法のメトリクスを計測した値（以下、メトリクス値）と、人が手動で適用ありと判断した人数（以下、適用あり判断数）を比較したものである。

4.3.1 メトリクス値が全て 0 であった美的基準

次の 4 つの美的基準に対する評価メトリクス値が 14 枚のクラス図全てで 0 であった。また、手動評価結果では、No.2,3,4,5 では全てのクラス図で 9 人以上が適用ありと判断した。

- No.2 クラスとエッジの重なり禁止
- No.3 クラス同士の重なり禁止
- No.4 エッジの曲げ角度の一定化
- No.5 エッジとエッジラベルを近くに配置

4.3.2 クラスとエッジの直交配置

表 3 は、クラス図ごとの基準 No.6「クラスとエッジの直交配置」について、適用あり判断数で降順ソートした結果を示す。適用あり判断数とメトリクス値の項目間に対し、ピアソンの相関係数を求めたところ、 -0.61 となり、負の相関が見られた。

4.3.3 エッジ同士の交差数を最小化

表 4 は、クラス図ごとの基準 No.8「エッジ同士の交差数を最小化」について、適用あり判断数で降順ソートした結果を示す。適用あり判断数とメトリクス値の項目間に対し、ピアソンの相関係数を求めたところ、 -0.88 となり強い負の相関が見られた。

4.3.4 継承エッジの統合

表 5 は、クラス図ごとの基準 No.9「継承エッジの統合」について、適用あり判断数で降順ソートした結果を示す。適用事例のクラス図では、継承エッジが存在していない図

表 3 基準 No.6 のメトリクス値と適用あり判断数

	クラス図 14 枚													
メトリクス値	0	0	10	0	0	4	0	2	0	0	0	0	14	10
適用あり判断数	11	11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	2

表 4 基準 No.8 のメトリクス値と適用あり判断数

	クラス図 14 枚													
メトリクス値	0	0	0	0	0	6	4	4	4	8	17	10	17	10
適用あり判断数	11	11	10	8	7	6	6	5	5	2	1	1	1	1

が複数存在した。継承エッジが存在していないクラス図のメトリクス値には、“*”を付記している。継承エッジが存在していないクラス図はメトリクス値が0、かつ適用あり判断数が0人、または1人という結果になっていた。このことから、継承エッジが存在しないクラス図では、メトリクス値と適用あり判断数がともにほぼ0という結果になった。また、継承エッジが存在するクラス図の適用あり判断数とメトリクス値の項目間に対し、ピアソンの相関係数を求めたところ、-0.93 となり強い負の相関が見られた。

5. 考察

5.1 全てのクラス図でメトリクス値が0となっていた美的基準について

実験結果から、クラス図中のメトリクス値がほぼ全て0だった美的基準は以下であった。

- No.2 クラスとエッジの重なり禁止
- No.3 クラス同士の重なり禁止
- No.4 エッジの曲げ角度の一定化
- No.5 エッジとエッジラベルを近くに配置

これらの美的基準が適用されているクラス図について、メトリクス値と適用あり判断数の結果を比較したところ、メトリクス値が0であったことに対して、適用されると判断した人は9-12人と少なくとも75%以上の多さであった。このことは、メトリクス値と人の判断が一貫していたことの根拠となる。

一方で、適用されていると判断した人の割合が全てで100%とならなかった理由は、若干名による美的基準に対する誤解や、クラス図への誤認が原因と考えられる。この一因について、No.5“エッジとエッジラベルを近くに配置”を例に挙げて説明する。No.5で適用あり判断数が9となっていたクラス図の一部を図1に示す。図1では、一つのクラスから3本の関連（エッジ）が伸びており、その関連端名が複数のエッジを跨るように配置されていた。この状態は、確かにエッジとエッジラベルが近くに配置されているが、どのエッジラベルがどのエッジに対するものなのかの判別が付きにくい。そのため、このレイアウトは当該美的基準を満たすもの見やすいとは言えない可能性がある。

そして、No.5で適用あり判断数が10となっていたクラス図にも同様な状態が見られた。

また、No.5“エッジとエッジラベルを近くに配置”のメトリクス値の計測時に図2の様な要素配置が存在した。図2では、2つのクラス間に1本のエッジとそれに付帯している関連端名が配置されていた。エッジに付帯している関連端名は、エッジの近くに配置されているが、エッジの中点付近に配置されているため、関連端名が存在すべき側の判断が付きにくい。そのため、このレイアウトは当該美的基準を満たすもの見やすいとは言えない可能性がある。これは評価メトリクスの計測方法において、エッジの中点という設定が妥当ではない可能性がある。たとえば、中点までの各点で領域Eを得たときと、適用あり判断数との関係を探ることで、No.5“エッジとエッジラベルを近くに配置”の評価メトリクスの計測方法をより妥当にすることができると考えられる。その試行を現実的に行うには、メトリクスを自動計測するツールを実現する必要があるが、それは今後の課題となる。

これらのことを踏まえ、提案手法の優位性として次の2点があると考えられる。第一に、漠然と見にくいと思うレイアウトがあったとしても、美的基準（評価メトリクス）ごとに問題を切り分けて整理し、原因を追跡できることである。これはメトリクスが、人のあいまいな理解によることなく、事実を定量的に示すことによる。第二に、提案手法がさらなる美的基準の探究に応用できうることである。もし図1の例で“エッジとエッジラベルを近くに配置”が適切に適用されていたとすると、レイアウトに他の問題があったことになる。しかし、この解決に資する美的基準は我々の知る限り無かった。このことから、たとえば“エッジラベルを付帯させるエッジ以外から離す”といった新たな美的基準を発見支援する手法になりうる。

表 5 基準 No.9 のメトリクス値と適用あり判断数

	クラス図 14 枚													
メトリクス値	0	0	0	0	0	0	0*	0*	0*	0*	7	0*	0*	0*
適用あり判断数	11	10	10	10	8	7	1	0	0	0	0	0	0	0

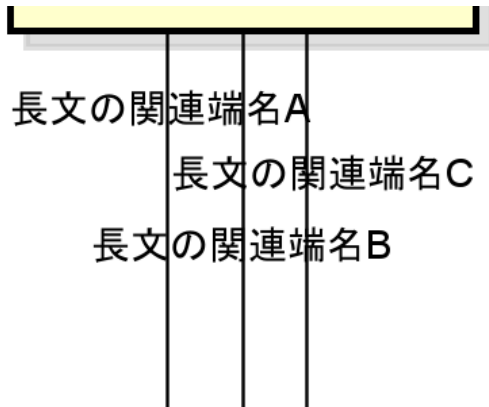


図 1 複数の縦線に対して横長の関連端名が跨っている要素配置



図 2 エッジの中点付近に配置されている関連端名

5.2 7以上のメトリクス値が見られた美的基準について

美的基準 No.6,8,9 では、評価メトリクス値に7以上の値が見られた。つまり、美的基準を十分に満たしていると言いき難い状態のクラス図が存在したことが示唆された。そして、適用あり判断数とメトリクス値の相関係数について、No.6では-0.61以上の負の相関が見られ、No.8,9では、-0.88以上の強い負の相関が見られた。このことは、適用あり判断数が多いほど、メトリクス値が低かったことを示唆するものであったため、人の感覚に対して提案手法は妥当な結果を導いたと考えられる。

一方で、強い負の相関までは見られなかったNo.6“クラスとエッジの直交配置”については、適用あり判断数とメトリクス値がともに10であった例も見られた。そのため、メトリクス値が0でないクラス図全てを確認した。その中で適用あり判断数が10以上であった3つのクラス図では、クラスへのエッジの入射角が90度ではないが、ほぼ90度

である端点が見られた。そして、この数が評価メトリクス値に反映されていた。また、適用あり判断数が10未満の2つのクラス図では、クラスへのエッジの入射角が90度から遠い端点が複数存在していた。これらのことは、クラス図が厳密に美的基準を満たさずとも、人の感覚的には美的基準を満たしたと思える範疇が存在することを示唆している。そのため今後は、人の許容できる角度の調査や、その結果となる角度を考慮したメトリクスの計測方法を検討する。たとえば、そのような計測方法の例として、90度と入射角の差を計測値の重みとして扱う方法が考えられる。

6. 妥当性への脅威

6.1 内的妥当性への脅威

評価実験では、先行研究 [14] における人の主観による手動評価結果を用いた。この結果は、情報工学系の学生12名から得たものである。したがって、当該学生らの美的基準に対する理解度は、“メトリクス値が低ければ、適用あり判断数が高い”という因果関係に対する妥当性への脅威になりうる。その一端として、表5において継承エッジが存在しないクラス図に対して、1名が継承エッジの統合がなされていると回答している。しかしながら、これまで考察で述べてきたように、美的基準が適用されているが、見やすいとは限らない図に対して、若干の学生が期待に反して「適用なし」と回答していた。したがって、当該学生の理解度が増すことで、仮定を支持する結果となりえても、仮定を満たさない状況は生じにくいと考えられる。

また、表3でメトリクス値と適用あり判断数がともに10であったように、メトリクス値が低ければ、適用あり判断数は高いという仮定は、単純なメトリクスでは成立しない可能性がある。考察でも述べたように、人の感覚に適合するようにメトリクスを重み付ける必要があると考えられる。

6.2 外的妥当性への脅威

本実験では、ETロボコンで上位2ランク以内に位置する高評価なクラス図を対象とした。すなわち、クラス図にはある程度数のクラスや関係が記述されている。より広範には、学習者のさらに小規模なクラス図や、実務で用いられる大規模なクラス図が存在しうる。それらの図は、図要素数をカウントしている提案手法に対して、今回の適用事例とは異なる結果をもたらしうる。そのため、今後の課題として、それらに提案手法を適用し、提案手法が有効に機

能するかを評価したい。

7. 関連研究

レイアウトの定量的評価に関する先行研究として、Helen[5]は、グラフの可読性を評価することを目的に、グラフ描画アルゴリズムで考慮されている7つの美的基準にメトリクスを提案している。この手法では、ノードを点として扱っているためにクラスの間を考慮できるメトリクスはなく、さらにラベルに対するメトリクスも含んでいない。一方、本研究の提案手法では、クラス図を対象としているためにクラスの間やラベルを考慮したメトリクスを提案しており、従来手法では評価できない内容を新たに含むものである。

また、美的基準に関する先行研究として、角ら[18]はグラフの“見やすさ”を定量的に評価するために美的基準を用いて、グラフレイアウトの評価を行った。評価方法として、グラフレイアウトの“見やすさ”を向上させる美的基準を自動レイアウトアルゴリズムに組み込み、グラフのレイアウトを行った。自動レイアウト後のグラフに対して、美的基準自体を評価項目として評価を行った。結論として、“見やすさ”を簡単に定義することはできないと主張している。また、美的基準を適用することでグラフレイアウトの“見やすさ”が向上したと評価した。しかし、グラフレイアウトに美的基準がどの程度満たされているかの評価は行われていない。一方で、本研究では、クラス図レイアウトの評価をするために、美的基準に対応した評価メトリクスを提案した。これにより、美的基準が満たされているかの定量評価を行う事で、美的基準を満たした可読性の高いクラス図レイアウトを作成することが容易になると考えられる。

8. まとめ

本稿では、クラス図が美的基準をどの程度満たすかを定量的に評価するメトリクスを提案した。評価実験の結果から、14枚のクラス図に対し、提案手法によるメトリクス値と人による手動評価結果に一貫性が見られたことから、人の主観に対して提案手法が妥当であったことがわかった。今後の課題として、未評価な3種類の美的基準について厳密に評価するために、評価ツールの試作と追加実験を計画する。加えて、人の許容範囲を考慮したメトリクスとするための追加調査を計画する。

参考文献

- [1] M, T. and Rodgers, P.: Applying graphical design techniques to graph visualisation., *Ninth International Conference on Information Visualisation (IV'05)*, Vol. 2005, pp. 651–656 (2005).
- [2] Tamassia, R., Di Battista, G. and Batini, C.: Automatic graph drawing and readability of diagrams, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 18, No. 1, pp. 61–79 (1988).
- [3] Harel, D.: On the aesthetics of diagrams (1998).
- [4] Davidson, R. and Harel, D.: Drawing graphs nicely using simulated annealing, *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol. 15, No. 4, pp. 301–331 (1996).
- [5] Purchase, H. C.: Metrics for graph drawing aesthetics, *Journal of Visual Languages & Computing*, Vol. 13, No. 5, pp. 501–516 (2002).
- [6] Wetherell, C. and Shannon, A.: Tidy drawings of trees, *IEEE Transactions on software Engineering*, No. 5, pp. 514–520 (1979).
- [7] Biedl, T., Marks, J., Ryall, K. and Whitesides, S.: Graph multidrawing: Finding nice drawings without defining nice, *International Symposium on Graph Drawing*, Springer, pp. 347–355 (1998).
- [8] Cruz, I. F. and Tamassia, R.: Graph drawing tutorial, URL: www.cs.brown.edu/rt/papers/gd-tutorial/gd-constraints.pdf (1998).
- [9] Bennett, C., Ryall, J., Spalteholz, L. and Gooch, A.: The aesthetics of graph visualization., *Computational aesthetics*, Vol. 2007, pp. 57–64 (2007).
- [10] Purchase, H. C., Carrington, D. and Alder, J.-A.: Empirical evaluation of aesthetics-based graph layout, *Empirical Software Engineering*, Vol. 7, No. 3, pp. 233–255 (2002).
- [11] Eichelberger, H.: Nice class diagrams admit good design?, *Proceedings of the 2003 ACM symposium on Software visualization*, pp. 159–167 (2003).
- [12] Sun, D. and Wong, K.: On evaluating the layout of UML class diagrams for program comprehension, *13th International Workshop on Program Comprehension (IWPC'05)*, IEEE, pp. 317–326 (2005).
- [13] Purchase, H. C., McGill, M., Colpoys, L. and Carrington, D.: Graph drawing aesthetics and the comprehension of UML class diagrams: an empirical study, *In Vis. au*, pp. 129–137 (2001).
- [14] 大宮拓馬, 小形真平, 岡野浩三: 可読性の高いクラス図レイアウトを作成するための美的基準の調査, 日本ソフトウェア学会ソフトウェア工学の基礎研究会 (FOSE), Vol. 2020, No. 27, pp. 57–66 (2020).
- [15] 三末和男, 杉山公造ほか: マグネティック・スプリング・モデルによるグラフ描画法について, 情報処理学会研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 1994, No. 60 (1994-HI-055), pp. 17–24 (1994).
- [16] ET ロボコン: ET ロボコン2018, <https://www.etrobo.jp/2018archive/>. (Accessed on 06/28/2018).
- [17] 小川裕也, 前川政司, 竹内 孝, 佐々木勇和, 鬼塚 真: 隣接性と構造類似性を考慮したグラフクラスターリング (2019).
- [18] 角 浩二, 田中寿俊, 榎原博之, 中野秀男: グラフ描画アルゴリズムの性能評価, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. 79, No. 3, pp. 680–686 (1996).