

# Simulink モデル分割判別を利用した品質評価手法の検討

峯岸 賢吾<sup>†1,a)</sup> 上田 賀一<sup>†1,b)</sup> 深津 隆志<sup>†2</sup> 久保 孝行<sup>†3</sup>

**概要：**現在、多くの組込みシステム開発の現場で、MATLAB/Simulink を用いたモデルベース開発が行われている。近年のシステム大規模化・複雑化により、Simulink を用いた開発において高品質で効率的なモデル作成が求められている。これまでの研究でモデルメトリクスを用いた品質分析は分析精度が低く、十分な評価結果が得られていない。本研究では、精度向上のためモデルの各レイヤをデータフローと構造の2種類に分類し、判別結果を利用したモデル評価手法を検討し、その結果について考察を述べる。

**キーワード：**MATLAB/Simulink, モデルメトリクス, 多変量解析, 判別分析, 重回帰分析

## A Study of Quality Evaluation Method Using Division Determination by Simulink Model Metrics

MINEGISHI KENGO<sup>†1,a)</sup> UEDA YOSHIKAZU<sup>†1,b)</sup> HUKAZU TAKASHI<sup>†2</sup> KUBO TAKAYUKI<sup>†3</sup>

**Abstract:** Currently, the model-based development using MATLAB/Simulink at development site of many embedded systems have been made. In recent years, according as the embedded systems become high-performance, System development with Simulink are seeking high quality and efficiency in model design. In previous research, because analytical accuracy is low, these techniques do not give satisfactory evaluation results. In this study, I classified the data flow layer and the structure layer for purpose of accuracy improvement. I considered the model evaluation method using the discrimination result of Simulink model layer type.

**Keywords:** MATLAB/Simulink , Model metrics , Multivariate analysis , Multiple regression analysis , Discriminant analysis

### 1. はじめに

近年、組込みシステムの高機能化に伴い、大規模化・複雑化が進んでいる。それにもかかわらず、組込みシステム開発の現場では開発期間が短縮される傾向にあり、高い品質の維持が困難になっている。現在、多くの組込みシステムの開発現場で MATLAB/Simulink を用いたモデルベース開発が行われている。Simulink で作成したモデルは、設

計工程で発生するエラーの早期検出や、シミュレーションによる動作検証、プログラムコードの自動生成などに利用される。Simulink を用いたシステム開発もまた、高品質で効率的なモデル設計が求められている。

UML といったモデリング技術を使用したモデル駆動型開発では、メトリクス (metrics:測定基準, 尺度) を使用した設計モデル品質評価や欠陥検出に関する研究が数多く行われている。メトリクスによる設計モデル品質評価は、設計時に混入される欠陥の発見や危険性が評価でき、定量的評価によるモデル品質向上が見込める。しかし、メトリクスを使用した Simulink モデルの品質評価に関する研究はほとんど行われていない\*1。そのため、開発した Simulink

<sup>†1</sup> 現在、茨城大学  
Presently with Ibaraki University  
<sup>†2</sup> 現在、アイシン・コムクルーズ株式会社  
Presently with AISIN COMCRUISE Co.,Ltd.  
<sup>†3</sup> 現在、アイシン・エイ・ダブリュ株式会社  
Presently with AISIN AW Co.,Ltd.  
a) 13nm719t@hcs.ibaraki.ac.jp  
b) ueda@mx.ibaraki.ac.jp

\*1 市販されている Simulink モデル品質診断ツールとして、eXmotion 社の開発する『eXquto for MBD』がある

モデルが要求される品質を十分に満たすかを評価できていない。これまでの研究では、モデルメトリクスの分析用ツールを作成し、重回帰分析による Simulink モデルの 4 品質特性の評価を検討した。結果から品質に影響を与えるメトリクスの一部を導出できたものの、検討した手法の分析精度が低く十分な評価結果を得られていない。

本研究では、評価精度向上のためモデルの各レイヤを利用目的から 2 種類に分類し、判別結果を利用したモデル評価手法を検討し考察を述べる。Simulink モデル評価精度向上のため、レイヤの種類により技術者のモデル評価観点が異なることに着目した。各レイヤの利用目的から、制御ロジックを記述するデータフローレイヤと、複数の制御ロジックをまとめた機能を表現する構造レイヤに分類する。このレイヤ種別分類を判別し、判別結果を利用したモデル評価得点の導出に必要な手法を評価・検討する。

Simulink モデルのレイヤ種別判別結果を利用した品質評価手法を以下の手順で評価する。まず、レイヤ種類の判別器を作成し、動作結果を評価する。判別器はデータフローレイヤと構造レイヤの両方を含むモデル群を対象とした判別分析で導出する。レイヤにはモデル品質低下の原因となる両方のレイヤ特性をもつ場合があるため、判別器はデータフローレイヤ度合いと構造レイヤ度合いをそれぞれ分析し評価する。

次に、データフローレイヤのモデル評価得点を推測する評価式を作成し、性能を評価する。技術者による評価得点データを式で推測するために、モデルメトリクス主成分との重回帰分析から導出する。

本論文は、第 2 章では分析対象とする Simulink の概要と、本研究に用いたメトリクス、多変量解析手法、遺伝的アルゴリズムおよび関連研究に関して述べる。第 3 章では本論文で提案する解析手法を述べる。第 4 章では提案手法の適用実験の結果を述べる第 5 章では実験の結果の考察を述べる。第 6 章では本研究のまとめと今後の課題を述べる。

## 2. 関連知識

### 2.1 MATLAB/Simulink

MATLAB はデータ解析や統計解析を目的としたインタプリタ型のプログラミング言語であり、またこの言語を用いた数値解析用・開発用のツールである [1]。行列計算や統計、信号解析、機械学習などの演算で使用する関数を標準でサポートし、通信や画像処理、制御工学、金融工学、情報生命科学といった多方面の分野で産業的・学術的に利用されている。

Simulink とは MATLAB 環境で動作する MATLAB プログラミングファミリーの 1 つで、ブロック線図を用いたモデルベース開発用のプラットフォームである [2]。組込みソフトウェアのモデルベース開発現場で広く使用されており、

システム内へ開発過程に混入するエラーの早期検出や、仮想空間でのシミュレーション検証による現実空間での試作コストの低減、コード自動生成によるコーディングコスト削減とヒューマンエラー混入防止といったメリットがある。

Simulink で作成した設計モデルはサブシステムによる階層構造をもつ。サブシステムは、複数ブロックで構成された機能をひとつのブロックとして扱えるようにしたもので、サブシステムでモデルを適切に分割することが容易な理解と管理につながる。

### 2.2 メトリクス

メトリクスとは、モデルやソースコードなどの対象のさまざまな特性を定量的に計測するために定義される尺度である。メトリクスを用いた評価は、品質や問題点、危険性といった計測対象の現在状態を客観的に把握することにつながり、設計コストの削減や信頼性や保守性といった品質の向上を目的として利用される。ソースコードに対して広く使用されるメトリクスとして、コード行数 (Line Of Code) や循環的複雑度 (Cyclomatic complexity) が挙げられる。

### 2.3 多変量解析

多変量解析は多変量のデータに対して統計的な数値予測やデータ要約に用いる手法である。メトリクスといった多くの量的データに対して、質的変数を予測する場合は判別分析が、量的変数を予測する場合は重回帰分析が一般的に使用される。データの要約には、主成分分析や因子分析などの手法がある。

#### 判別分析

判別分析は量的変数の説明変数から質的変数の目的変数を予測するための判別モデルを導出する統計的手法である。導出した判別モデルは、新たな実測値を利用した判別に使用される。

判別モデルの一般性を検討する手法として Leave-one-out 交差検証 (LOOVC) による検証が利用できる。Leave-one-out 交差検証は、標本群から 1 標本を抜き出して、残りの標本から導出した判別モデルに適用し、結果を評価する。この抜き出す対象を全ての標本に実行した結果から判別モデルを評価する。

#### 重回帰分析

判別分析は量的変数の説明変数から量的変数の目的変数を予測するための回帰モデルを導出する統計的手法である。導出した判別モデルは、新たな実測値を利用した判別に使用される。導出した回帰モデルの判別予測の正確さや有意性の検定には分散比 (F 値) を、回帰モデルに使用する説明変数の有効性には t 値を用いて評価する。

## 主成分分析

主成分分析は量的変数の多変量データから、互いに相関のない量的変数である主成分に変換する主成分モデルを導出する統計的手法である。直行交換による変換が行われるため、主成分の数は主成分分析を適用した多変量データの変数と同じの数になる。多変量データから各主成分得点への変換は、各変数と対応する主成分負荷量との積和により求められる。分析や調査に使用する主成分は、一般的に主成分による多変量データの説明量の合計である累積寄与率が80%を超えるまでか、一定以上の寄与率をもつ主成分が選択される。

### 回帰モデルの説明変数の取捨選択

説明変数が複数ある場合の解析結果は使用する説明変数により性能が大きく異なり、目的変数への影響が少ない説明変数をなるべく含まないような選択をする必要がある。選択を最適化する逐次選択法として変数増加法やステップワイズ法、総あたり法などがある。

## 2.4 関連研究

Simulinkの開発元であるMathWorks社と連携して活動する自動車メーカー、サプライヤーにより、Simulinkモデルの品質向上を目的とした基本的な記述ルールが規定されたガイドラインが作成されている[4][5]。採用すべき記述内容とその重要度や根拠といった情報が示されている。分析に用いるメトリクスの採用指標や予測評価の参考に使用する。

佐藤らはメトリクス計測値を用いたUMLモデルに対する品質評価モデルを提案している[6]。UMLモデルの品質評価は、閾値によるメトリクス計測値の評価と、メトリクスと品質特性から求めた決定式により導出している。

## 3. 提案手法

### 3.1 手法の概要

Simulinkモデルの分割判別を利用した品質評価のアプローチを図1に示す。最終的には、Simulinkモデルの総合評価を行うことを研究の目標としており、手順は次の5つのステップで構成される。本研究ではステップ1からステップ3までの手順の処理内容を実現するための手法を提案し、実験結果の分析と評価を行う。

- ステップ1** モデルメトリクス値の計測
- ステップ2** サブシステム判別器による判別
- ステップ3** データフローレイヤのサブシステムの評価
- ステップ4** 構造レイヤのサブシステムの評価
- ステップ5** 各レイヤの評価結果の統合

## 3.2 モデル評価・判別情報の収集

### モデル判別情報

サブシステムに対するレイヤ判別モデルの導出のため、Simulinkモデルのサブシステムから判別情報を取得する。判別情報はJMAABのガイドライン[9]にある、モデルの階層構造記述ルールに従った評価分析により取得する。

### モデル評価情報の収集

品質評価を推定する回帰モデルの導出に使用するため、MATLAB/Simulinkを用いたモデル開発経験のある技術者に分析対象のSimulinkモデル評価を依頼し、モデル評価得点を取得する。評価得点はモデルの解析性、変更性、試験性、理解性といった品質を統合的に見た観点で採点してある。

## 3.3 メトリクスの計測

Simulinkモデルの特性を表すメトリクスは、技術者のモデル評価要因やソースコードやUMLを対象とした既存のメトリクスを参考に定義する。定義したモデルメトリクスを計測するツールは、これまでの研究[7]で作成したツールおよび、Simulinkモデル提供元の企業が作成したツールを利用する。計測対象のメトリクスは影響を分析するため、分析に使用するSimulinkモデルにより異なる値が計測できるものを使用する。次の表1に本研究で使用するメトリクスの一部を示す。

表1 使用するメトリクスの一部

Table 1 Definition of Metrics

ブロック数	モデル内のブロックの数 モデル規模を表す主要素のひとつ
算術演算子グループのブロック数	四則演算や三角関数といった数学的な処理に利用するブロックの数
サブシステム数	モデル内のサブシステムの数
アノテーション数	モデル内のコメントの数
ライン数	モデル内の信号線の数
ループ数	フィードバック制御などで使用されるループの数
入力数・出力数	モデルの入出力となるポートの数
横幅と高さの合計	モデル面積の広さを示す指標

## 3.4 レイヤ判別モデルの作成

3.2節で取得した判別情報を目的変数、3.3節で取得したモデルメトリクス値を説明変数として判別分析を行い、サブシステムに対するレイヤ判別モデルを導出する。分析で多重共線性が発生しないよう、24個のメトリクス間にあるVIFを計測し、5以上になる3個を除いた21個のメトリクスを利用する。

判別モデルの最適化のため、説明変数に対して取捨選択

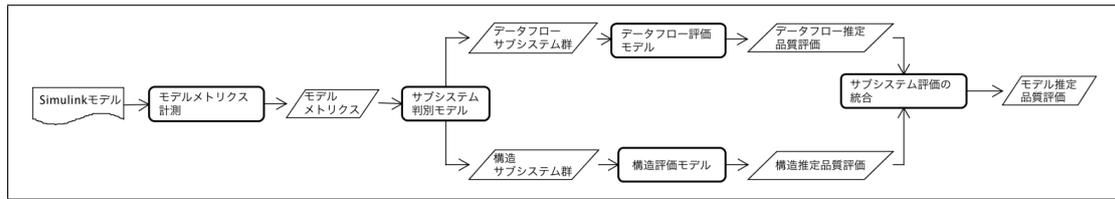


図 1 品質評価手法の流れ

Fig. 1 Flow of the Quality Evaluation Method

手法の適用を試みる。取捨選択をしない場合と、変数増加法と遺伝的アルゴリズムの2種類の取捨選択手法を適用した場合を比較し取捨選択による効果を評価する。説明変数の取捨選択による効果は Leave-one-out 交差検証 (LOOCV) による誤判低率の低さで評価する。

### 3.5 品質評価回帰モデルの作成

3.2 節で取得したモデル評価データと 3.3 節で取得したモデルメトリクス値を利用した重回帰分析を行い、各サブシステムの品質評価得点を予測するための回帰モデルを導出する。重回帰分析の目的変数は評価得点を、説明変数はモデルメトリクス値の主成分得点を利用する。主成分得点は主成分分析による多変量データの直行化が行われているため、重回帰分析で多重共線性が発生しない。そのため、レイヤ判別モデルの導出とは異なり、品質評価回帰モデルの導出には計測対象とした 24 個全てのメトリクスを利用する。

重回帰モデルの最適化のため、説明変数となる成分に対して取捨選択手法の適用を試みる。一般的に用いられる寄与率による成分選択をした場合と、取捨選択手法の変数増加法を用いた場合の適用結果を比較し取捨選択による効果を評価する。導出した回帰モデルは、回帰モデル導出に使用していない Simulink モデルを適用して得られた分散比 (F 値) や相関係数などを用いて評価する。

## 4. 適用実験

本提案手法を用いて、レイヤ判別モデルと品質評価回帰モデルの導出を行う。次に、導出した判別モデルと回帰モデルの評価精度や一般性を評価する。

### 4.1 判別モデルの導出実験

#### 4.1.1 分析対象

判別モデル導出に使用する Simulink モデルとして、企業から提供された自動車制御関係の 14 個の Simulink モデルを用意した。これらの Simulink モデルは 144 サブシステムに約 2200 ブロックで構成された規模の大きいモデルから、2 サブシステムに 35 ブロックで構成された小規模な

モデルまで含まれている。14 モデルに含まれるサブシステムは合計で 294 個あり、294 サブシステムに対してモデルメトリクス計測ツールを実行し、モデルメトリクス値を取得する。取得したモデルメトリクス値を Z スコア化した数値を判別モデルの説明変数とする。

判別の目的変数は、14 モデルの 294 サブシステムに対して JMAAB が作成した Simulink モデル作成のガイドライン [9] の記述ルールに従い学生が行った判別情報の結果を用意した。判別情報の結果から 294 サブシステムはデータフローレイヤと構造レイヤ、両方の特性を含むレイヤの3種類に分けられた。各レイヤの判別グループに属するサブシステムの個数を表 2 に示す。

表 2 各グループに属するサブシステムの数

Table 2 The number of sub-systems belong to each group

	構造	構造でない	合計
データフロー	23	199	222
データフローでない	72	0	72
合計	95	199	294

#### 4.1.2 実験結果

用意した説明変数のモデルメトリクス値と目的変数の判別情報に対して 3.5 節で述べた手法の適用を試みた。判別モデルはデータフローレイヤに属するかを判定するデータフロー判別モデルと、構造レイヤに属するかを判定する構造判別モデルの 2 つを作成する。本実験は 2 軍の判別であったため、判別モデルは全て線形判別モデルで作成した。

説明変数の取捨選択手法は、変数増加法と遺伝的アルゴリズムを使用した。変数増加法の説明変数を追加する条件は変数を追加した場合の F 値が 2.0 以上とした。遺伝的アルゴリズムによる変数選択は遺伝子を使用する変数に割り当てたものを用い、適応度は判別モデルの誤判定率を利用した。また、遺伝的アルゴリズムは局所解に到達する可能性があるため、実験は 3 回試行したうちの最良のものを採用した。

表 3 と表 4 に各レイヤ判別モデル導出で説明変数の取捨選択を使用しない場合と使用する場合の説明変数の数と誤判定率の比較結果を示す。また、各レイヤ判別モデルの判別結果を表 5 に示す。

表 3 レイヤ判別モデルの比較 (データフローレイヤ)

Table 3 Comparison of layer discriminant model  
(Data flow layer)

	全ての変数	変数増加法	遺伝的アルゴリズム
変数の数	21	18	12
誤判定率	0.054	0.051	0.048

表 4 レイヤ判別モデルの比較 (構造レイヤ)

Table 4 Comparison of layer discriminant model  
(Structure layer)

	全ての変数	変数増加法	遺伝的アルゴリズム
変数の数	21	13	15
誤判定率	0.095	0.095	0.109

表 5 各レイヤ判別モデルの判定結果

Table 5 Decision result of each discriminant model for  
estimating the model layer

	データフロー		データフローでない	
	構造	構造でない	構造	構造でない
人による判別評価	23	199	72	0
全ての変数	15	213	65	1
変数増加法	13	213	68	0
遺伝的アルゴリズム	9	217	62	6

## 4.2 品質評価回帰モデルの導出実験

### 4.2.1 分析対象

品質評価回帰モデルの導出に使用する Simulink モデルとして、企業から提供された 82 個の基準モデル群を用意した。基準モデル群は基準モデルと基準モデルから派生した good モデル・bad モデルで構成される。基準モデルは技術者が 50 点の品質評価を付けた評価の基準となる 5 個のモデルである。good モデルと bad モデルは基準モデルに手を加えて品質を改良・改悪させたモデルで、基準モデルごとに 7 個から 8 個の good モデルと bad モデルがある。基準モデル群は、ブロック数の合計が 25 個から 150 個ほどの比較的小規模なモデルで構成されている。本実験は単体のサブシステムを評価するため、基準モデル群の中で評価対象が 1 つのサブシステムである 78 個のモデルを分析対象とした。78 個の基準モデル群のサブシステムに対してモデルメトリクス計測ツールを実行し、取得したメトリクス値を Z スコア化した数値の主成分を説明変数とする。

品質評価回帰モデルの目的変数として、1,2 名の Simulink を用いた開発経験のある技術者がつけた 78 モデルの品質評価得点を用意した。2 人が評価したモデルの品質評価得点は平均値を利用する。

導出した回帰モデルの評価に使用する Simulink モデルが必要となるため、78 個の基準モデル群を回帰モデル導出のための教師モデル群と、回帰モデル評価のための試験モデル群に分割する。教師モデル群と試験モデル群はモデル内容が同様になるように、基準モデル、good モデル、bad

モデルをそれぞれ半分に分割したものとした。

実験対象である基準モデル群のサブシステムは、4.1 節の実験結果で作成された変数増加法を用いたレイヤ判別モデルを適用した結果、すべてデータフローモデルに属すると判別されている。そのため本実験で得られる回帰モデルは、データフローレイヤのサブシステムに対しての品質評価得点を予測するための回帰モデルとみなす。

### 4.2.2 実験結果

用意したモデルメトリクス値と目的変数の評価得点に対して 3.5 節で述べた手法の適用を試みた。最初に、教師モデル群から取得したモデルメトリクス値に対して主成分分析を行い、回帰モデルの説明変数として用いる主成分を取得する。

次に、主成分負荷量と教師モデル群のモデルメトリクス値の積和から導出した教師モデル群の主成分得点を目的変数とし、重回帰分析に使用する目的変数の候補を決定する。主成分得点の取捨選択は、以下の 3 つの選択手法を用いて分析を試みた。

- 累積寄与率が 80%以上となる主成分  
累積寄与率 80%以上は、一般的に統計で使用されている主成分の採用目安となっており、成分 1 から成分 3 までを目的変数として使用した。
- 寄与率が 2%以上ある主成分  
各主成分の寄与率の大きさから、使用する主成分を決定する。本実験では 2%以上の寄与率をもつ成分 1 から成分 5 を目的変数として使用した。
- 変数増加法による主成分の選択  
変数増加法による成分の取捨選択を行う。変数の採用基準を F 値が 2.0 以上として変数増加法を行った結果、全ての成分が採用された。そのため、変数増加法による選択であると同時に、全ての成分を利用した回帰モデルの導出結果としても扱う。

各選択手法を用いた重回帰分析の結果と、試験モデル群に重回帰分析で得られた回帰モデルを適用した場合の残差平方和と F 値を表 6 に示す。また、予測得点と評価得点の関係性を評価するため、表 6 に得点間の相関係数も示す。さらに、主成分分析の効果を評価するために、全てのモデルメトリクスを説明変数として重回帰分析を行い、導出した回帰モデルの予測評価結果を同様に求めた。

予測得点と評価得点を散布図として表したもののうち、寄与率 2%以上と変数増加法による散布図を図 2、図 3 に示す。散布図の×印が教師モデル群、○印が試験モデル群に対応しており、散布図の X 軸が評価得点、Y 軸が予測得点に対応する。比較に用いるため散布図のスケールは同じにしてあるため、一部の外れ値は表示されていない。

結果から、変数増加法で導出した回帰モデルの試験モデル群に対する予測評価の残差平方和が極端に大きくなっ

表 6 品質評価回帰モデルによる推定結果

Table 6 estimated results of the regression model for estimating the quality

		累積寄与率が 80%以上	寄与率が2%以 上	変数増加法	メトリクスを使 用
成分数		3	5	24	24
教師モデル群	残差平方和	3.06E+04	2.91E+04	6.37E+03	1.09E+05
	F 値	0.470	1.108	2.494	0.745
	相関	0.194	0.291	0.894	0.412
試験モデル群	残差平方和	3.17E+04	2.94E+04	9.40E+32	1.66E+34
	F 値	0.504	0.537	0.542	0.542
	相関	0.069	0.241	-0.230	-0.230
試験モデル群 (1モデルを除く)	残差平方和	3.00E+04	2.82E+04	1.78E+05	9.56E+05
	F 値	0.536	0.534	0.544	0.461
	相関	0.075	0.223	0.299	-0.139

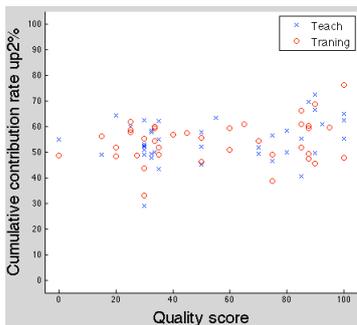


図 2 評価得点と予測得点との散布図 (寄与率が 2%以上)

Fig. 2 Scatter plot of the evaluation score and the predicted score (contribution rate by 2% or more)

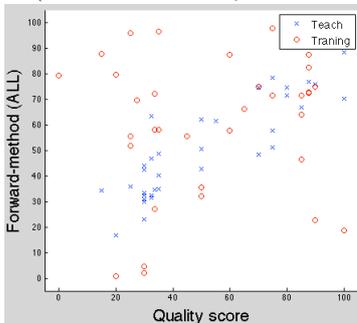


図 3 評価得点と予測得点との散布図 (変数増加法)

Fig. 3 Scatter plot of the evaluation score and the predicted score (forward selection method)

た。これは、教師モデル群にない特性を持つサブシステムが試験モデル群に存在していることが要因となっている。外れ値の影響を受けなかった場合の評価を行うため、外れ値の 1 モデルを試験モデル群から除外した場合の評価も行い表 6 に示す。

## 5. 考察

### 5.1 判別モデルの導出実験

最良の説明変数の取捨選択の導出には、総あたり法を用いる場合があるが、計算量が非常に多くなってしまふ欠点

がある。以下の表 7 に説明変数が実験で使用した 21 個の場合と  $n$  個の場合における、各変数選択手法を適用した場合の回帰モデル導出回数を示す。説明変数の数が多くない場合は総あたり法を用いても問題はないが、非常に多い場合においては利用が難しくなる。

表 7 回帰モデルの計算回数

Table 7 Number of calculations of regression model

手法	回数 (変数が 21 個)	回数 (変数が $n$ 個)
変数増加法	21 ~ 231	$n \sim \sum_{k=1}^n k$
遺伝的アルゴリズム	個体数 × 世代数	個体数 × 世代数
総あたり法	$2^{21} = 2.1E + 06$	$2^n$

実験結果から、変数増加法による説明変数の取捨選択は、データフローと構造の両方の判別モデルで使用する変数を減らしながら、誤判定率を落とさないような説明変数の選択ができた。少ない計算量で良い回帰モデルを導出できることが示せたため、変数増加法の採用は効果的であると判断できる。

遺伝的アルゴリズムを利用した説明変数の取捨選択は、全ての変数を選択した場合と比べ良い場合と悪い場合の両方が存在した。遺伝的アルゴリズムの採用における改良効果は十分に得られていない結果となった。

しかし、本実験で使用した 21 個のモデルメトリクスは人為的に選択されたものであるため、全てのメトリクスを回帰モデルの導出に採用した場合においても良い結果が得られた可能性がある。これまでの研究 [7][8] で、200 以上のモデルメトリクスを定義しており、より多くの変数を説明変数の候補とした場合、同様に良い結果が得られる可能性は低くなると考えられる。

### 5.2 品質評価回帰モデルの導出実験

実験で導出した回帰モデルの結果からは、成分を多く使

用した方がより良い正確な予測値が取得できた。このことから、技術者によるモデル評価が多くの要素が考慮していることが読み取れる。

変数増加法による回帰モデルは、教師モデル群に含まれない特性を持ったモデルの予測評価を行う場合に、極端に大きな外れ値が出力されてしまう可能性があるという問題が発生した。一方で、このモデルを除去して再度評価を行ったところ、他の回帰モデルよりも高い精度を示している。また、教師モデル群と試験モデル群は同じ基準モデル群から分けられたものであるにもかかわらず、試験モデル群の予測結果精度は低くなった。図3に示す変数増加法で導出した回帰モデルにおいては、各モデル群の結果が大きく異なっている。これら問題の原因として、教師モデル群のデータ数と多様性が不足していることが考えられる。さまざまな特性を回帰モデルの教師データとして適用した場合は、極端な外れ値は変数選択による最適化と回帰モデルの導出の過程で出現しにくくなると考えられる。また、変数増加法を利用して作成した回帰モデルを用いた教師モデル群への予測値と評価得点の相関は0.89と非常に高い結果が得られているため、教師データの増加により試験データ群への予測評価の精度も向上すると考えられる。

主成分分析による効果を評価するため、モデルメトリクス値を目的変数として回帰モデルを作成した場合と比較する。回帰モデル導出には全てのメトリクスを使用しているため、多様な特性が考慮されており、教師モデル群の予測結果は良い結果が得られた。一方で、試験モデル群に対する予測は大きな外れ値となる1モデルを除いた場合においても、負の相関をとっており、全ての主成分を利用した回帰モデルよりも悪い結果となってしまった。主成分分析を行うことにより、特定のモデルメトリクスではなく、複数のメトリクスを考慮した特性として扱えるようになったため、回帰モデルの一般性が高くなったと考えられる。このことから、主成分を説明変数として品質評価回帰モデルを作成することで、回帰モデルの一般化や精度向上に効果があることが分かった。

## 6. おわりに

本研究では Simulink モデルの品質評価精度向上を目的として、モデルのレイヤ種別の判別結果を利用したモデル評価手法の検討を行い、得られた結果の結果を考察した。

人が評価したレイヤ判別評価データを目的変数とした判別モデルを導出し、判別結果の有意性を示した。データフローレイヤに属する基準モデル群に対し、人が評価した評価得点データを目的変数とした重回帰モデルを導出し、回帰モデルの出力結果の評価と分析を行った。分析に使用する変数の適切な選択における効果を示した。重回帰分析に使用する説明変数に主成分分析結果を利用した効果を示

した。

## 今後の課題

手法とデータの見直しとして、他のデータ判別手法としてマハラノビス距離を使用した非線形判別手法やロジスティック回帰分析を検討する。更なる精度向上のため分析候補となるメトリクスを増やした場合の分析を行う必要がある。品質評価回帰モデルの試験モデル群への予測精度は低く十分な一般性をもっていない。データ不足が要因として考えられ、データの追加や手法の見直しで解決する必要がある。

構造レイヤのサブシステムに対しての品質予測は、本適応実験と同様の手順を使用して品質評価回帰モデルが作成できると推測できる。

モデル内の全てのサブシステムに得点が予測可能であったとしても、モデル全体を評価するためには各サブシステムの予測得点を利用して導出する必要がある。一般性のあるモデル評価を行うための予測得点を組み合わせる手法の提案が必要である。

**謝辞** 本研究を進めるにあたり、多大なるご指導、ご鞭撻を頂きました上田賀一教授に深く感謝致します。共同研究を進めるにあたり、丁寧かつ熱心なご指導を賜りましたアイシン・エイ・ダブリュ株式会社の久保孝行様、アイシン・コムクルーズ株式会社の深津隆志様、また研究に用いたデータの収集にご協力頂いた開発者の皆様に深く感謝いたします。本研究において有益な助言をして頂いた研究室の皆様に感謝致します。

## 参考文献

- [1] The MathWorks:MATLAB  
<http://www.mathworks.com/products/matlab/> .
- [2] The MathWorks:Simulink,  
<http://www.mathworks.co.jp/products/Simulink/> .
- [3] 有馬 仁志:自動車開発におけるモデルベース開発の実際と形式検証の導入事例, フォーマルメソッド普及促進セミナー 2010 in 札幌  
[http://www.hkd.meti.go.jp/hokim/fm\\_seminar/result.htm](http://www.hkd.meti.go.jp/hokim/fm_seminar/result.htm) .
- [4] The MathWorks:MathWorks Automotive Advisory Board (MAAB)  
<http://www.mathworks.co.jp/automotive/standards/maab.html/> .
- [5] JMAAB (Japan MATLAB Automotive Advisory Board)  
<http://jmaab.mathworks.jp/> .
- [6] 佐藤 美穂, 田村真吾, 上田 賀一:UML 設計を対象とした品質評価モデルの検討, 特集:ソフトウェア工学の高価と価値分析・設計技術, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.7, pp.2319-2327(2009)
- [7] 佐々木 翼, 峯岸 賢吾, 上田 賀一:Simulink モデルの品質特性分析支援ツールの開発と適用事例, 電子情報通信学会 信学技報, vol.112, no.496, KBSE2012-70, pp.7-12(2013)
- [8] 賢吾 峯岸, 祐樹 黒沢, 賀一 上田, 隆志 深津, 孝行 久保:主成分分析による Simulink モデルの品質評価の試み, 組込みシ

システム シンポジウム 2014 (2014)

- [9] CONTROL ALGORITHM MODELING GUIDELINES  
USING MATLAB®, Simulink®and Stateflow®Version  
2.0 (和訳)