

愛知工科大学紀要

工学部・愛知工科大学自動車短期大学

第 17 卷



AICHI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

2019

愛知工科大学紀要 第17巻

目 次

研究論文

- SIMULINK で動く DC モータ実験装置を用いた古典制御の実践的教育
..... 梶谷満信, 阿部己和 1
- 霧化の発生メカニズムに関する3つの仮説と正準理論を基にした比較解析
..... 松浦 寛, 向山恵三, 河島一夫, 古谷兼光 7
- Kinect センサーを用いた音声対話システム前における人物の動作識別
..... 早川元貴, 實廣貴敏 15

研究ノート

- 数理統計学における確率変数の確率密度関数の新導出法 - 標本数が十分に大きいとき -
..... 高橋義則 23
- 機械学習入門としての最適化問題
..... 荒川俊也 39
- 簡便に XML データ処理を行うライブラリ・ソフトウェアの検討(その4)
- XML 文書作成ソフトウェアの Python 移植と, 属性への対応 -
..... 吉田 茂, 天野克哉, 廣田耕平 45

愛知工科大学・愛知工科大学自動車短期大学教職員業績リスト (2019.1-2019.12)

愛知工科大学紀要規程

愛知工科大学紀要投稿細則

SIMULINK で動く DC モータ実験装置を用いた 古典制御の実践的教育

梶谷満信*, 阿部己和*

(2019年9月30日受理)

Hands-on Education of Classical Control using DC Motor Experimental Device Driven by SIMULINK

Mitsunobu Kajitani*, Tomokazu Abe*

(Received September 30, 2019)

Abstract

It is difficult to have enough time for explaining the PI control in the control engineering lecture of only half year term. Because it takes a lot of time to explain about the fundamental matters which is Laplace transform, transfer function and so on. Therefore, the most of students have not understood the way how to use the PI control in practice. Incidentally, in my experience the many of new employees also had not understand the calibration method and problem of PI control.

As a countermeasure against the above, we introduced the hands-on experiment into the curriculum, which is using the DC motor experiment equipment driven by SIMULINK.

Keywords: classical control, hands-on Education, SIMULINK, DC Motor

1. はじめに

制御工学を半期の座学で実施しているが、抽象的なラプラス変換、それを用いた伝達関数などの基礎的事項に多くの講義時間を要するため、PI制御などの古典制御を説明できる時間を十分にとることができない。

それゆえ、多くの学生が実践的なPI制御の使用方を理解できていないのが現状である。ちなみに、筆者の経験においては、新入社員の多くはPI制御の機能は知っていても、ゲイン適合の方法までは把握していない。また実際にPI制御を使用している中堅社員においてもPI制御の問題点を把握していないというのが現状であった。

そこで、古典制御を実践的に利用できるように、SIMULINKで動くDCモータ実験装置を用いた実験をカリキュラムに取り入れたので紹介する。なお、この実験では、下記項目を修得することを狙いとした。

- ・ 試行錯誤によるゲイン適合手順
- ・ 極配置法によるゲイン適合手順
- ・ PI制御の問題点とその原因

以下の章では、まずC言語では教育困難なため、SIMULINKで動くDCM実験装置を開発^[1]したので、そのハードとソフトの概要を説明し、その後、実験内容と学生の修得状況について説明する。

2. SIMULINKで動くDCモータ実験装置^[1]

2.1 ハードウェア

実験装置の外観をFig.1に示す。PCとCPUボードで

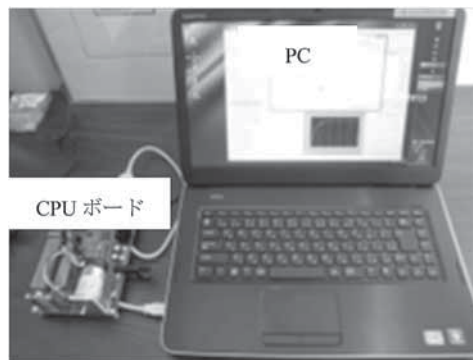


Fig.1 実験装置の外観

* 愛知工科大学工学部 〒443-0047 愛知県蒲郡市西迫町馬乗 50-2
Faculty of Engineering, Aichi University of Technology, 50-2, Manori, Nishihasama-Cho, Gamagori, Aichi 443-0047 Japan

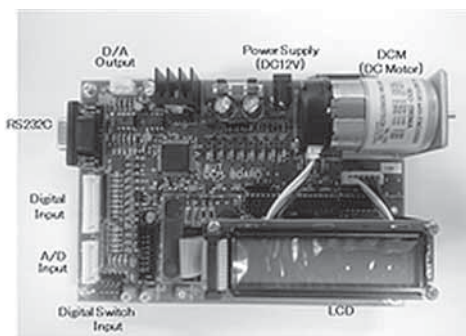


Fig.2 CPUボードの外観

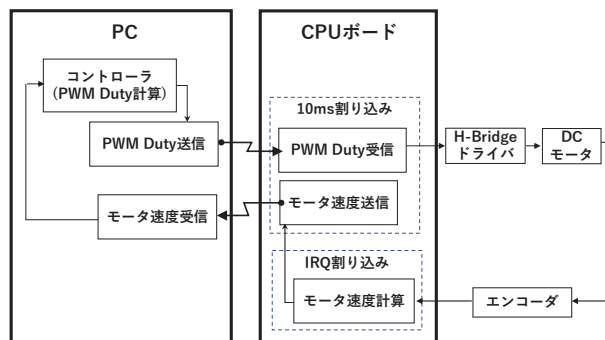


Fig.3 ソフトウェアの全体構造

構成されており、その間はシリアル通信ケーブルで接続されている。

PCとCPUボードの機能分担は次のとおりである。

PC

DCモータを制御するためのコントローラの機能を有しており、実験データの観察および保存にも利用している。

CPUボード

CPUボードを拡大してFig.2に示すが、搭載しているエンコーダ内蔵DCモータとPCとのインターフェースの機能を有している。

この機能分担により、実験者はCPUボードを意識することなく、PC上ですべての作業を終えることができるようになっている。具体的には、コントローラはC言語ではなくSIMULINKで組まれているので、容易にコントローラの定数を変更し、制御結果の観察およびデータ保存を行えるようになっている。

2.2 ソフトウェア

ソフトウェアの概要をブロック図でFig.3に示す。前述したように、PCはコントローラ、CPUボードはインターフェースの機能を有するように組み込んでいる。

PC

DCモータの回転数をシリアル通信でCPUより受信し、受信した回転数をもとにコントローラで制御入力であるPWM Dutyを計算し、最後にシリアル通信でCPUボードに送信している。なお、用いた言語は、送受信部はMATLABを使用しているが、コントローラ部は実験者が容易に可読できるようにSIMULINKを使用している。

CPU

受信したPWM Dutyに従って、PWMを更新し、H-Bridgeドライバを経由してDCモータを駆動している。また、エンコーダパルス毎の割り込み処理でパルスの時間

間隔を計算し、回転数に変換した後PCに送信している。なお、使用言語はC言語である。

3. 実験の狙いと内容

3.1 試行錯誤によるI-P制御のゲイン適合^{[2],[3]}

この実験では、実験結果をとおしてI-P制御の試行錯誤による適合手順を修得することを狙いとしている。

(1) 実験に供するSIMULINKモデル

実験に供するSIMULINKモデルをFig.4aに示す。Aは目標回転設定部、BはFig.4bに示すI-Pコントローラのサブモデル、Cは通信のためのS-functionである。なお、Dは静止摩擦の補正、Eは過大入力防止のために入れている。

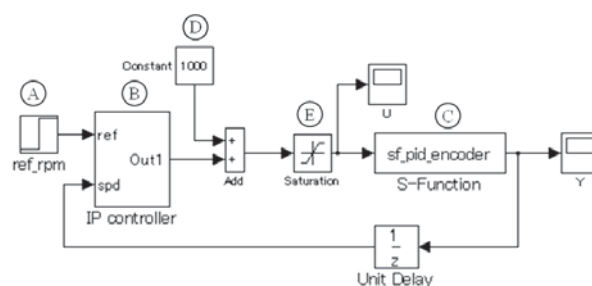


Fig.4a I-P制御用のSIMULINKモデル

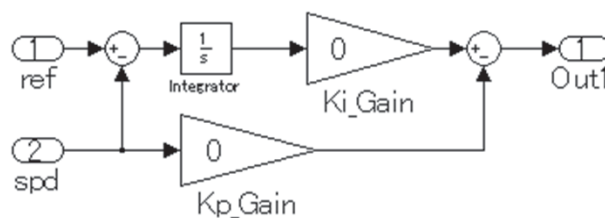


Fig.4b I-Pコントローラ

実験者は Fig.4b の Gain の値で積分および比例ゲインの変更ができ、Scope で入出力データの確認も容易にできるようになっている。また、mfile で実験後も入出力データを確認できるようにしている。

(2) 課題

目標回転に 1.0sec で収束するように、積分および比例ゲインを試行錯誤で選定し、各々の制御の機能を把握することを課題としている。なお、実験の狙いを考慮して、下記手順を明示することにした。

- ・ まず、積分ゲインを選定
- ・ その後、比例ゲインを選定

(3) 実験結果の事例

比例ゲインをゼロにし、積分ゲインを変更した事例を Fig.5a に示す。積分制御のみで目標値に収束させることができることがわかる。しかし、ゲインに比例して応答が早くなるが、大きくし過ぎると過応答が発生し、目標値 (1.0sec) を得られていない。

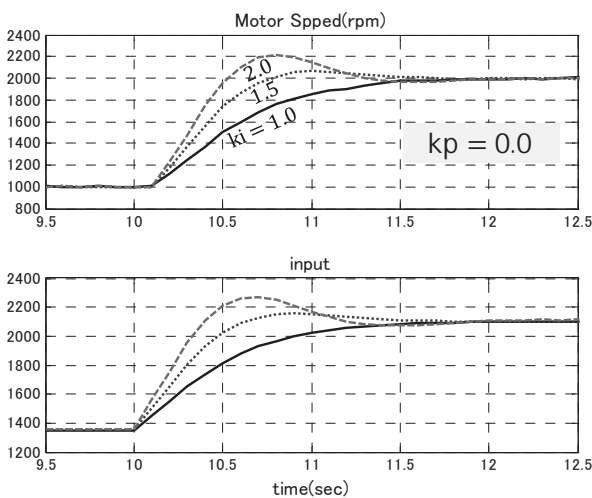


Fig.5a ki ゲイン変更の性能 (kp = 0.0)

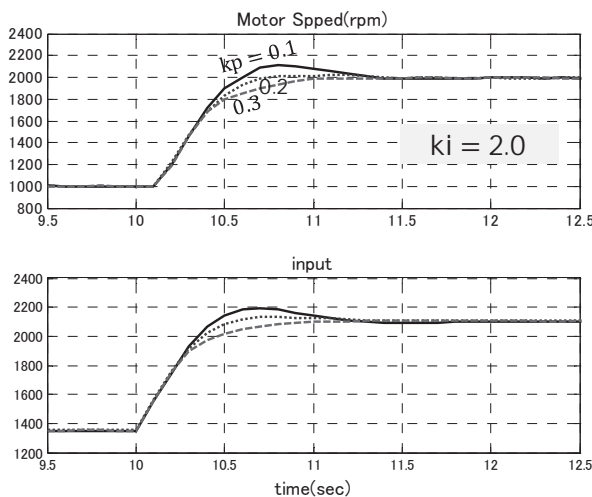


Fig.5b kp ゲイン変更の性能 (ki = 2.0)

次に、積分ゲインを過応答が発生している値 (2.0) に固定し、比例ゲインを変更した結果を Fig.5b に示す。比例制御で過応答を抑制でき、ほぼ目標値で収束させることができている。

(3) 学生の修得状況

試行錯誤では適合時間が多くかかるが、講義時間を超えても実験し続けるほどに学生は興味をもって取り組んでいる。その結果、各制御の機能を理解し、試行錯誤による実践的適合手順を修得できている。

3.2 極配置法による I-P 制御のゲイン適合実験 [2], [3]

3.1 の実験で苦労したゲイン適合を高校までの数学と大学で学んだ制御工学を用いて簡単に適合できることを修得し、座学で学んだ基礎知識が実践的に活用できるうれしさを把握することを狙いとしている。

なお、この実験はモデリング、ゲイン設計および設計値の検証実験より構成している。

3.2.1 モデリング

モデリングにあたり、モデル構造は物理的に求め、モデル定数は STEP 応答実験より求めるようにした。

A. モデル構造を求める

(1) 課題

課題は、Fig.6 の DC モータの原理に基づくモデルのブロックをもとに、入力である電圧から出力である角速度までの伝達関数を導出することである。

(2) 解答

直列結合とフィードバック結合の公式を利用して容易に導出できるので、途中の導出を省略するが、次式に示すようにモデル構造は一次遅れ系となる。

$$P(s) = \frac{K}{Ts+1} \dots\dots\dots(1)$$

ただし、 $T = \frac{R_c J_M}{K_T K_E}$, $K = \frac{1}{K_E}$

(3) 学生の修得状況

Fig.6 の理解をとおして、ラプラス変換により微積分を代数演算に変換できることを復習でき、また式 (1) の導出をとおして、モデル簡略化の復習を有効にできている。

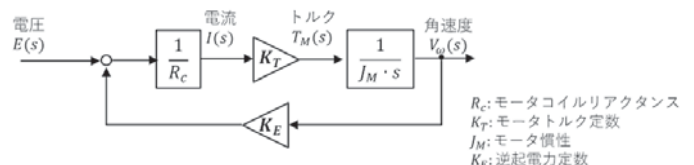


Fig.6 DC モータの原理ブロック図

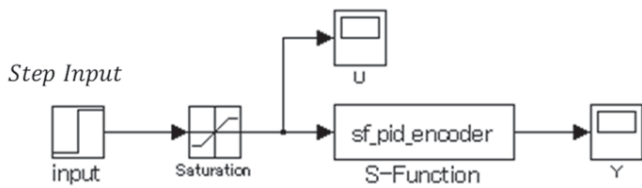


Fig.7a ステップ応答の SIMULINK モデル

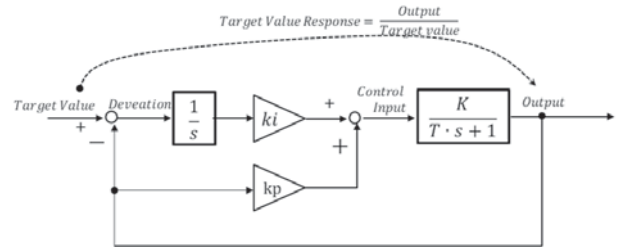


Fig.8 DC I-P 補償器によるモータ速度制御

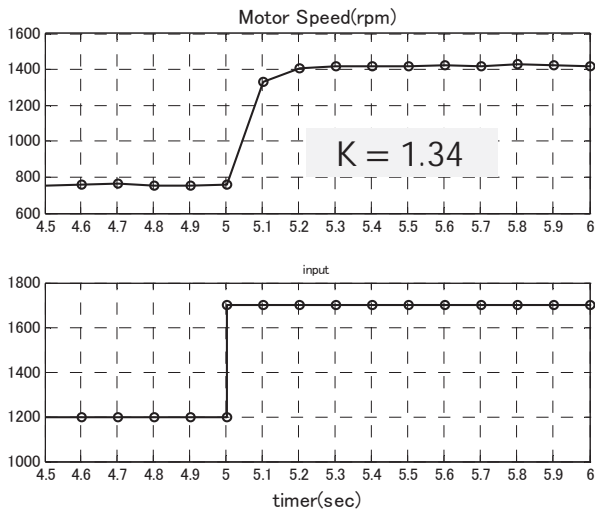


Fig.7b ステップ応答

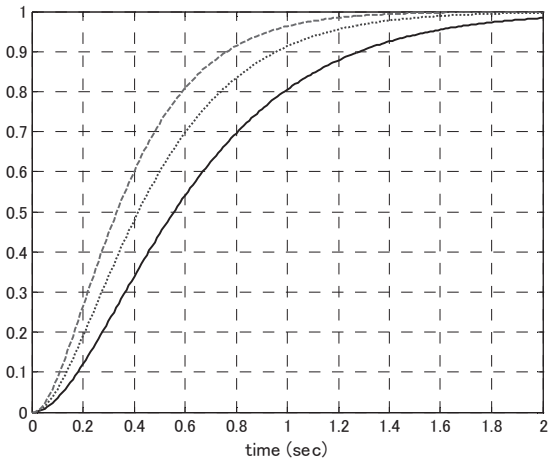


Fig.9 二項係数標準形の応答

B. モデル定数を求める

(1) 実験に供する SIMULINK モデル

実験に供する SIMULINK モデルを Fig.7a に示す。Step 入力には摩擦の影響を無くするため、初期値を 1200 とし、最終値を 1700 としている。

(2) 課題

課題は Step 応答の実験結果より、式 (1) の時定数 T とゲイン K を求めることである。

(3) 実験結果の事例

実験結果の事例を Fig.7b に示す。また、図中には求めたゲインを合わせて示す。なお、実験機の制御周期が遅いため、時定数は正確に求められないことにより暫定値 (0.20) を適用した。

3.2.2 極配置法によるゲイン設計

課題

課題は Fig.8 の I-P コントローラと DC モータを含むブロック図をもとに、以下のヒントを利用して、所望応答となる積分ゲイン k_i と比例ゲイン k_p を求めることである。

《ヒント》

- ・ 目標値応答 (目標値から出力までの応答) を伝達関数で表現

- ・ 次の過応答を許容しない所望応答である二次の二項係数標準形の伝達関数と一致するように計算

$$G_m(s) = \frac{\omega_m^2}{(s + \omega_m)^2} \dots\dots\dots(2)$$

解答

途中の導出は省略するが、目標値応答は、次式の二次遅れ系となる。

$$G_m(s) = \frac{Kk_i}{Ts^2 + (1 + Kk_p)s + Kk_i} \dots\dots\dots(3)$$

積分ゲイン k_i と比例ゲイン k_p は、式 (2) と式 (3) の係数比較により、次式のように求まる。

$$k_i = \frac{T}{K} \omega_m^2, \quad k_p = \frac{2\omega_m - 1}{K} \dots\dots\dots(4)$$

(3) 学生の修得状況

前項 (3.2.1) でモデルの簡略化を復習しているので、容易に目標値応答の式 (3) の導出をできている。また、ゲインの式 (4) の導出を通して、恒等式的実践的利用法を修得できている。

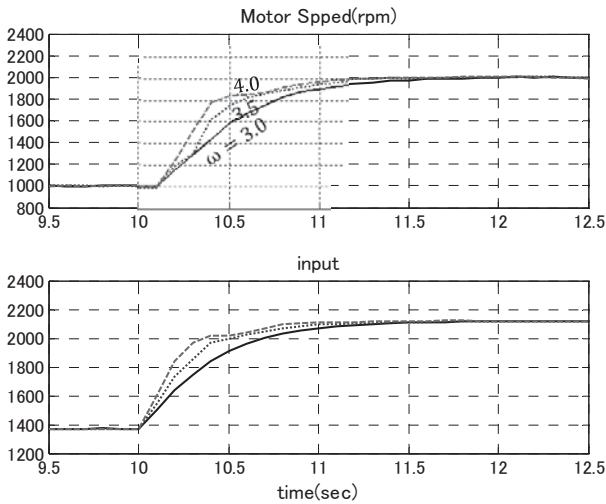


Fig.10 I-P 制御の性能 (極配置法)

3.2.3 検証実験

(1) 課題

課題は 3.2.2 で設計したゲインの妥当性を検証することである。

(2) 結果の事例

事例を Fig.10 に示すが、ほぼ目標の 1.0sec で収束している。

(3) 学生の修得状況

試行錯誤のゲイン適合において苦労したが、極の指定により応答を容易に適合できることをとおして、数学の実践的価値を実感できている。

3.3 PI 制御と I-P 制御の比較^[2]

PI 制御と I-P 制御の制御性能を比較することにより、PI 制御の問題点を把握することを狙いとしている。

(1) 実験に供する SIMULINK モデル

実験に供する実験モデルを Fig.11 および Fig.12 に示す。前者が I-P 制御、後者が PI 制御のモデルである。Fig.4a との相違点は、大きさ -500 の入力外乱を加えている点である。

(2) 課題

3.2.2 で設計したゲインを Fig.11 と Fig.12 の実験モデルに適用して、制御性能を比較し、PI 制御の問題点を抽出し、その理由も考察することである。

(3) 実験結果の事例

実験結果の事例を Fig.13 に示す。I-P 制御の外乱応答は目標値応答とほぼ同じ時間で復帰しているが、PI 制御の外乱応答は I-P 制御と同じ性能だが、目標値応答に過応答が発生している。

この原因は、I-P 制御の比例項は出力変動を抑制して

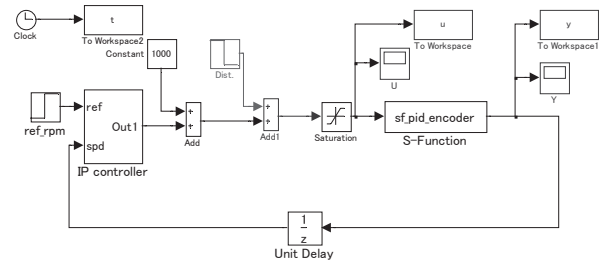


Fig.11 I-P 制御の外乱を伴う SIMULINK モデル

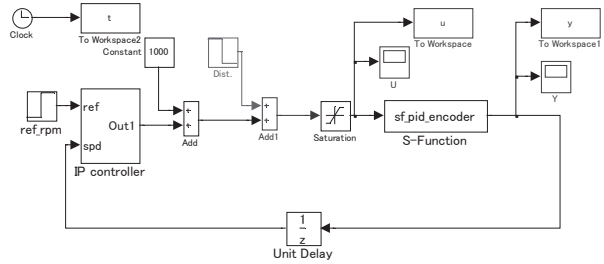


Fig.12 PI 制御の外乱を伴う SIMULINK モデル

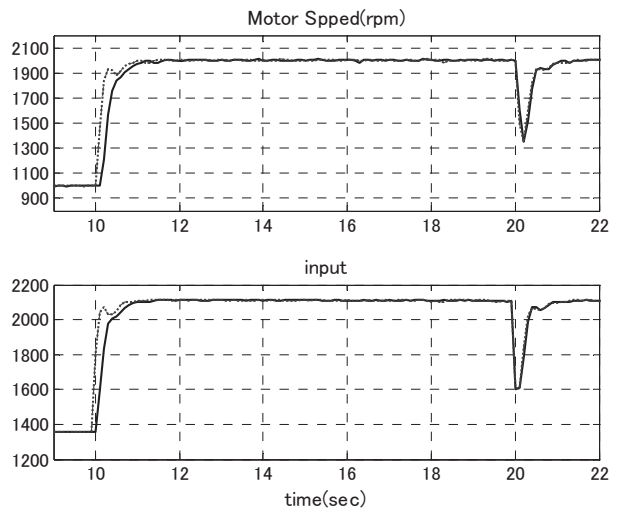


Fig.13 I-P と PI 制御の比較

いるのに対し、PI 制御の比例項は偏差を抑制するため目標値応答の初期入力が大きくなるためである。

(4) 学生の修得状況

PI 制御は目標値応答に過応答が生じ、その要因が比例項にあることまでは考察できているが、偏差の抑制に起因しているところまで深堀できていない。しかし、この要因の考察をとおして、積分と比例項の機能をより深く理解できていると考える。

4. まとめ

冒頭で述べた“古典制御を実践的に利用できるようにする”というこの実験の目標は達成できたと考える。

具体的には、座学と異なり、実機を動かしながら課題の目標を達成していくため、学生の興味を抽出することができ、古典制御に関する以下の点について理解が進んだと考える。

- ・ 試行錯誤による適合手順とその大変さ
- ・ 極配置法による設計法とその威力
- ・ PI 制御の問題とその要因

今後、学生の意見も集約し、実験だけでなく座学のカリキュラム改良を進めていく所存である。また、実験機を改良し、制御速度を向上させることを計画している。

参考文献

- [1] 梶谷満信, 阿部己和: “制御工学教育のための DCM 実験装置の開発”, 愛知工科大学紀要 第 10 巻, pp.45-50, (2013)
- [2] 梶谷満信 “機械システム工学実験 制御工学・実験マニュアル 第 3 版”, (2019)
- [3] 梶谷満信 “モータ制御設計の基礎と実践およびそのポイント”, (株)日本テクノセンタ - 技術セミナー (2018.5)

霧化の発生メカニズムに関する 3 つの仮説と正準理論を基にした比較解析

松浦 寛*, 向山恵三*, 河島一夫*, 古谷兼光*

(2019 年 9 月 30 日受理)

Three Hypotheses on the Generation Mechanisms of Ultrasonic Atomization and Comparative Analysis based on Canonical Theory

Hiroshi Matsuura*, Keizou Mukoyama*, Kazuo Koushima*, and Kanemitsu Fukaya*

(Received September 30, 2019)

Abstract

The generation mechanisms of atomization are a historical issue that has not been fully elucidated for nearly 100 years. Three hypotheses are known: surface wave theory, cavitation theory, and boiling theory. In this study, the atomization experiments were performed using a high frequency of 13W with 2.5MHz and various important results were obtained such as formation of a characteristic three-dimensional (3-D) geometry water column and eruption of atomized mists from the column. These results were analyzed based on Canonical theory coupled with the new definition of work function of atomization to clarify the mechanisms of atomization. Based on this analysis, while atomization progressed and the mass of water on the transducer decreased, the experiment result that the height of the water column increased and atomization became intense could be clearly explained without approximation. The analysis also interpreted the experiment results as follows. As the mass of water on the transducer decreased due to the progress of atomization, the velocity of the longitudinal water oscillation increased, and atomization was initiated when the kinetic energy of the water oscillation exceeded the surface energy.

キーワード： 超音波霧化，霧化メカニズム，正準理論，比較解析

Keywords: Ultrasonic atomization, Atomization mechanisms, Canonical theory, Comparative analysis

1. はじめに

超音波振動子を利用した霧化技術は，強誘電材料が開発されて以来，およそ 100 年にわたり進化を遂げてきた^[1]．この進化には，様々な応用製品を開発する技術者 [2-4] や，霧化の発生メカニズムの解明を目指す研究者 [5-10] や，高周波回路を構築するエンジニア^[11-13] や，より大きな圧電性をもつ材料を開発する設計者^[14-18] など，異なる分野の多くのエンジニアや研究者が貢献してきた．

近年における超音波霧化の応用製品は，喘息や肺炎など呼吸器疾患に対する吸引治療^[2] や，人工栽培のための超音波注水^[3] や，ラベンダーアロマセラピー用加湿器^[4] など，産業用から家庭用機器に至る幅広い分野で重要な

役割を担っている．特に，最近の霧化技術の発展は目覚ましく，工学的にはナノ・マイクロスケール粒子の作製や，環境工学的には近年海洋汚染で注目されるマイクロプラスチックの濃度測定など，ハイテク分野における重要性が年々高まる傾向にある．

2. 従来研究と課題

(1) 従来研究

これまでの 100 年の間には，霧化の発生メカニズムの解析も熱心に試みられてきた．ところが，長い歴史と多数の応用製品があり，多くの研究者による解析が試みられてきたにも関わらず，振動子を利用した霧化の発生メ

* 愛知工科大学 工学部 機械システム工学科 〒 443-0047 愛知県蒲郡市西迫町馬乗 50-2
Department of Mechanical Systems Engineering, Aichi University of Technology, 50-2 Manori, Nishihassama-Cho, Gamagori, Aichi 443-0047
Japan

カニズムは解明されておらず、現在 3 つの仮説（表面波説^[19-22]・キャビテーション説^[23-28]・沸騰説^[9,10,29,30]）が存在する。

表面波仮説によると、霧化は定在的表面波の頂点から発生すると仮定されており^[19,31,32]、これまでの霧化の観察データに基づく研究では、表面波の乱れやさまざまな液滴形成プロセスは、理論的に予測された液滴サイズの範囲において一致すると結論付けられてきた^[33-35]。しかし、これらの理論は、表面波の静的状態に基づいているため、これら表面波の位置のばらつきや、波面形状のランダム性を説明する事は困難であった^[36-39]。さらに、実験的観点からは、観測可能な液滴（または記録された液滴）は、おもにマイクロメートルサイズであり、ナノ・マイクロスケールにおける霧化現象の直接観測は簡単ではなく^[34,40]、ナノメートルサイズの液滴の、確かな形成プロセスはまだ報告されていない^[7,34,40]。理論的観点からも、静的な流体力学に基づく霧化解析により、動的な霧化のダイナミクスを決定する事は困難である^[36-39]。

キャビテーション仮説（キャビテーション - 表面波仮説）^[8, 41-43]によると、音響キャビテーションの形成は、水面における表面波形成の初期のステップである。この仮説によれば、表面波の不安定性とキャビテーション気泡の振動の組み合わせにより霧化が発生する^[8,41-43]。

沸騰仮説^[9,10,29,30]の場合には、霧化は局所的な熱の集中により液体の温度が 100°C に達するか、100°C を超える事により開始される。この熱の集中は、水中の球面波の残響、または適切な核の欠如とその結果による水の過熱によって引き起こされると仮定されている。

(2) 本研究の課題

上記の様に、霧化の発生メカニズムは、過去 100 年にわたり、3 つの仮説（表面波・キャビテーション・沸騰の諸説）を解明する為、実験および理論の両面から研究されてきたが、未だ解明されていない歴史的難問である^[10,30,37-39,42,43]。

これらの仮説を総合的に考えると、霧化メカニズムが未解明である理由の 1 つは、振動子の強い縦振動により引き起こされる複雑な液体運動に起因すると考えられる。我々は、振動子の振動エネルギーが、振動子と水膜との間の共振を介して振動子上の水にどのように伝達されるかを明確にする為^[30]、振動する液体の質量変換の概念を、振動子に付着した水膜に適用した^[44, 45]。また、霧化の発生メカニズムが未解明であるもう 1 つの理由は、振動子から霧が発生するプロセスにおける複雑なエネルギー変換に起因していると考えられる。我々は、本

研究において、霧化の発生メカニズムを解析する際、振動子の縦振動エネルギーから霧化された霧の運動エネルギーへのエネルギー変換に焦点を当てた。

具体的なアプローチとして、この研究では、本学ものづくりセンターで製作した超音波霧化装置を用いて、既存の仮説にとらわれず、光電効果における仕事関数の類推から“霧化の仕事関数”という新しい概念を導入し(後述)、正準理論を基にした比較解析により霧化の発生メカニズムを考察した。また、これらの解析を基にして、同じく同センターで製作した大気圧プラズマ発生装置へ、霧化した微粒子を Jet Atomization としてサンプリングする事により、溶液や血液や涙など生体材料に対する超高感度分析への応用を進める予定である。

3. 実験および結果

(1) 実験装置および方法

Fig.1 に示す装置により、振動子の特性を計測すると共に霧化の観測および解析を行った。

直径 20mm、共振周波数 2.5MHz の超音波振動子を上部ホルダーと下部ホルダーの間に保持した。飛散した水滴を捕捉するため、振動子固定用のホルダーの上に、300mm × 300mm の観測用ホルダーを装着した。水漏れや

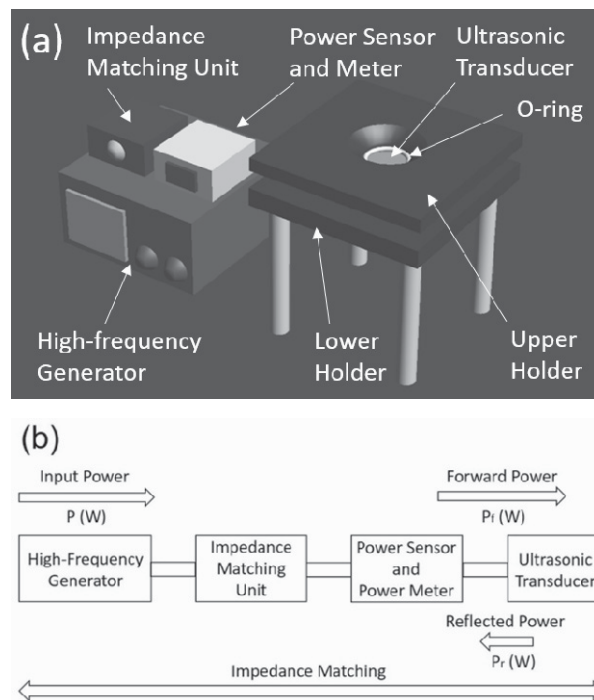


Fig.1 霧化特性を検証する為の実験機器および実験機器間の接続状態 (a) 超音波振動子の霧化特性を検証する為の実験装置の概観 (b) 各実験機器間の接続状態の概要

振動子の破損を防ぐため、シリコン製のリング（直径 18mm，厚さ 2mm）を振動子と上部ホルダーの間に取り付けました。

高周波電源から、インピーダンス整合器を介して振動子に高周波電力を供給した。この整合器は、高周波電源と振動子間のインピーダンスを整合し、振動子の共振状態を維持するために非常に重要である。電力計（Bird 4421）に取り付けられた電力センサー（Bird 4021）を振動子へ接続し、振動子への入射電力および振動子からの反射電力を正確に測定した（Fig.1b）。実験は 27℃，湿度 65%の大気中で行った。

実験に使用する複数の超音波振動子の共振周波数を 2.5MHz に合わせるため、化学的プロセスにより各振動子の電極の調整を行った。Fig.2a および 2b は、円形の銀電極をもつ標準的な振動子（HM-124，Honda エレクトロニクス製）の前面と背面を示す。超音波振動子の前面は、厚さ 200 μ m のステンレス鋼シートで被覆され、背面は銀の円形電極（直径 10mm）がスパッタリングされている。さらに振動子の裏面は、端部が銀でスパッタリングされ（Fig.2b，白矢印），前面のステンレス鋼シートと導通がとられており、ドーナツ状の対電極を形成している。振動子の電極を調整するため、振動子裏面の直径 10mm の銀電極に（Fig.2b），8mol / L の濃度の硝酸を 50℃ で塗布した。銀電極は 15 分程度で化学的に溶解するため（Fig.2c），溶解後，蒸留水とメタノールにより洗浄した。

電極を溶解した無地の振動子の裏面に（Fig.2c），銀ペースト（DOTITE D-550，藤倉化成）をスプレーすることにより，直径 8mm の円形銀電極を形成した（Fig.2d）。振動子表面に銀を固着させるため，この直径 8mm の銀電極をもつ振動子を 200℃ で 5 分間加熱した。

水のない状態で計測した振動子のインピーダンス特性を Fig.3 に示す。また，共振周波数におけるインピーダンスを Table 1 に示す。

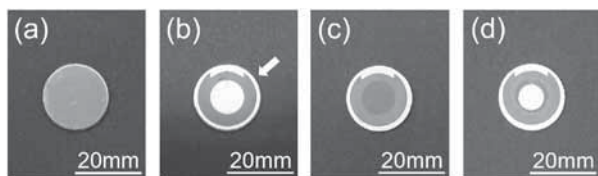


Fig.2 標準型超音波振動子および電極を変更した超音波振動子 (a) 厚さ 200 μ m のステンレスシートを表面にもつ標準型振動子 (b) 振動子中央に円形銀電極をもち端部にドーナツ形対電極（白矢印）をもつ標準型振動子の裏面 (c) 標準型振動子の円形銀電極を溶解した後の振動子の裏面 (d) 円形の銀電極（直径 8mm）を生成した後の振動子の背面

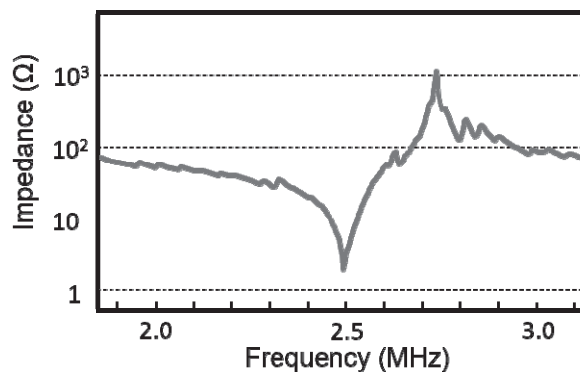


Fig.3 超音波振動子のインピーダンス特性

Table 1 超音波振動子の共振特性（インピーダンスアナライザ（IM3570，Hioki）で計測した，振動子の共振周波数および共振周波数におけるインピーダンス）

	Resonant Frequency (MHz)	Impedance at the Resonant Frequency ()
Circular Electrode	2.49	1.528

(2) 霧化検証実験

本研究では，10³ mg の蒸留水を振動子に供給した後，電源から高周波を印加し，振動子の霧化特性を比較した。電源から印加する入射電力は，進行波電力と反射波電力の合計であり，各実験において，同一の進行波電力が振動子へ印加されるよう電力計を用いて調整した。インピーダンス整合器を用いて，定在波比（SWR）を 1.5 程度に調整する事により，各実験における振動子への高周波電力の透過率が 95% 以上になるよう設定した。ここで SWR は，次式 (1) により定義される。

$$SWR = \frac{\sqrt{P_f} + \sqrt{P_r}}{\sqrt{P_f} - \sqrt{P_r}} \quad (1)$$

Table 2 に，本研究で使用した振動子に対し 5W の進行波電力を印加した場合の，電源からの入射電力，反射波電力，SWR，および透過率を示す。

ガラスピペットを使用して 10³ mg の蒸留水を振動子

Table 2 円形銀電極に印加した電力（入射電力 (P) は，進行波電力 (P_f) が 5W になるように調整した 反射波電力 (P_r)，SWR および電力透過率 (%) も記載した）

	Input Power P (W)	Forward Power P _f (W)	Reflected Power P _r (W)	SWR	Transmittance (%)
Circular Electrode	5.32	5	0.32	1.68	94.0

Table 3 進行波電力を 13W にする場合の超音波振動子へ印加した入射電力

	Input Power P (W)	Forward Power P _f (W)	Reflected Power P _r (W)	SWR	Transmittance (%)
Circular Electrode	13.8	13	0.8	1.66	94.2

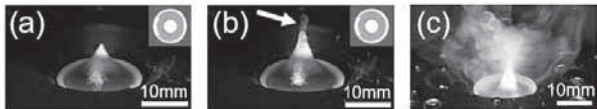


Fig.4 超音波振動子により形成された円錐形の水柱 (a) 10W 印加した場合 (b) 11.5 W 印加した場合 (c) 13W 印加した場合

上に供給し、高周波を印加する事により振動子上で生じる、水柱の形成、液滴の生成、および霧化の発生を観測した。以後の実験において印加する最大入射電力は 13W であり、振動子に 13W の進行波電力を印加した場合の電力特性を Table 3 に示す。

Fig.4a から 4c は、それぞれ 10W、11.5W および 13W の入射電力を 2.5MHz で印加した場合、振動子上に形成される液面形状を斜めから撮影した連続写真である。これらの画像は、高周波の印加により振動子上に円錐形の水柱が形成され (Fig.4a)、印加電力の増加に伴い水柱の高さおよびアスペクト比が増加し (Fig.4b)、水柱の上部から真上に向かって穏やかな霧が発生し始めた状態を表す (Fig.4b 白矢印)。この Fig.4b に示す円錐形の安定した水柱は、12W を印加するとランダムな首振り運動を開始し、13W を印加した場合には、Fig.4c に示すように激しい液滴の形成と霧を発生した。

4. 理論解析

上記の実験結果を理論的に解釈する為、振動子上で縦振動する液体に正準理論を基にした理論解析を行った。本研究では、縦振動する液体の断面領域に正準理論を適用する事により、霧化に必要な液体のエネルギーと運動を解析する。特に、次の 2 つの実験結果を理論的に考察する。

霧化の進行に伴い：

水柱の高さが増加した。

霧化の量が増加した。

これらの実験結果を解析することにより、本研究で導入した“霧化の仕事関数”と液体の表面エネルギーとの

関係が、以下の様に明らかになる。ここで、本研究で導入した“霧化の仕事関数”という概念は、電子の光電効果から類推したものであり、液面から 1 つの液滴を発生させるために必要なエネルギーとして定義した。また、このエネルギーは、表面波、キャピテーション、または沸騰による霧化を生成する為に必要なエネルギーの合計、および霧化前後の水の表面エネルギーの総量の差とみなす事も可能である。

(1) 理論式

式 (2) は系のハミルトニアンであり、一般化座標 (q)、一般化運動量 (p)、および時間 (t) の関数である。

$$H = H(q, p, t) \quad (2)$$

方程式 (3) および (4) は、ハミルトンの運動方程式を表す^[46,47]。

$$\dot{q} = \frac{\partial H}{\partial p} \quad (3)$$

$$\dot{p} = -\frac{\partial H}{\partial q} \quad (4)$$

方程式 (2), (3), および (4) は、固体または液体の動きを記述する最も基本的な方程式である。特殊なケースとして、表面ハミルトニアンや非線形性を含むハミルトニアンを考慮した場合でも、方程式は成り立つ。したがって、原理的には、振動子上の液体によって形成される表面波や非線形運動を記述することもできるはずである^[46,47]。

この解析では、液体の運動エネルギー (E) は式 (5) により定義し、運動量 (P) は式 (6) で定義する事により質量をもつ物体の運動を扱う。ここで、 m は液体の質量である。

$$E = \frac{P^2}{2m} \quad (5)$$

$$P = m \dot{q} \quad (6)$$

運動エネルギー (E) と運動量 (P) はまた、式 (3) および (4) に示すハミルトンの運動方程式に従い、それぞれ値を変えながら式 (7) を満たす事が要求される。

$$\dot{q} = \sqrt{\frac{2E}{m}} \quad (7)$$

式(7)は、質量を持つ任意の固体または液体について成立する基本的な関係である。この式を、本研究で観測した振動子上の水の動きの解析に適用する。

(2) 霧化振動子のモデル化

Fig.5a および 5b は、霧化中の振動子上の水柱の変化を表すモデルである。これらの画像は、霧化が進むと振動子上の水量(質量)が減少し、水柱の高さと霧化量が増加していることを示す。

Fig.5 に示すモデルでは、振動子の縦振動エネルギーは、振動子上の水の縦振動の運動エネルギーに変換される。この変化は、同一電力が連続的に印加された場合の経時変化であるため、振動子の水が受け取る運動エネルギーは、Fig.5a および 5b に示すモデルでは同じであると見なす。したがって、両図における式(7)の分子 $2E$ は、霧化中は同一であると考えられる。しかし、振動子上の水の質量 (m) は霧化の進行とともに減少する (Fig.5)。したがって、式(7)の分母である振動子上の水の質量は、霧化の進行と共に減少する。このため、式(7)の左辺の一般化速度 (\dot{q})、すなわち振動子上の縦振動の速度は、時間経過と共に増加する。一般化速度 (\dot{q}) の増加は、振動子上で振動する水の縦振動の速度が霧化の進行と共に増加することを意味する。したがって、Fig.5 に示す振動子から任意の距離 (h) にある水柱の断面における縦振動の速度も、霧化の進行と共に増加するはずである。このため、振動子からの距離 h が同一の水柱断面において Fig.5a と Fig.5b の水の縦振動の速度を比較すると、Fig.5b の水の振動速度は、Fig.5a のそれよりも大きくなるはずである。

(3) 実験の解釈

この実験の超音波振動の周波数は 2.5MHz であるため、 $0.4 \mu s$ ごとに縦振動が振動子上の水に作用する。

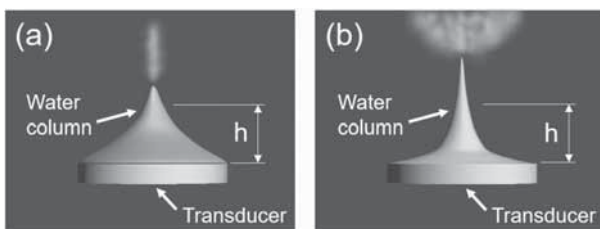


Fig. 5 霧化の進行に伴う振動子上の水柱の変化 (a) 霧化開始直後で十分な水が振動子上にある場合の水面形状 (b) 霧化が進行し振動子上の水量が減少した場合の水面形状 (これらの図は、振動子に同一電力を印加した場合に、霧化の進行に伴う水面形状の変化を表すモデルである)

ここで、 $\overline{\Delta \dot{q}_h}$ は、振動子から同一距離 h の距離にある振動水の平均速度の差とすると、次の事がいえる。すなわち、Fig.5b の水柱の各断面における振動水の移動量は、Fig.5a のそれよりも各振動サイクルで $0.4 \overline{\Delta \dot{q}_h}$ づつ大きくなければならない。振動子から距離 h の断面での、各振動サイクルにおける振動水の平均移動量 $0.4 \overline{\Delta \dot{q}_h}$ (m) は、振動子から離れる方向である (Fig.5 における高さ方向)。この事は、霧化の進行と共に水柱の長さが長くなる事を意味する。この解釈は、振動子上の水柱の高さが時間とともに増加するという実験結果に対する正準理論に基づく解釈である。

また、式(7)を変形すると、次式(8)が得られる。

$$\frac{E}{m} = \frac{1}{2} \dot{q}^2 \geq \Omega \quad (8)$$

ここで、 Ω は表面エネルギー (この実験では水の表面エネルギー) であり、単位は (J/kg) である。一般に、表面エネルギーの単位は (J/mm^2) または (N/m) である^[48]。しかし、この一般的定義は、厚さを無視した理想的な液面でのみ有効である。このため実際の液面を理論と比較する場合には、ある厚さをもつ領域の表面エネルギー (J/m^3) または (J/kg) を考慮する必要がある。

式(8)によると、一定の運動エネルギー (E) が振動子から水に与えられる状態で、振動子上の蒸留水の質量 (m) が、霧化の進行とともに直線的に減少する場合、水の振動速度の二乗 (\dot{q}^2) が直線的に増加すると解釈できる。この式は、振動子により縦振動する振動子上の水について成り立つ。このため、Fig.5a および 5b の矢印で示された、振動子からの距離 (h) における水柱上のいかなる断面や、水柱の頂上部においても成り立つはずである。このため式(8)によると、霧化の進行に伴い、振動子上の水量 (m) が減少すると、水の速度の二乗 (\dot{q}^2) が増加するため、この量 (\dot{q}^2) が水の表面エネルギーを超える場合には、振動水は空気中に放出されるはずである。

振動子から水が枯渇する直前には、水量 m は極めて微量になる為、水の速度の二乗 (\dot{q}^2) が急激に増大し、表面エネルギー (Ω) よりもはるかに大きな値になるはずである。このことから、振動子上の水が枯渇する直前に

は、激しい霧化が発生したという実験結果を明確に説明することができる。これが、霧化の進行と共に霧化の量が増加するという実験結果の正準理論に基づく解釈である。

上記の解釈を発展させると、実験結果に対する熱エネルギーの効果をより正確に説明できる。一般に、水の表面エネルギー (Ω) は温度の上昇とともに直線的に減少する^[49]。しかし、温度上昇に伴い水分子の速度が増加するため、量 $\frac{1}{2}q^2$ は増加する。したがって式 (8) によると、振動子上の水の温度が上昇すると、水の速度の2乗 ($\frac{1}{2}q^2$) は、水の表面エネルギー (Ω) より大きくなり、振動子上の水は空気中に放出される可能性が高くなる。正準理論に基づくこの解釈は、水の温度が高いほど霧化効率が高いという実験結果を矛盾なく支持している。

(4) 考察

上記の実験結果の理論解析には、数値計算を使用した定量分析は含まれていない為、最終的な理論解析ではない。しかし、今回試みた正準理論に基づく解析は、曖昧な近似を含まない一般化された解析であるため、あらゆる振動液体の挙動に適用できる普遍的な解析である。さらに、表面エネルギーを導入したこの理論解析は、この研究で導入した概念“霧化の仕事関数”に対する理論的裏付けを与えるものである。上記の理論的考察から、噴火タイプの霧化 (Fig.4b) の理由を特別な近似なしに理解することが可能になった。将来に向けた研究として、霧化の発生メカニズムの仮説 (表面波説、キャピテーション説、沸騰説) を、上記の理論に実験データを適用し定量的に扱うことにより検討する予定である。

5. 結論

本研究では、100年にわたる歴史的難問である霧化の発生メカニズムに対し、ものづくりセンターで作製した超音波霧化発生器を用いて実験を行い、その結果を正準理論に基づき理論的に解析した。この解析により、霧化が進行し振動子上の水の質量が減少すると、水柱の高さが増加し、霧化が激しくなるという実験結果を、特別な近似なしに説明する事が可能になった。

また、本研究において、新しい概念である“霧化の仕事関数”という考え方を導入した。この概念を導入する事により、霧化の発生メカニズムにおける、表面波・キャピテーション・または沸騰という3つの仮説を無視した解析が可能となった。この概念の導入により、霧化が進行し振動子上の水の質量が減少すると、水の縦振動の

速度が増加し、水の振動の運動エネルギーが表面エネルギーを超える事により霧化が開始されるという考えに理論的裏付けを与える事が可能になった。

水の運動エネルギーが、どのようなメカニズム (表面波、キャピテーション、または沸騰) により霧化を発生させるのかを明らかにする事が、近い将来の次の課題である。

謝辞

本研究の遂行にあたり、ものづくりセンターにおける作業の効率化にご協力いただきました、梶谷学科長および山本学科長補佐に、お礼を申し上げます。

参考文献

- [1] W. R. Wood and A. L. Loomis, "The physical and biological effects of high-frequency sound-waves of great intensity," Lond. Edinb. Dubl. Phil. Mag. **4**, 417-436 (1927).
- [2] L. Y. Yeo, J. R. Friend, M. P. McIntosh, E. N. T. Meeusen, and D. A. V. Morton, "Ultrasonic nebulization platforms for pulmonary drug delivery," Expert Opin. Drug Deliv. **7**, 663-679 (2010).
- [3] N. Nishio, K. Tai, and S. Nagai, "Hydrolase production by *Aspergillus niger* in solid-state cultivation" European J. Appl. Microbiol. Biotechnol. **8**, 263-270 (1979).
- [4] C. E. Ferguson, H. F. Kleinman, and J. Browning, "Effect of lavender aromatherapy on acute-stressed horses," J. Equine. Vet. Sci. **33**, 67-69 (2013).
- [5] K. Söllner, "The mechanism of the formation of fogs by ultrasonic waves," Trans. Faraday Soc. **32**, 1532-1536 (1936).
- [6] B. I. Il'in and O. K. Eknadiosyants, "Nature of the atomization of liquids in an ultrasonic fountain," Sov. Phys. Acoust. **12**, 269-275 (1967).
- [7] Y. Y. Boguslavskii and O. K. Eknadiosyants, "Physical mechanism of the acoustic atomization of a liquid," Sov. Phys. Acoust. **15**, 14-21 (1969).
- [8] L. D. Rozenberg, *Physical Principles of Ultrasonic Technology*, Vol. 2 (Plenum, New York, 1973).
- [9] L. A. Crum, "Tensile strength of water," Nature. **278**, 148-149 (1979).
- [10] J. C. Simon, O. A. Sapozhnikov, V. A. Khokhlova, L. A. Crum, and M. R. Bailey, "Ultrasonic atomization of liquids in drop-chain acoustic fountains," J. Fluid. Mech. **766**, 129-146 (2015).
- [11] P. Gaboriaud, "Ultrasonic atomizer with automatic control circuit," U.S. patent 4,264,837 (1981).
- [12] S. Nakane, N. Maehara, and K. Yamamoto, "Atomization apparatus employing a capacitive piezoelectric transducer," U.S. patent 4,632,311 (1986).
- [13] M. Takeda, "Ultrasonic liquid atomizer with an improved soft start circuit," U.S. patent 4,641,053 (1987).
- [14] J. Friend, "Exploring the phenomenon of ultrasonic atomization for viscous fluids," J. Acoust. Soc. Am. **141**, 3462-3463 (2017).
- [15] S. Roberts, "Dielectric and piezoelectric properties of barium

- titanate," *Phys. Rev.* **71**, 890–895 (1947).
- [16] J. Friend, E. Jamieson, M. Pennell, and W. Huebner, "Ultrasonic characterization of poling in lead zirconate titanate ceramics," *Appl. Phys. Lett.* **79**, 2794–2796 (2001).
- [17] K. Uchino, "Glory of piezoelectric perovskites," *Sci. Technol. Adv. Mater.* **16**, 046001 (2015).
- [18] W. P. Mason, "Electrostrictive effect in barium titanate ceramics," *Phys. Rev.* **74**, 1134–1147 (1948).
- [19] R. J. Lang, "Ultrasonic atomization of liquids," *J. Acoust. Soc. Am.* **34**, 6–8 (1962).
- [20] A. Qi, L. Y. Yeo, and J. R. Friend, "Interfacial destabilization and atomization driven by surface acoustic waves," *Phys. Fluids*. **20**, 074103 (2008).
- [21] D. J. Collins, O. Manor, A. Winkler, H. Schmidt, J. R. Friend, and L. L. Yeo, "Atomization of thin water films generated by high-frequency substrate wave vibrations," *Phys. Rev. E*. **86**, 056312 (2012).
- [22] J. Blamey, L. L. Yeo, and J. R. Friend, "Microscale capillary wave turbulence excited by high frequency vibration," *Langmuir* **29**, 3835–3845 (2013).
- [23] L. D. Rozenberg and O. K. Eknadosyants, "Kinetics of ultrasonic fog formation," *Sov. Phys. Acoust.* **6**, 369–374 (1960).
- [24] E. L. Gershenzon and O. K. Eknadosyants, "The nature of liquid atomization in an ultrasonic fountain," *Sov. Phys. Acoust.* **10**, 127–132 (1964).
- [25] O. K. Eknadosyants, "Role of cavitation in the process of liquid atomization in an ultrasonic fountain," *Sov. Phys. Acoust.* **14**, 107–111 (1968).
- [26] J. Frohly, S. Labouret, C. Bruneel, I. L. Baquet, and R. Torguet, "Ultrasonic cavitation monitoring by acoustic noise power measurement," *J. Acoust. Soc. Am.* **108**, 2012–2020 (2000).
- [27] O. A. Sapozhnikov, V. A. Khokhlova, M. R. Bailey, J. C. Williams, J. A. Mcateer, R. O. Cleveland, and L. A. Crum, "Effect of overpressure and pulse repetition frequency on cavitation in shock wave lithotripsy," *J. Acoust. Soc. Am.* **112**, 1183–1195 (2002).
- [28] A. D. Maxwell, C. C. Cain, T. L. Hall, J. B. Fowlkes, and Z. Xu, "Probability of cavitation for single ultrasound pulses applied to tissues and tissue-mimicking materials," *Ultrasound Med. Biol.* **39**, 449–465 (2013).
- [29] V. A. Khokhlova, M. R. Bailey, J. A. Reed, B. W. Cunitz, P. J. Kaczkowski, and L. A. Crum, "Effects of nonlinear propagation, cavitation, and boiling in lesion formation by high intensity focused ultrasound in a gel phantom," *J. Acoust. Soc. Am.* **119**, 1834–1848 (2006).
- [30] R. Pillai, M. K. Borg, and J. M. Reese, "Acoustothermal atomization of water nanofilms," *Phys. Rev. Lett.* **121**, 104502 (2018).
- [31] R. L. Peskin and R. J. Raco, "Ultrasonic atomization of liquids," *J. Acoust. Soc. Am.* **35**, 1378–1381 (1963).
- [32] D. Sindayihebura and L. Bolle, "Ultrasonic atomization of liquids: Stability analysis of the viscous liquid film free surface," *Atomization Sprays* **8**, 217–233 (1998).
- [33] L. Rayleigh, "On the instability of a cylinder of viscous liquid under capillary force," *London Edinb. Dubl. Phil. Mag.* **34**, 145–154 (1892).
- [34] M. N. Topp, "Ultrasonic atomization—a photographic study of the mechanism of disintegration," *Aero. Sci.* **4**, 17–20 (1973).
- [35] A. J. Yule and Y. Al-Suleimani, "On droplet formation from capillary waves on a vibrating surface," *Proc. Royal Soc. A.* **456**, 1069–1085 (2000).
- [36] M. Faraday, "On a peculiar class of acoustical figures and on certain forms assumed by groups of particles upon vibrating elastic surfaces," *Phil. Trans. R. Soc. London* **121**, 319–340 (1831).
- [37] H. Lamb, *Hydrodynamics* (MacMillan, London, 1931).
- [38] T. B. Benjamin and F. Ursell, "The stability of the plane free surface of a liquid in vertical periodic motion," *Proc. Royal Soc. A* **255**, 505–515 (1954).
- [39] W. Eisenmenger, "Dynamic properties of the surface tension of water and aqueous solutions of surface active agents with standing capillary waves in the frequency range from 10 kc/s to 1.5 Mc/s," *Acustica* **9**, 327–340 (1959).
- [40] F. Barreras, H. Amaveda, and A. Lozano, "Transient high-frequency ultrasonic water atomization," *Exp. Fluids*. **33**, 405–413 (2002).
- [41] J. N. Antonevich, "Particle size distributions in ultrasonic emulsification," *Ultrason. Eng.* **6**, 6–15 (1959).
- [42] J. D. Bassett and A. W. Bright, "Observations concerning the mechanism of atomization in an ultrasonic fountain," *J. Aero. Sci.* **7**, 47–51 (1976).
- [43] J. C. Simon, O. A. Sapozhnikov, V. A. Khokhlova, Y. N. Wang, L. A. Crum, and M. R. Bailey, "Ultrasonic atomization of tissue and its role in tissue fractionation by high intensity focused ultrasound," *Phys. Med. Biol.* **57**, 8061–8078 (2012).
- [44] H. Matsuura, H. Furukawa, and T. Uda, "Analysis of the electromeniscus phenomenon using a different interpretation of the Maxwell model applied to three-dimensional molecular orientations," *Phys. Rev. E* **73**, 066306 (2006).
- [45] H. Matsuura, T. Tanikawa, and S. Kokaji, "Analysis of the frequencydependent electromeniscus phenomenon from the viewpoint of canonical theory," *Jpn. J. Appl. Phys.* **43**, L894–L897 (2004).
- [46] E. T. Whittaker, *A Treatise on the Analytical Dynamics of Particles and Rigid Bodies* (Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 1937).
- [47] L. N. Hand and J. D. Finch, *Analytical Mechanics* (Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 1998).
- [48] J. N. Israelachvili, *Intermolecular and Surface Forces, 2nd ed.* (Academic Press, London, 1992).
- [49] *Handbook of Chemistry, Basics II, 4th ed.* (Maruzen Co., Ltd., Tokyo, 1993).

Kinect センサーを用いた音声対話システム前における人物の動作識別

早川 元貴*, 實廣 貴敏*

(2019年9月30日 受理)

Recognition of Person's Movement at the Front of Speech Dialog System by a Kinect Sensor

Genki Hayakawa*, Takatoshi Jitsuhiro*

(Received September 30, 2019)

Abstract

We introduce a method to recognize user's movement in front of the spoken dialog system for its autonomous actions. Usual spoken dialog systems just wait for users' utterance. However, if they can talk to users more friendly, users may speak to the systems more happily. In this paper, we specifically consider to detect the four kind of movement patterns that include user's approaching, receding, passing, and stopping. A Kinect sensor developed by Microsoft corp. can be used to obtain user's position and distance from Kinect sensor's position. We use the velocity to recognize whether a user is moving, or stopping, and the direction of velocity to find whether a user is approaching, or receding. Experimental results show that the F-measure, about 80 to 90% was obtained for detecting of approaching, receding, and passing.

キーワード: 音声対話システム, Kinect sensor, 動作認識, 歩行方向認識

Keywords: spoken dialog system, Kinect sensor, motion recognition, walking direction recognition

1. はじめに

近年, 音声対話システムは, スマートフォンやパソコン上で使えるものや, スピーカの形で利用できるものが世間にも広まりつつある. 研究としては, 古くから構築され, 文献^[1]などのように, 長期間, 実際に使われているものもある. 著者らが所属する研究室では, 大学の施設案内やキャラクターとお話ができる設置型の音声対話システムがある^[2].

しかし, これらはどれもユーザーから話しかけるまで何も動作しない. ポスターなどをおいて, アピールしながら, 展示しておいても, 興味があって近づいてきたとしても, 利用する人は少なく, 通り過ぎていく人が多い.

対話を行う機会を増やすためには, 時にはシステム側からの問いかけがあるとよいが, むやみに話しかけても意味がない. ユーザーの状況を理解した上で話しかける

と効果的と考えられる. 据え置いた対話システムに興味があれば, 近づこうとするだろうし, そうでなければ, 通り過ぎる. これらの動作を検出できれば, 話しかけるタイミングを図る参考になると考えられる.

そこで, 近づいてくる人を検出することができれば, システム側から挨拶や呼び込みを行うことでシステムの利用率が上がると考えられる. 本研究では, ユーザーの位置情報を取得することのできる Microsoft 社製の Kinect センサーを用いて, ユーザーの動きを検出し, 近づいているのか, 離れていっているのかなどの動作を検出することを目標とする. この Kinect センサーを利用した関連研究として, Kinect センサーの骨格検出によりユーザーの頭部を追跡し位置情報の取得を行い, この位置情報にマイクの指向性を向けることでユーザーの音声強調する手法がある^[3]. その結果, 雑音による影響が少なく, 安定した音源の位置推定が行える. また, 講義

* 愛知工科大学工学部情報メディア学科 愛知県蒲郡市西迫町馬乗 50-2
Department of Media Informatics, Faculty of Engineering, Aichi University of Technology, 50-2, Manori, Nishihama-cho, Gamagori-shi, Aichi, 443-0047 Japan

中の受講者の状態を推定するときに Kinect センサーを用いる手法が提案されている^[4]。Kinect で検出した頭部座標、顔の 3 次元回転角、顔の 3 次元平行移動量、左右目の 2 次元座標の計 17 個を特徴量にし、連続した 5 フレームのデータを 1 つの受講者の動きとして、5 フレームのデータがすべて欠損値の時には、特定の行動を取っていたものとする。そうでない時は、各特徴量の平均と分散を算出し、特徴ベクトルとして用いている。結果として、1 つの行動に対して 34 次元のベクトルができています。このベクトルに対してクラス分類を行うために k 近傍法を用いて状態を推定する。

本研究では、音声対話システムにおいて、目の前にいる人たちに呼びかけ、システム側から積極的に対話できるようにするために、彼らの行動が、こちらに接近しているのか、離れて行っているのか、単に通りに過ぎているのかを識別する方法を検討する。具体的には、Kinect センサーを用い、人物の骨格検出を行い、頭部の位置情報を取得する。そして、この位置情報から速度や傾きを求めてその人の接近や離脱を判定する。

ただし、音声対話システム前でのユーザーの自然な動作を収集し、曖昧な行動を判定することは、最初の段階では大変困難と思われるため、本論文では、比較的単純化された歩行パターンに限定して検討を行う。具体的には、4 つの動作、(1) 接近、(2) 離脱、(3) 停止、(4) 通過、のみを対象とする。被験者にはおよそのパターンを示し、それらに合わせるよう歩いてもらう。そのとき、Kinect センサーから得られる座標や距離を用い、速度やその方向を利用して、被験者の動作を識別する。

本論文の構成を示す。2 節にて、提案法として、人物の接近・離脱・停止・通過に対する識別方法を述べる。次に、3 節では、評価データの収録方法や実験方法、適合率、再現率、F 値による評価結果について述べ、最後に、4 節で本論文をまとめる。

2. 音声対話システム前での動作識別方法

2.1 動作の定義

人物の動作推定として、まず、簡単な歩行パターンのみを識別することを考え、ここで定義する歩行パターンのみを対象とする。ユーザーの動作として、(1) 接近、(2) 離脱、(3) 停止、(4) 通過の 4 種類を定義する。

まず、Fig.1 に、本研究で使用する上から見た時の Kinect センサーの xz 座標系を示す。図中にはないが、紙面奥から手前方向が y 軸正の向きになる。 y 軸は高さを表す。ただし、本研究では高さの情報を扱わないため、

x 軸と z 軸のみを処理の対象とする。また、Kinect から下へ向かって左右に開いている線分は、Kinect により深度距離を推定できる範囲を示す。公表されている深度センサーのスペックは水平方向に 70 度とされている。

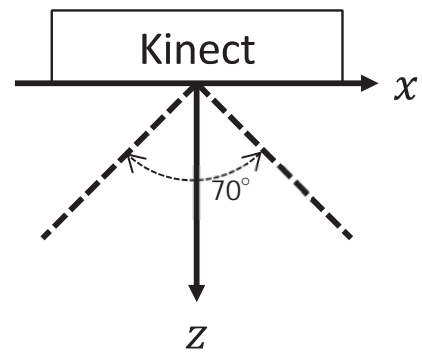


Fig.1 Kinect 座標系

定義した各動作を下記で説明する。

[接近]

Fig.2 に「接近」の歩行パターンを示す。Kinect (ここに音声対話システムがあると仮定)の方へ (a) 正面から、(b) 左側から、(c) 右側から近づく歩行である。

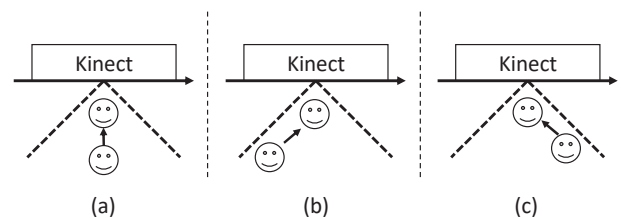


Fig.2 接近動作

[離脱]

Fig.3 に「離脱」の歩行パターンを示す。「接近」とは逆の方向へ歩くパターンで、Kinect から、(a) 正面へ、(b) 左側へ、(c) 右側へ遠ざかる歩行である。

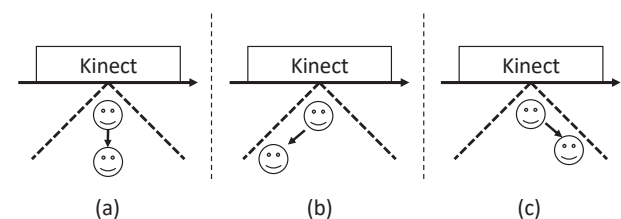


Fig.3 離脱動作

[停止]

歩行の動作をしていない状態とする .

[通過]

Fig.4 に「通過」の歩行パターンを示す . Kinect を , (a) 左から右へ , (b) 右から左へ通り過ぎる歩行である .

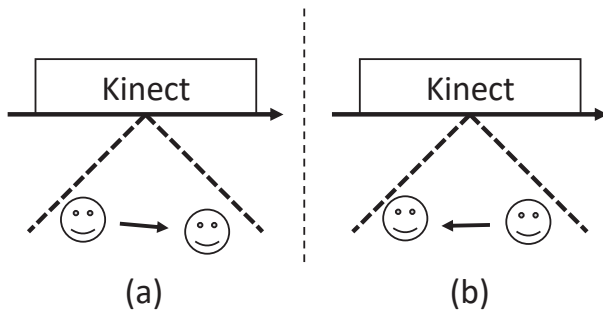


Fig.4 通過動作

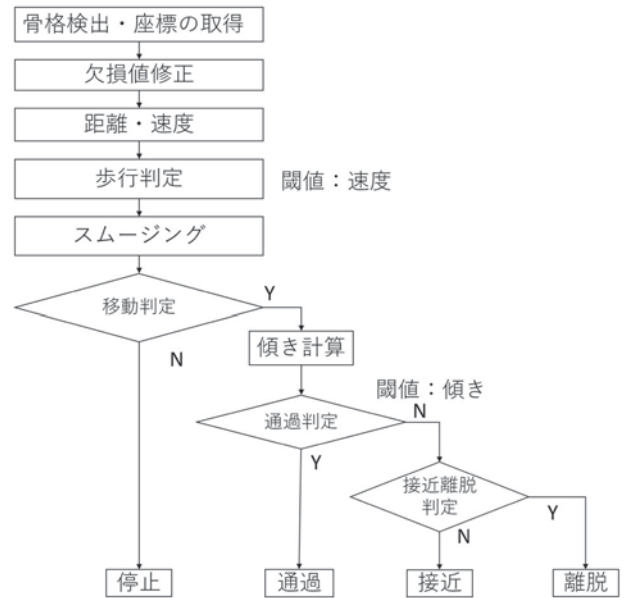


Fig.5 判定処理の手順

2.2. 動作推定方法

Fig.5 に今回用いる動作推定方法の流れを示す . 詳細は , 2.3 , 2.4 節に示すが , まず , 大まかな流れをここで説明する . 接近と離脱の判定をするために , Kinect により , 頭部の座標値から距離を求めて速度を算出し , 歩行しているかどうかの判定をする . まず , 欠損値の修正を行った後 , 距離・速度を求める . 欠損値の修正は 2.4 節 , 手順 2 で述べるように , 前後の平均値を使っている . 次に , 得られた速度が閾値を超えた時に「歩行」と判定するが , 前後 3 点での値をスムージングして最終判定とする . 歩いている時には , 頭部の座標値から , 歩行している動線の傾きを求める . Kinect (音声対話システム) に対する平行線に対する動線の傾きが , ある一定の範囲内であれば , 「通過」と判定する . そうでない時は , Kinect に近づいているか , 離れているかのどちらかであるので , 速度の符号でどちらか判定をする . 符号がマイナスの時は「接近」, プラスの時は「離脱」と判定する .

2.3. 距離と速度の計算

距離を推定する方法として 2 種類検討する . [提案法 A] では , Kinect 深度値から時刻 t と $t+1$ での原点からの距離を求め , 距離の変動から接近 / 離脱を推定 , 速度は 2 点間の距離との大小から求めた符号を付与する . [提

案法 B] では , Kinect の深度値を直接使用し , 速度を推定する . 以下に詳細を述べる .

[提案法 A]

Fig.6 の直線 A の距離を座標から計算する . まず , 時刻 t での座標と 時刻 $t+1$ での座標における Kinect (原点) からの距離 d_t を求める .

$$d_t = \sqrt{x_t^2 + z_t^2}$$

次に , 求めた距離の前後を比較する . このときの符号 $f(d_t, d_{t+1})$ を接近 , 離脱に対して決める . 現時刻 t での距離の方が大きい時は , 近づいているのでマイナスとし , 小さい時は , 離れているのでプラスとしている .

$$f(d_t, d_{t+1}) = \begin{cases} 1, & d_{t+1} \geq d_t \quad (\text{離脱}) \\ -1, & d_{t+1} < d_t \quad (\text{接近}) \end{cases}$$

次に , 2 点の座標の差を計算してから , 三平方の定理により斜面を求める .

$$D_{t+1} = \sqrt{(x_{t+1} - x_t)^2 + (z_{t+1} - z_t)^2}$$

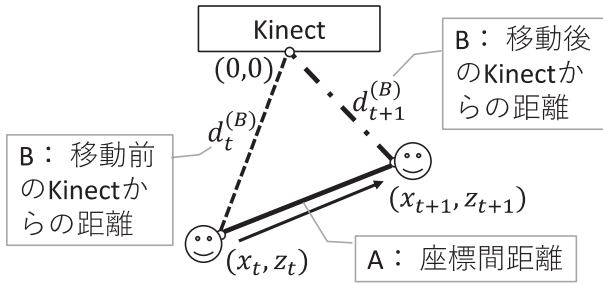


Fig.6 距離計算

Kinect は 1 秒間に 6 個の頭部座標を取得することができる．この取得間隔を $T=1/6$ [s] とする．次式で速度 v_{t+1} を求めることができる．

$$v_{t+1} = \frac{d_{t+1} - d_t}{T}$$

[提案法 B]

Fig.6 の 2 つの直線 B の距離 $\{d_t^{(B)}, d_{t+1}^{(B)}\}$ を Kinect の深度値から直接取得し，利用する方法である．提案法 A での速度の定義を下記のように変更し，利用する．

$$v_{t+1} = \frac{d_{t+1}^{(B)} - d_t^{(B)}}{T}$$

2.4 推定アルゴリズム全体

前処理や詳細も含め，歩行動作推定アルゴリズム全体を次にまとめる．

[歩行動作推定アルゴリズム]

手順 1．骨格検出・座標の取得

Kinect でユーザーの検出を行い，骨格認識をする．次に，頭部を追跡し，頭部座標を取得する．

手順 2．欠損値修正

現在の座標 $x_t=(x_t, z_t)$ が欠損している場合で，かつ，前後時刻の座標が 0 でない時（値が欠損していない時），前後時刻の座標平均 \bar{x}_t を用いる．

$$\bar{x}_t = \frac{x_{t-1} + x_{t+1}}{2}$$

手順 3．距離 d ・速度 v

速度は提案法 A，B の方法でそれぞれ推定する．頭部座標 x_t ，または，手順 2 の平均座標 \bar{x}_t を用い，速度を求める．

手順 4．歩行判定

手順 3 で得られた速度が速度の閾値を超えているかどうかを次の式 $f(v_t)$ で判定する．速度の閾値を超えていれば 1，そうでない時は 0 とする．

$$f(v_t) = \begin{cases} 0, & |v_t| \geq |v_t| \\ 1, & |v_t| < |v_t| \end{cases}$$

手順 5．スムージング

手順 4 の結果をスムージングするために，以下のように三項移動平均 \bar{f}_t を計算する．

$$\bar{f}_t = \frac{f(v_{t-1}) + f(v_t) + f(v_{t+1})}{3}$$

手順 6．移動判定

手順 5 の結果を次式で判定する．1 未満の時は「停止」，1 の時は「歩行」とする．

$$f(\bar{v}_t) = \begin{cases} 0, & \bar{f}_t < 1 \quad (\text{停止}) \\ 1, & \bar{f}_t = 1 \quad (\text{歩行}) \end{cases}$$

手順 7．傾き計算

最小二乗法を用い，傾きを計算する．前後 3 点から最も近い直線の傾き s_t を計算し，それを傾きとして用いる．

$$s_t = \frac{\sum_{i=-1}^1 (x_{t+i} - \bar{x})(z_{t+i} - \bar{z})}{\sum_{i=-1}^1 (x_{t+i} - \bar{x})^2}$$

手順 8．通過判定

Fig.7 に示すように，移動する動線の傾きがある範囲内にある時に「通過」，そうでない時「接近」または「離脱」

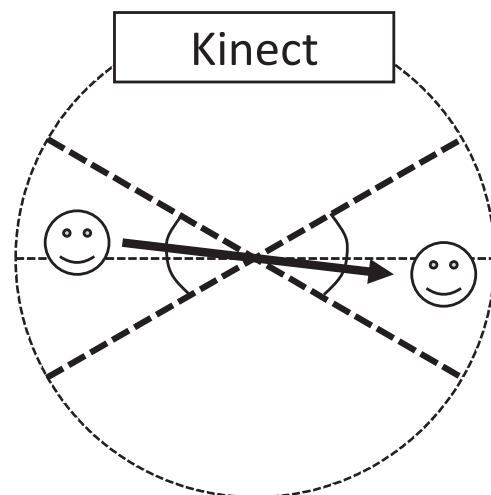


Fig.7 通過判定範囲

と判定する．傾き s_t が傾きの閾値 α を超えている場合，0として次の処理に進む．そうでない時は - 2として「通過」と判定する．

$$g(s_t) = \begin{cases} -2, & |s| < |\alpha| & (\text{通過}) \\ 0, & |s| \geq |\alpha| & (\text{接近または離脱}) \end{cases}$$

手順 9 . 接近・離脱判定

ここで定義している速度は負の時，Kinectに「接近」，正の時に「離脱」となる．下記のように値を定義する．

$$h(v_t) = \begin{cases} 1, & v_t > 0 & (\text{離脱}) \\ -1, & v_t < 0 & (\text{接近}) \end{cases}$$

3. 歩行動作の識別実験

3.1 評価データ

本研究で用いるデータの収録方法や条件について述べる．Kinectの前で，あらかじめ決めたルートを被験者に歩行してもらい，データを収録した．Fig.8に収録環境を示す．著者らの大学研究室内で，Kinectが検出可能な前方70度内，3 m×3 mの範囲内において，被験者に歩行してもらった．Kinectは床からの高さを160 cmとした．今回の実験では，簡単にするために，歩行ルートがほぼ一定になるよう，床に目印をつけた．Fig.9に歩行ルートを，Table 1に被験者に歩いてもらうルートの種類を示す．被験者には最初におよそのルートや範囲を示し，後は自分のペースでそれぞれのルートを歩いてもらった．

Table 2に被験者や収録した評価データの情報を示す．被験者は21歳か22歳の男子大学生20名で，あらかじめ決めたルートを一人10回程度，歩行してもらった．人物検出プログラムはMicrosoft社Kinect for Windows SDK 2.0, NtKinect^[5]を用いて作成した．1/6秒ごとに1フレーム取得した．正解ラベル付けをするにあたり，撮

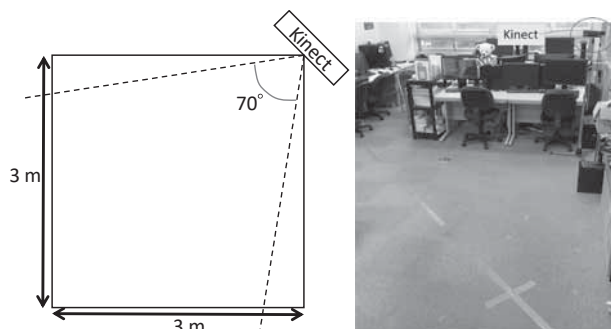


Fig.8 収録環境

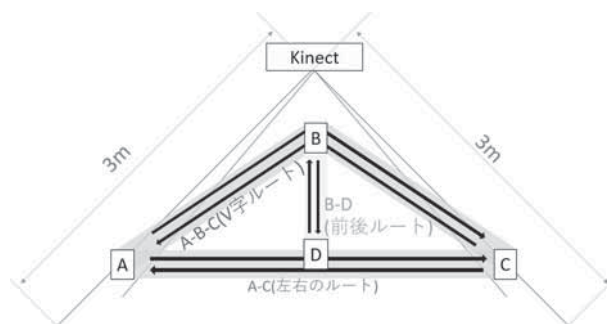


Fig.9 歩行ルート

Table 1 歩行ルートの種類

前後のルート	左右のルート	V字のルート
B → D	A → C	A → B → C
D → B	C → A	C → B → A

Table 2 評価に用いたデータ

被験者	
被験者数	20名
年齢層	20代
データ数	617個
歩行ルート	3種類
各ルートのデータ数	
前後のルート	232個
左右のルート	181個
V字のルート	204個

影時の動画を見ながら主観的に動作のフラグと「データ無し」フラグを用いて，この中のフラグ1つをフレーム1つ1つに割り当てた．

3.2 評価方法

4つの歩行動作の識別を適合率，再現率，F値で評価する．それぞれの定義を示す．

適合率：

$$\text{precision} = \frac{TP}{TP + FP}$$

再現率：

$$\text{recall} = \frac{TP}{TP + FN}$$

F値：

$$F\text{-measure} = \frac{2 \cdot \text{precision} \cdot \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}} = \frac{2TP}{2TP + FP + FN}$$

ここで、式中の記号説明を以下に示し、それらの関係を Table 3 に示す。

TP (True Positive) :

正解と予想した結果が合っていた時の評価

FP (False Positive) :

正解と予想した結果が間違いだった時の評価

FN (False Negative) :

不正解と予想した結果が合っていた時の評価

Table 3 評価尺度内の記号定義

		正解	
		正	負
予測結果	正	TP	FP
	負	FN	TN

TN (True Negative) :

正解と予想した結果が間違っていた時の評価

3.3 速度の閾値に対する精度

Fig.10 に速度の閾値を変化させたときの再現率、適合率を示す。また、Table 4 に、「停止」の F 値が最も高い時の停止の閾値、再現率、適合率と「停止」、「接近」、「離脱」の F 値を示す。速度の閾値では、「接近」と「離脱」をしている時の歩行を判定するために Kinect へ「接近」、「離脱」のしている前後と V 字ルートのデータを用いている。A, B は提案法を表し、A が座標間の距離を用いたもの、B が Kinect までの距離を用いたものである。

速度の閾値の結果は、2 つの提案法であまり変化がない。

Table 4 「停止」の F 値が最も高い時の「停止」、「接近」、「離脱」の F 値

	閾値	停止			F 値	
		再現率	適合率	F 値	接近	離脱
A	0.26	0.926	0.778	0.846	0.897	0.887
B	0.18	0.915	0.774	0.838	0.894	0.882

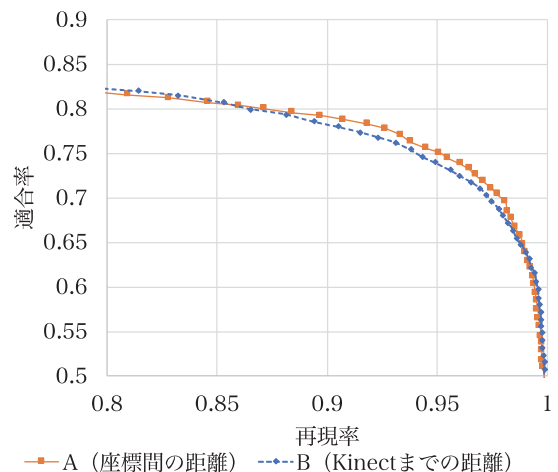


Fig.10 速度閾値を変化させた時の再現率、適合率

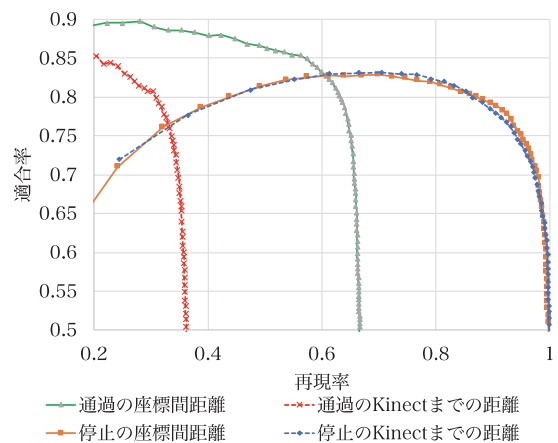


Fig.11 傾き閾値を変化させた時の再現率、適合率

また、Table 4 の F 値の各数値をみてもほとんど同様な値であることが分かる。「接近」と「離脱」においては約 9 割弱検出できた結果となった。

3.4 傾きの閾値に対する精度

傾きの閾値は、通り過ぎている場合と接近離脱をしている場合を区別できるようにするため、3 つのルートのデータを用いている。

求めた速度の閾値を用いて、傾きの閾値を変化させたときの再現率、適合率と Fig.10 を合わせたものを Fig.11 に示す。また、Table 5 に、速度の閾値と「通過」の F 値が最も高い時の閾値から得られる再現率、適合率を、Table 6 に、「通過」の F 値が最も高い時の各動作状態の F 値を示す。このグラフから、「通過」での F 値は、「停止」での F 値よりも低いことがわかる。また、この表の

F 値の「通過」は、Fig.11 から分かるように A よりも B の方が低く、値としては 24% 低くなっている。この原因は、再現率が低くなっているからである。再現率が低いのは、B の方法だと Kinect までの距離を用いており、横に移動した際に距離の変化量が少ない。そのため、その後の速度の計算において距離の誤差が小さく、「停止」という判定になっているからである。A の方法の場合には、座標間の距離を用いており、どの方向に歩いても歩

Table 5 速度の閾値と「通過」の F 値が最も高い時の閾値から得られる再現率、適合率

	閾値		通過	
	速度	傾き	再現率	適合率
A	0.26	0.36	0.637	0.793
B	0.18	0.36	0.343	0.725

Table 6 「通過」の F 値が最も高い時の各状態の F 値

	F 値			
	停止	接近	離脱	通過
A	0.788	0.876	0.841	0.706
B	0.731	0.876	0.841	0.466

行した分の距離を計算することができる。そのため、B よりも「通過」の再現率が高く、F 値も高くなる。

4. まとめ

本研究では、音声対話システムに接近したり、離れていく人に対し、呼び込みや挨拶をシステムが自律的に行えるようにすることを目標とし、画像や深度センサーを用いて人を検出し、その動作の識別方法を検討した。今回は Kinect を用い、画像や深度センサーの情報から、人が近づいてきたり（接近）、離れていたり（離脱）する動作を識別する手法を提案した。具体的には、頭部座標から距離と速度を計算し、歩行判定をする。その後、歩く方向の傾きを求め、通り過ぎていくか、接近または離脱かの判定をする。通り過ぎていなければ、速度の符号から接近であるか、離脱であるかを識別する。ここで用いる距離は、座標間の距離か、深度センサによる Kinect までの距離を用いて、それぞれの手法を評価をした。

将来的には、ユーザの実際の動作を収集して研究を行なっていきたいが、今回は初の試みであったので、歩

時の意図を明確にできるよう、行動パターンやルートを限定して行なった。行動パターンを「接近」「離脱」「停止」「通過」の 4 種類のみとし、あらかじめ決めた 3 つのルートを Kinect の前で被験者に歩行してもらい、被験者の座標や距離を収録した。

提案法として、Kinect からの距離を求め、その距離変動から推定する提案法 A と、Kinect で得られる深度値を直接使用して用いる提案法 B を提案し、評価した。これらの評価方法として、適合率、再現率、F 値を用いた。提案法にある閾値 2 つに対して最適な値を求めた。

その結果、「接近」「離脱」を約 8 割識別することができ、どちらの距離を用いても変わらないことが確認できた。しかし、「通過」歩行には、座標間の距離が約 7 割検出し、提案法 B では、約 4 割しか検出できなかった。Kinect からの深度値をそのまま用いた時に F 値が低い原因は、横に移動した時に、一つ前の場所との距離の誤差が小さく、「停止」という誤判定になっていることが多かった。「停止」の推定精度は、提案法 A である座標間の距離を用いる方が提案法 B の Kinect からの深度値を用いる方法より約 5% 高く推定できていた。今後、通り過ぎる人を検出する必要がある場合には、座標間の距離を用いる方が適切であることが分かった。

今後の課題として、まず、ラベルづけの問題がある。正解ラベル付けの際に、U ターンした際の動きなど細かい動きに対して、「停止」として正解ラベル付けを行っていた。これは行動パターンを 4 種類に限定していたためである。より自然な動きを推定するには、記述する行動パターンを増す必要がある。正解ラベルを増やして、詳細な動作を扱える手法に改善することで性能向上を図る必要がある。また、今回の評価データは簡略化した歩行パターンのみを対象としたが、音声対話システムを実際に用意して、自然な人の動きを収録、それらを分析、分類して、より詳しい動作の識別を検討していく必要がある。さらに、Kinect の機能として複数のユーザーを検出し、区別することができるが、今回は、このユーザーを区別する処理を行っていないため、提案法では 1 人しか対応できない。動作認識も複数人に対応できるような処理を考えていく必要がある。

謝 辞

本研究の一部は JSPS 科研費 26330211 の助成を受けた。

参考文献

- [1] 西村 竜一, 西原 洋平, 鶴身 玲典, 李 晃伸, 猿渡 洋, 鹿野 清宏, “実環境研究プラットフォームとしての音声情報案内システムの運用,” 電子情報通信学会論文誌 . D-II, 情報・システム, vol. 87, no. 3, pp. 789-798, 2004.
- [2] 中井 慎, “音声対話エージェントによる愛知工科大学の案内システム,” 愛知工科大学卒業論文, 2009.
- [3] 有満 大輝, “Kinect を用いた頭部追跡によるリアルタイム音声強調の研究,” 大分大学卒業論文, 2013.
- [4] 神園 卓也, 高野 茂, 馬場 謙介, 村上 和彰, “深度情報を含む映像からの行動認識に関する研究,” 火の国情報シンポジウム 2014, 3B-3, 2014.
- [5] 新田 善久, “NtKinect : C++ Class Library for Kinect V2,” 情報処理学会ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) 研究会, 2017-HCI-172, pp. 1-6, 2017.

数理統計学における確率変数の確率密度関数の新導出法 標本数が十分に大きいとき

高橋義則*

(2019年9月30日受理)

A New Method of Calculation of Probability Density Function for Random Variable in Mathematical Statistics II —Case of Size of Sample Large Enough—

Yoshinori Takahashi*

(Received September 30, 2019)

Abstract

We apply Dirac's δ function, its integral representation and the method of integration by substitution to mathematical statistics. It is convenient to use Dirac's δ function for calculations of the probability density functions of appropriately transformed random variables from others. The probability density functions of χ^2 , t-distribution, F-distribution, central limit theorem of sample mean and sample correlation coefficient distribution, which are necessarily used in the test and estimate, are calculated by the new method of calculation using Dirac's δ function in the case of size of sample large enough. Here, the formula of limit of sequence representing the definition of Napier number ($e=2,71828\dots$) is also used. It is easy to show that these probability density functions converge on the normal distribution if the random variables are transformed appropriately from others. The normal distribution is very useful for the numerical analysis of the test and estimate of parameters.

キーワード：数理統計学，確率変数，確率密度関数，ディラック関数，検定，推定，標本数大

Keywords : Mathematical statistics, Random variable, Probability density function, Dirac's function, Test, Estimate, Size of sample large enough

1. はじめに

統計学の主目的は二つあって、一つには記述統計と言われるもので、大量のデータから平均値、分散、標準偏差、相関係数などといった極少数の整理された数値によってデータの持つ性質を把握したりすることや、棒グラフや円グラフなどの図で可視的にデータの特徴を表すものであり、他の一つは数理統計（推測統計と同義語）と言われるもので、母集団とその部分空間である標本という考えに立って、標本から得たデータを使って、その背後にある母集団を特徴づけるパラメータ（母数という）を検定（test）したり、推定（estimate）したりするものである。

記述統計の範囲では、大量のデータを少数の整理された数値で単に記述するだけであって現状の整理・把握を行うことには大いに役立つが、必ずしも有意義なこととは言えない。一方の数理統計は、確率の概念を導入し、確率変数に対しては確率密度関数を利用することになる。

* 愛知工科大学名誉教授，〒443-0047 愛知県蒲郡市西迫町馬乗 50-2
Professor emeritus, Aichi University of Technology, 50-2 Manori, Nishihasama-cho, Gamagori 443-0047, Japan

数理統計は、自然、社会、人文の各分野でその応用が盛んになり、成果を収めてきている。また、企業においては管理者や技術者などにとって、判断や行動の客観性のためにも数理統計的な手法を修得することは必須となっている。今日では、コンピュータを使って標本データから簡便に統計的検定と推定ができるようになっている。しかし、標本データの単なる処理手段としてコンピュータソフトを利用するだけでなく、統計結果を正しく扱うためにも如何なる理論的根拠に基づくものかの理解は大切である。

以前の論文¹⁾ (以後、論文 I とする) で、数理統計学とは異分野の量子力学で多用するディラックのデルタ関数 $\delta(x)$ (Dirac's δ function) の基本的性質を利用することによって、数理統計の検定と推定で必要となる確率密度関数の導出を試みた。従前の変数変換によるもの比べて、 δ 関数の性質と置換積分の手法だけで確率密度関数の計算ができることが特徴である。適当な統計量が定義されれば、その確率密度関数は比較的容易に導出できるというものである。多様な確率変数に対する確率密度関数、例えば、正規分布、 χ^2 (カイ 2 乗) - 分布、 χ (カイ) - 分布、 t - 分布、 F - 分布、標本相関係数の分布を導出した。標本データから検定や推定を行うとき、使われる統計量は確率変数として扱うので、それが問題の対象となる母集団の性質によってどのような確率密度関数になるのかが決まる。したがって先ず、母集団に対してその分布の型を仮定しておくことが重要である。品物の寸法の分布なら正規分布、単位時間の来客数の分布ならポアソン分布する母集団を仮定する、といった具合である。論文 I では多くの課題の中に現れてくる正規分布をもつ母集団 (正規母集団) を仮定し、各種統計量の確率密度関数を計算した。本論文においても、検定と推定の議論に至るまでに必要な各種確率変数の確率密度関数についての考察に留めているが、検定と推定についての実務統計の議論が荒川²⁾ によって為されているので参照されることを勧める。

ここで、論文 I で利用した δ 関数の性質を再度簡単に記述しておく。 δ 関数は、元々は量子力学理論の中でディラック (P. A. M. Dirac, 1902~1984, 英) によって導入され、

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(x) dx = 1, \quad x \neq 0 \text{ では } \delta(x) = 0. \quad (1)$$

によって定義される超関数である。

数学的には $\delta(x)$ を関数とすると、この二つの性質は相矛盾し、両者を同時に満足する関数や積分法は存在しないが、積分記号の中で他の関数とともに使う限りにおいて関数のようにして使っても正しい結果を与えることが分かっている。つまり、 $\delta(x)$ は関数に非ざる関数と言う位置づけで、このことが超関数 (generalized function) と呼ばれる所以である。 δ 関数を解析学的に表現する方法は幾つか提唱されているが、 $\delta(x)$ を直感的に思い浮かべるために比較的簡単な表現を

$$\delta(x) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0^+} \left\{ \frac{1}{2\varepsilon}; |x| \leq \varepsilon \right\} \cup \{0; |x| > \varepsilon\} \quad (2)$$

によって与える。 $\delta(x)$ は幾つかの重要な性質をもつが、本研究においては

$$\int_a^b \delta(x - c) dx = 1 \quad (a < c < b), \quad (3)$$

$$\int_a^b \delta(x-c)f(x) dx = f(c) \quad (a < c < b) \quad (4)$$

の性質³⁾と置換積分の手法, および, δ 関数の積分表示³⁾

$$\delta(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{ikx} dk, \quad (5)$$

のみを使う.

確率変数は多様であって, それらに対する確率密度関数は, 一般には複雑な関数形を持つ場合が多く, 検定や推定に利用するとき煩雑になることがある. その様な場合に対処するため, 標本数 n が十分に大きいとき (母集団の確率密度関数の型にもよるが経験的にはほぼ 10 以上, 場合によっては 30 以上), 確率変数を適当に変換することによってその確率密度関数が正規分布に収斂することを示す. その収斂を示すためにしばしば用いる基本的な関係式⁴⁾を以下に示しておく.

実数 x ($-\infty < x < \infty$) に対して,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{x}{n}\right)^n = e^x \quad (6)$$

で定義された指数関数である. ここで, $e=2.71828\dots$ はネイピアの数である. ただし, 以後の計算では $\lim_{n \rightarrow \infty}$ の意味を, 数学的には正確ではないが, 十分に大きな n に対して成り立つものと解釈する.

2. 標本数 n が十分に大きい場合の確率密度関数の収斂形

(1). 標本数 n が十分に大きい場合の χ^2 -分布

自由度 n の χ^2 -分布の式は以下に与えられる.

$$\frac{1}{2^{\frac{n}{2}} \Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} (\chi^2)^{\frac{n-2}{2}} e^{-\frac{\chi^2}{2}}. \quad 0 < t < \infty \quad (7)$$

ただし, 変数 s の関数 $\Gamma(s)$ は,

$$\Gamma(s) \equiv \int_0^{\infty} e^{-t} t^{s-1} dt \quad (8)$$

で与えられ, ガンマ関数と呼ばれる. 上式は論文 I に n 次元空間の球体表面積を求める計算法を利用して詳細な導出法が示されているが, ここでは, さらに付録 1 に式 (5) の δ 関数の積分表現を利用した別の導出法を与えておく. χ^2 -分布は, 標本分散の分布と関係するものである.

標本数 n が十分に大きい場合, 確率変数 $\sqrt{2\chi^2 - \sqrt{2n-1}}$ および $(\chi^2 - n)/\sqrt{2n}$ の確率密度関数が漸近的に基準正規分布 $N(0, 1^2)$ に従うことを示す.

1) . $\sqrt{2\chi^2} - \sqrt{2n-1}$ の場合

$\sqrt{2\chi^2} - \sqrt{2n-1}$ が従う確率密度関数 $g(t)$ は,

$$g(t) = \int_0^\infty \delta\left(t - (\sqrt{2\chi^2} - \sqrt{2n-1})\right) \frac{1}{2^{n/2} \Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} (\chi^2)^{\frac{n-2}{2}} e^{-\frac{\chi^2}{2}} d(\chi^2). \quad (9)$$

先ず, $\chi^2 = X$ と書き換えると

$$g(t) = \int_0^\infty \delta(t + \sqrt{2n-1} - \sqrt{2X}) \frac{1}{2^{n/2} \Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} X^{\frac{n-2}{2}} e^{-\frac{X}{2}} dX. \quad (10)$$

ここで, $u = \sqrt{2X}$ と置くと $du = dX/u$. したがって,

$$\begin{aligned} g(t) &= \int_0^\infty \delta(t + \sqrt{2n-1} - u) \frac{1}{2^{n/2} \Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \left(\frac{u}{\sqrt{2}}\right)^{n-2} e^{-\frac{1}{2} \frac{u^2}{2}} u du \\ &= \frac{1}{2^{n-1} \Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} (t + \sqrt{2n-1})^{n-1} e^{-\frac{1}{2} \frac{(t + \sqrt{2n-1})^2}{2}}. \end{aligned} \quad (11)$$

次に, 十分に大きな n に対して式 (11) の因子, $(t + \sqrt{2n-1})^{n-1}$ の式変形を求める.

$$(t + \sqrt{2n-1})^{n-1} = \left(\sqrt{2n-1} \left(1 + \frac{t}{\sqrt{2n-1}}\right)\right)^{n-1} = (2n-1)^{\frac{n-1}{2}} \left(1 + \frac{t}{\sqrt{2n-1}}\right)^{n-1}. \quad (12)$$

右辺第 1 因子は

$$(2n-1)^{\frac{n-1}{2}} = (2n)^{\frac{n-1}{2}} \left(1 - \frac{1}{2n}\right)^{\frac{n-1}{2}} \approx (2n)^{\frac{n-1}{2}} e^{-\frac{1}{4}} \quad (13)$$

ここで, 式 (6) を用いた. 右辺第 2 因子は, 展開式⁵⁾

$$\log(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \dots \quad (14)$$

即ち,

$$1+x \approx e^{x - \frac{x^2}{2}} \quad (15)$$

によって,

$$\left(1 + \frac{t}{\sqrt{2n-1}}\right)^{n-1} \approx \left(e^{\left(\frac{t}{\sqrt{2n-1}} - \frac{1}{2} \frac{t^2}{2n-1}\right)}\right)^{n-1} \approx e^{\left(-\frac{1}{4} t^2 + \frac{\sqrt{2n-1}}{2} t\right)} \quad (16)$$

を得る. 式 (16) の別の導出法を付録 2 に記述する. さらに, ガンマ関数にスターリングの漸近公式⁶⁾

$$\Gamma\left(\frac{n}{2}\right) = \Gamma\left(\frac{n-2}{2} + 1\right) \approx \sqrt{2\pi} \left(\frac{n-2}{2}\right)^{\frac{n-1}{2}} e^{-\frac{n-2}{2}} \quad (17)$$

を使うと, 式 (11) は

$$\begin{aligned} g(t) &= \frac{1}{2^{n-1}\sqrt{2\pi} \left(\frac{n-2}{2}\right)^{\frac{n-1}{2}} e^{-\frac{n-2}{2}}} (2n)^{\frac{n-1}{2}} e^{-\frac{1}{4}} e^{\left(-\frac{1}{4}t^2 + \frac{\sqrt{2n-1}}{2}t\right)} e^{\left(-\frac{1}{4}t^2 - \frac{\sqrt{2n-1}}{2}t - \frac{1}{4}(2n-1)\right)} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} = N(0, 1^2) \end{aligned} \quad (18)$$

と成り, $g(t)$ は基準正規分布に収斂することが分かる.

2) . $(\chi^2 - n)/\sqrt{2n}$ の場合

$(\chi^2 - n)/\sqrt{2n}$ が従う確率密度関数 $g(t)$ は,

$$g(t) = \int_0^\infty \delta\left(t - \frac{\chi^2 - n}{\sqrt{2n}}\right) \frac{1}{2^{\frac{n}{2}}\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} (\chi^2)^{\frac{n-2}{2}} e^{-\frac{\chi^2}{2}} d(\chi^2). \quad (19)$$

先ず, $\chi^2 = X$ と書き換えると

$$g(t) = \int_0^\infty \delta\left(t + \sqrt{\frac{n}{2}} - \frac{X}{\sqrt{2n}}\right) \frac{1}{2^{\frac{n}{2}}\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} X^{\frac{n-2}{2}} e^{-\frac{X}{2}} dX. \quad (20)$$

ここで, $u = X/\sqrt{2n}$ と置くと $du\sqrt{2n} = dX$. したがって,

$$\begin{aligned} g(t) &= \int_0^\infty \delta\left(t + \sqrt{\frac{n}{2}} - u\right) \frac{1}{2^{\frac{n}{2}}\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} (\sqrt{2n}u)^{\frac{n-2}{2}} e^{-\frac{1}{2}\sqrt{2n}u} \sqrt{2n} du \\ &= \frac{1}{2^{\frac{n}{2}}\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \left(\sqrt{2n}\left(t + \sqrt{\frac{n}{2}}\right)\right)^{\frac{n-2}{2}} e^{-\frac{1}{2}\sqrt{2n}\left(t + \sqrt{\frac{n}{2}}\right)} \sqrt{2n}. \end{aligned} \quad (21)$$

十分に大きな n に対して式 (15) の因子, 右辺の因子, $\left(\sqrt{2n}\left(t + \sqrt{\frac{n}{2}}\right)\right)^{\frac{n-2}{2}}$ の式変形を求める.

$$\left(\sqrt{2n}\left(t + \sqrt{\frac{n}{2}}\right)\right)^{\frac{n-2}{2}} = \left(n\left(1 + \frac{t}{\sqrt{\frac{n}{2}}}\right)\right)^{\frac{n-2}{2}} = n^{\frac{n-2}{2}}\left(1 + \frac{t}{\sqrt{\frac{n}{2}}}\right)^{\frac{n-2}{2}}. \quad (22)$$

式 (22) の右辺第 2 因子は、式 (15) を用いて

$$\left(1 + \frac{t}{\sqrt{\frac{n}{2}}}\right)^{\frac{n-2}{2}} \approx \left(e^{\left(\frac{t}{\sqrt{\frac{n}{2}}} - \frac{1}{2}\frac{t^2}{\frac{n}{2}}\right)}\right)^{\frac{n-2}{2}} \approx e^{\left(-\frac{1}{2}t^2 + \sqrt{\frac{n}{2}}t\right)}. \quad (23)$$

式 (23) は、また、付録 2 に示した式 (16) の別導出法と同様にしても計算することができる。したがって、式 (21) は、

$$\begin{aligned} g(t) &= \frac{n^{\frac{n-2}{2}}\sqrt{2n}}{2^{\frac{n}{2}}\sqrt{2\pi}\left(\frac{n-2}{2}\right)^{\frac{n-1}{2}}e^{-\frac{n-2}{2}}} e^{\left(-\frac{1}{2}t^2 + \sqrt{\frac{n}{2}}t\right)} e^{\left(-\sqrt{\frac{n}{2}}t - \frac{1}{2}n\right)} \\ &= \frac{n^{\frac{n-1}{2}}\sqrt{2}}{2^{\frac{n}{2}}\sqrt{2\pi}\left(\frac{n-2}{2}\right)^{\frac{n-1}{2}}e^{-\frac{n-2}{2}}} e^{\left(-\frac{1}{2}t^2 + \sqrt{\frac{n}{2}}t\right)} e^{\left(-\sqrt{\frac{n}{2}}t - \frac{1}{2}n\right)} \\ &= \frac{n^{\frac{n-1}{2}}\sqrt{2}}{\sqrt{2\pi}2^{\frac{n}{2}}\left(\frac{n-2}{2}\right)^{\frac{n-1}{2}}e^{-\frac{n-2}{2}}} e^{-\frac{1}{2}t^2} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\left(\frac{n}{n-2}\right)^{\frac{n-1}{2}}\frac{1}{e^{-\frac{1}{2}t^2}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{t^2}{2}} \\ &= N(0, 1^2). \end{aligned} \quad (24)$$

ここで、式 (6) を用いて

$$\left(\frac{n}{n-2}\right)^{\frac{n-1}{2}} = \left(\frac{1}{1 - \frac{2}{n}}\right)^{\frac{n-1}{2}} \approx \frac{1}{e^{-1}}, \quad (25)$$

の関係を導いた。

(2). t -分布：母分散未知の場合の母平均の検定と推定に適用

標本数 n が十分に大きい場合の t -分布の形を求める。確率変数 u および X が互いに独立で、

それぞれ $N(0, 1^2)$ および自由度 n の χ^2 -分布に従うとき, $\frac{u}{\sqrt{X/n}}$ が従う確率密度関数 $g(t)$ は

$$g(t) = \int_0^\infty dX \int_{-\infty}^\infty du \delta\left(t - \frac{u}{\sqrt{X/n}}\right) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}} \frac{1}{2^{\frac{n}{2}} \Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} X^{\frac{n}{2}-1} e^{-\frac{X}{2}}. \quad (26)$$

式 (26) で $v = \frac{u}{\sqrt{X/n}}$ と置けば, $v\sqrt{X/n} = u$, $dv\sqrt{X/n} = du$. したがって,

$$\begin{aligned} g(t) &= \int_0^\infty dX \int_{-\infty}^\infty dv \sqrt{X/n} \delta(t - v) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{v^2 X}{2n}} \frac{1}{2^{\frac{n}{2}} \Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} X^{\frac{n}{2}-1} e^{-\frac{X}{2}} \\ &= \int_0^\infty dX \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{X/n} e^{-\frac{t^2 X}{2n}} \frac{1}{2^{\frac{n}{2}} \Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} X^{\frac{n}{2}-1} e^{-\frac{X}{2}} \\ &= \int_0^\infty dX \frac{1}{\sqrt{2\pi n}} \frac{1}{2^{\frac{n}{2}} \Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} X^{\frac{n-1}{2}} e^{-\left(\frac{t^2}{n} + 1\right)\frac{X}{2}}. \end{aligned} \quad (27)$$

変数変換 $\xi = \frac{1}{2}\left(\frac{t^2}{n} + 1\right)X$ によって X の積分が実行できて

$$g(t) = \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\sqrt{\pi n} \Gamma\left(\frac{n}{2}\right) \left(1 + \frac{t^2}{n}\right)^{\frac{n+1}{2}}}. \quad -\infty < t < \infty \quad (28)$$

これを自由度 n の t -分布という. t -分布は母分散未知の場合の母平均の検定と推定についての考察に重要である. 自由度 n の t -分布は, 式 (28) で式 (6) とガンマ関数にスターリングの漸近公式⁶⁾ を用いれば, 十分に大きな n に対して,

$$g(t) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} = N(0, 1^2) \quad (29)$$

となり. 基準正規分布であることが分かる.

(3). F -分布: 2組の標本分散の比の分布

確率変数 X, Y が独立で, それぞれ, 自由度 m, n の χ^2 -分布に従うとき, $\frac{X/m}{Y/n}$ が従う確率密度関数 $g(t)$ は, 論文 I に

$$\begin{aligned}
g(t) &= \int_0^\infty dY \int_0^\infty dX \delta\left(t - \frac{X/m}{Y/n}\right) \frac{1}{2^{m/2} \Gamma\left(\frac{m}{2}\right)} X^{m/2-1} e^{-X/2} \frac{1}{2^{n/2} \Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} Y^{n/2-1} e^{-Y/2} \\
&= \frac{\Gamma\left(\frac{m+n}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{m}{2}\right) \Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \left(\frac{m}{n}\right)^{\frac{m}{2}} t^{\frac{m}{2}-1} \frac{1}{\left(1 + \frac{m}{n}t\right)^{\frac{m+n}{2}}}, \quad 0 < t < \infty
\end{aligned} \tag{30}$$

の様に計算された。これを自由度 (m, n) の F -分布と言い、分散に関する検定や推定に用いられる。今、 Z が自由度 (m, n) の F -分布に従うとき、 mZ (m :一定, $n \rightarrow \infty$) の確率密度関数 $f(t)$ を求める、十分に大きな n に対して

$$\begin{aligned}
f(t) &= \int_0^\infty dZ \delta(t - mZ) \frac{\Gamma\left(\frac{m+n}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{m}{2}\right) \Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \left(\frac{m}{n}\right)^{\frac{m}{2}} Z^{\frac{m}{2}-1} \frac{1}{\left(1 + \frac{m}{n}Z\right)^{\frac{m+n}{2}}} \\
&= \frac{\Gamma\left(\frac{m+n}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{m}{2}\right) \Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \left(\frac{m}{n}\right)^{\frac{m}{2}} \left(\frac{t}{m}\right)^{\frac{m}{2}-1} \frac{1}{\left(1 + \frac{t}{n}\right)^{\frac{m+n}{2}}} \\
&\approx \frac{1}{2^{m/2} \Gamma\left(\frac{m}{2}\right)} t^{\frac{m}{2}-1} e^{-t/2}. \quad 0 < t < \infty
\end{aligned} \tag{31}$$

と成り、自由度 m の χ^2 -分布に収斂することが分かった。ここで、式 (6) とガンマ関数にスターリングの漸近公式⁶⁾を用いた。

(4). 中心極限定理

確率変数 X_1, X_2, \dots, X_n が独立で同一の分布を持つものとする。この分布は必ずしも正規分布である必要はなく、この分布に対して、平均値 $E(X_i) = \mu$ と分散 $V(X_i) = \sigma^2$ とが存在するものとする。このとき、十分に大きな n に対して、確率変数 $(\bar{X} - \mu)/\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ の確率密度関数を求める。こ

こで、 $\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i/n$ は標本平均である。

先ず、確率変数 X に対してその分布の特性関数を

$$\varphi(X; t) = \int e^{ixt} f(x) dx \tag{32}$$

によって定義する。ここで、 $f(x)$ は、確率変数 X の確率密度関数である。

確率変数 $(\bar{X} - \mu)/\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ の確率密度関数は

$$\begin{aligned}
g(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \cdots \int_{-\infty}^{\infty} \delta\left(t - \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}\right) \prod_{i=1}^n D(X_i) dX_i \\
&= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \cdots \int_{-\infty}^{\infty} \delta\left(t - \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)}{\sqrt{n}\sigma}\right) \prod_{i=1}^n D(X_i) dX_i \\
&= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} dk e^{ikt} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \cdots \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ik \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)}{\sqrt{n}\sigma}} \prod_{i=1}^n D(X_i) dX_i \\
&= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} dk e^{ikt} \prod_{i=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ik \frac{(X_i - \mu)}{\sqrt{n}\sigma}} D(X_i) dX_i \\
&= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} dk e^{ikt} \prod_{i=1}^n \varphi\left(X_i - \mu; -\frac{k}{\sqrt{n}\sigma}\right)
\end{aligned} \tag{33}$$

ここで、 $D(X_i)$ は 確率変数 X_i の平均と分散を持つ任意の確率密度関数である。特性関数 $\varphi\left(X_i - \mu; -\frac{k}{\sqrt{n}\sigma}\right)$ は k のべき展開によって

$$\varphi\left(X_i - \mu; -\frac{k}{\sqrt{n}\sigma}\right) \approx 1 - \frac{\sigma^2}{2} \left(-\frac{k}{\sqrt{n}\sigma}\right)^2 = 1 - \frac{k^2}{2n}. \tag{34}$$

したがって、十分に大きな n に対して

$$\prod_{i=1}^n \varphi\left(X_i - \mu; -\frac{k}{\sqrt{n}\sigma}\right) \approx \left(1 - \frac{k^2}{2n}\right)^n \approx e^{-\frac{k^2}{2}} \tag{35}$$

と成り、

$$g(t) \approx \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} dk e^{ikt} e^{-\frac{k^2}{2}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} \tag{36}$$

を得る。即ち、 $(\bar{X} - \mu)/\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ の確率密度関数は十分に大きな n に対して、基準正規分布に成る。

ここで、式 (33) の右辺第 1 式で $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}t + \mu = \tau$ 即ち、 $t = \frac{\tau - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$ と置くと

$$\int \int \cdots \int \delta\left(\tau - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i\right) \prod_{i=1}^n D(X_i) dX_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(\tau - \mu)^2}{\frac{\sigma^2}{n}}\right) = N\left(\mu, \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)^2\right) \tag{37}$$

したがって、標本平均の確率密度関数は十分に大きな n に対して、正規分布 $N\left(\mu, \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)^2\right)$ と成

ることが分かった。

(5). 標本相関係数の分布

2変数 X_i, Y_i ($i = 1, 2, \dots, n$) があって、一対の数 $(X_1, Y_1), \dots, (X_n, Y_n)$ は互いに独立で、各対 (X_i, Y_i) が二変数正規分布に従うとする。二変数正規分布は、その確率密度関数が

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left(-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left(\frac{(x-\mu_x)^2}{\sigma_x^2} - 2\rho\frac{x-\mu_x}{\sigma_x}\frac{y-\mu_y}{\sigma_y} + \frac{(y-\mu_y)^2}{\sigma_y^2}\right)\right) \quad (38)$$

$$-1 < \rho < 1, \quad \sigma_x > 0, \quad \sigma_y > 0,$$

によって与えられる、ここで、 $\mu_x, \mu_y; \sigma_x^2, \sigma_y^2; \rho$ は、それぞれ、確率変数 X, Y の母平均と母分散、および、母相関係数を表す。二変数 X_i, Y_i のそれぞれの標本平均 \bar{X}, \bar{Y} は

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad (39)$$

で与えられ、標本分散 S_x^2, S_y^2 と標本共分散 S_{xy} は

$$S_x^2 = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2, \quad S_y^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2, \quad S_{xy} = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}), \quad (40)$$

で与えられる。このとき、標本相関係数の統計量は

$$R = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_x^2} \sqrt{S_y^2}}, \quad (41)$$

である。 S_x^2, S_y^2, S_{xy} の同時分布の密度関数 $F(S_x^2, S_y^2, S_{xy})$ は、ウイシャート (J. Wishart) ⁷⁾ の分布の一般式から求めることができ、

$$F(S_x^2, S_y^2, S_{xy}) = \frac{1}{2^{n-1}\sqrt{\pi}} \frac{(S_x^2 S_y^2 - S_{xy}^2)^{\frac{n-4}{2}} \exp\left(-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left(\frac{S_x^2}{\sigma_x^2} - 2\rho\frac{S_{xy}}{\sigma_x\sigma_y} + \frac{S_y^2}{\sigma_y^2}\right)\right)}{(\sigma_x^2\sigma_y^2(1-\rho^2))^{\frac{n-1}{2}} \Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right) \Gamma\left(\frac{n-2}{2}\right)}. \quad (42)$$

したがって、標本相関係数の確率密度関数 $g(r)$ は

$$g(r) = \int_0^{\infty} d(S_x^2) \int_0^{\infty} d(S_y^2) \int_{-\infty}^{\infty} d(S_{xy}) \delta \left(r - \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_x^2} \sqrt{S_y^2}} \right) F(S_x^2, S_y^2, S_{xy}). \quad (43)$$

式 (43) の意味を説明する. 先ず, 一対の数 $(X_1, Y_1), \dots, (X_n, Y_n)$ があって, それらは互いに独立で, 各対 (X_i, Y_i) が式 (38) の 2 変数正規分布に従っているとしたとき, 確率変数としての統計量 $S_{xy}/(\sqrt{S_x^2} \sqrt{S_y^2})$ の実現値が丁度 r に成るような確率を求める計算式である. δ 関数を用いることによって, そのような複雑な束縛条件を簡単に課すことができる. この場合, S_x^2, S_y^2, S_{xy} は, 二変数 X_i, Y_i ($i = 1, 2, \dots, n$) によって式 (39) と式 (40) によって定義される統計量であって, それらの同時分布の確率密度が式 (42) で与えられているということである. 論文 I で式 (43) の詳細な計算法と結果, および, 別表現の式が与えられているのでここでは結果を示す.

$|r| > 1$ のとき, $g(r) = 0$.

$|r| \leq 1$ のとき,

$$g(r) = \frac{(1 - \rho^2)^{\frac{n-1}{2}} (1 - r^2)^{\frac{n-4}{2}}}{\sqrt{\pi} \Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right) \Gamma\left(\frac{n-2}{2}\right)} \sum_{v=0}^{\infty} \frac{(2\rho r)^v}{v!} \Gamma\left(\frac{n-1+v}{2}\right)^2. \quad (44)$$

式 (44) は, ウィルクス (S.S.Wilks) ⁷⁾ の計算結果と一致するが, 無限級数で表される極めて複雑な式である. 一方, フィッシャー (R.A.Fisher) ⁷⁾ は別解法で

$$g(r) = \frac{n-2}{\pi} (1 - \rho^2)^{\frac{n-1}{2}} (1 - r^2)^{\frac{n-4}{2}} \int_0^1 \frac{x^{n-2}}{(1 - \rho r x)^{n-1} \sqrt{1-x^2}} dx \quad (45)$$

$$= \frac{n-2}{\pi} (1 - \rho^2)^{\frac{n-1}{2}} (1 - r^2)^{\frac{n-4}{2}} \int_0^{\infty} \frac{dz}{(\cosh z - \rho r)^{n-1}} \quad (46)$$

$$= \frac{1}{\pi(n-3)!} (1 - \rho^2)^{\frac{n-1}{2}} (1 - r^2)^{\frac{n-4}{2}} \frac{d^{n-2}}{d(\rho r)^{n-2}} \left(\frac{\cos^{-1}(-\rho r)}{\sqrt{1-(\rho r)^2}} \right) \quad (47)$$

を計算した. ここで, 式 (45) において変数変換 $x = 1/\cosh z$ を行うことによって容易に式 (46) を導出することができる. 式 (47) は式 (46) の積分を実行した結果であり, 計算法を付録 3 に

示しておく。ウィルクスの式 (44) とフィッシャーの式 (45) との同等性の証明は論文 I に示されている。

母相関係数 $\rho = 0$ という帰無仮説の検定方法を説明する。 $\rho = 0$ のとき、式 (44) の級数は $v = 0$ のみを考慮すればよいので、

$$g(r) = \frac{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)(1-r^2)^{\frac{n-4}{2}}}{\sqrt{\pi}\Gamma\left(\frac{n-2}{2}\right)}. \quad (48)$$

この場合、式 (41) で定義される R を用いて、統計量

$$\frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} \quad (49)$$

の確率密度関数 $f(t)$ を求めると、論文 I に示されているように

$$\begin{aligned} f(t) &= \int_{-1}^1 \delta\left(t - \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}\right) g(r) dr = \int_{-1}^1 \delta\left(t - \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}\right) \frac{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)(1-r^2)^{\frac{n-4}{2}}}{\sqrt{\pi}\Gamma\left(\frac{n-2}{2}\right)} \\ &= \frac{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)}{\sqrt{\pi(n-2)}\Gamma\left(\frac{n-2}{2}\right)\left(1 + \frac{t^2}{n-2}\right)^{\frac{n-1}{2}}} \end{aligned} \quad (50)$$

である。これは、式 (28) から分かるように自由度 $n-2$ の t -分布であり、この事実によって、母相関係数 $\rho = 0$ という帰無仮説は、自由度 $n-2$ の t -分布によって検定を行うことができる。さらに、 t -分布で説明した様に、式 (50) の統計量は十分に大きな n に対して、基準正規分布に従うことが分かる。

次に、帰無仮説が棄却された場合、 ρ の区間推定が必要となるのでその方法について説明する。 $\rho \neq 0$ の場合、標本相関係数の厳密な確率密度関数は、式 (44) — (47) によって示されるように幾つかの表式が示され、何れも複雑で数値計算による必要があり、そのまま適用するには不向きである。しかし、十分に大きな n に対して、標本相関係数の精度の高い近似式が提示されており、さらに、フィッシャーの z 変換

$$z = \tanh^{-1}r = \frac{1}{2} \log \frac{1+r}{1-r} \quad (51)$$

を利用して変数変換された z の確率密度関数は、正規分布 $N\left(\zeta, \left(\sqrt{1/(n-3)}\right)^2\right)$ によって良く近似されることが分かっている。ここで、 ζ は

$$\zeta = \tanh^{-1}\rho = \frac{1}{2} \log \frac{1+\rho}{1-\rho} \quad (52)$$

で表され、 ρ は母相関係数である。正規分布 $N\left(\zeta, \left(\sqrt{1/(n-3)}\right)^2\right)$ は、標本数 n が十分に大きい場合の良い近似式であって収斂形ではないことを注意しておく。このとき、統計量

$$\frac{z - \zeta}{1/\sqrt{n-3}} \quad (53)$$

の確率密度関数は基準正規分布 $N(0, 1^2)$ に従うことになり、この事実によって、 ρ の区間推定を容易に行うことができる。

3. 結論と議論

数理統計は、母集団とその部分空間である標本という考えに立って、標本から得たデータを使って、その背後にある母集団を特徴づける母数を統計的に検定 (test) したり、推定 (estimate) したりするものである。確率変数としての各種統計量は多様であって、それらにたいする確率密度関数は、一般には複雑な関数形を持つ場合が多く、検定や推定に利用するとき煩雑になることがある。その様な場合に対処するため、標本数 n が十分に大きいとき、統計量の確率変数を適当に変換することによってその確率密度関数が正規分布に収斂することを示した。確率変数を適当に変換し、その確率密度関数を求める計算においては、量子力学で多用されるディラックの δ 関数の基本的性質や、あるいはその積分表示が有力な手段となる。また、その収斂を示すためにネイピアの数 ($e=2.71828\dots$) の定義を与える基本的な関係式をしばしば用いた。

標本数 n が十分に大きい場合の χ^2 -分布では、確率変数の変換として、 $\sqrt{2\chi^2 - \sqrt{2n-1}}$ の場合と、 $(\chi^2 - n)/\sqrt{2n}$ の場合について考察を行い、何れの場合も基準正規分布に収斂することを示した。t-分布においても基準正規分布に収斂することを示した。Zが自由度 (m, n) のF-分布に従うとき、 mZ (m :一定, $n \rightarrow \infty$) の確率密度関数が、自由度 m の χ^2 -分布に収斂することが分かった、十分に大きな n に対して δ 関数の積分表示を利用することにより、標本平均が正規分布に従うと言う中心極限定理を容易に示すことができた。標本相関係数の厳密な確率密度関数は δ 関数を用いて導出できるが、幾つかの表式が派生して有り、それらの同等性について考察した。何れも複雑でそのまま検定や推定に適用するには不向きである。しかし、十分に大きな n に対して、標本相関係数の精度の高い近似式が提示されており、フィッシャーの z 変換によって正規分布に従うこと、さらなる変数変換によって基準正規分布に従うことを説明した。

今後、実際に標本データを用いて種々な検定と推定を行い、厳密な式による数値と収斂した式による数値の比較を行うことになる。

付録1

δ関数の積分表示を利用した自由度 n の χ^2 -分布の導出法

X_i ($i = 1, 2, \dots, n$) が正規分布 $N(\mu_i, \sigma_i^2)$ に従うとき, $\sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \mu_i}{\sigma_i}\right)^2$ が従う確率密度関数 $g(t)$ は

$$g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} \delta\left(t - \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \mu_i}{\sigma_i}\right)^2\right) \prod_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{X_i - \mu_i}{\sigma_i}\right)^2} dX_i,$$

である. δ関数の積分表示 式(5) を利用すると

$$\begin{aligned} g(t) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} dk e^{ikt} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ik \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \mu_i}{\sigma_i}\right)^2} \prod_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{X_i - \mu_i}{\sigma_i}\right)^2} dX_i \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} dk e^{ikt} \prod_{i=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} e^{-ik\left(\frac{X_i - \mu_i}{\sigma_i}\right)^2} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{X_i - \mu_i}{\sigma_i}\right)^2} dX_i. \end{aligned}$$

ここで, $u_i = \frac{X_i - \mu_i}{\sigma_i}$ と置くと, $\sigma_i du_i = dX_i$. したがって,

$$g(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} dk e^{ikt} \prod_{i=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-(ik + \frac{1}{2})u_i^2} du_i.$$

一方, 積分公式⁸⁾ と解析接続により,

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-(ik + \frac{1}{2})u_i^2} du_i = 2 \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{1}{\left(ik + \frac{1}{2}\right)^{1/2}},$$

と求められるので

$$g(t) = \frac{1}{2^{\frac{n}{2}}} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} dk e^{ikt} \frac{1}{\left(ik + \frac{1}{2}\right)^{n/2}}.$$

ここで, $z = ik$ と置くと,

$$g(t) = \frac{1}{2^{\frac{n}{2}}} \frac{1}{2\pi i} \int_C dz e^{zt} \frac{1}{\left(z + \frac{1}{2}\right)^{n/2}}$$

上式は, z の積分路 C が虚数軸 ($-\infty \rightarrow i\infty$) であり, $1/(z+a)^{\nu}$ (解析接続により $R(\nu) > 0$) のラプラス逆変換そのものである⁹⁾. したがって, 複素積分によって

$$g(t) = \frac{1}{2^{\frac{n}{2}}} \frac{1}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} t^{\frac{n}{2}-1} e^{-\frac{t}{2}}, \quad 0 < t < \infty$$

と計算でき, 本文の式(7) に与える自由度 n の χ^2 -分布を得る.

付録2

式 (16) の別導出法.

以下の因数分解を利用する.

$$\left(1 - \frac{t^2}{2n-1}\right)^{n-1} = \left(1 + \frac{t}{\sqrt{2n-1}}\right)^{n-1} \left(1 - \frac{t}{\sqrt{2n-1}}\right)^{n-1}. \quad (2-1)$$

ここで,

$$f(t) = \left(1 + \frac{t}{\sqrt{2n-1}}\right)^{n-1} \quad (2-2)$$

と置くと, n が十分に大きいとき, 式 (2-1) の左辺は, $e^{-t^2/2}$ となるので,

$$e^{-\frac{t^2}{2}} = f(t)f(-t).$$

したがって, $f(t)$ の式の形は,

$$f(t) = e^{-\frac{1}{4}t^2 + at} \quad (2-3)$$

であることが解る. 式 (2-2) と式 (2-3) を t に関して微分すると

$$f'(t) = (n-1) \left(1 + \frac{t}{\sqrt{2n-1}}\right)^{n-2} \frac{1}{\sqrt{2n-1}} = \left(-\frac{t}{2} + a\right) e^{-\frac{1}{4}t^2 + at}.$$

さらに, $t=0$ と置くと

$$f'(0) = \frac{n-1}{\sqrt{2n-1}} = a.$$

したがって, n が十分に大きいとき,

$$a \approx \frac{\sqrt{2n-1}}{2}$$

となり, 式 (16) を得る.

付録3

式 (47) の導出

まず,

$$\int_0^\infty \frac{dz}{(\cosh z - \rho r)^{n-1}} = \frac{1}{(n-2)!} \frac{d^{n-2}}{d(\rho r)^{n-2}} \int_0^\infty \frac{dz}{\cosh z - \rho r}.$$

右辺の積分は, 積分公式¹⁰⁾ によって

$$\int_0^\infty \frac{dz}{\cosh z - \rho r} = \int_0^\infty \frac{dz}{\cosh z - 1 + 1 - \rho r} = \int_0^\infty \frac{d\left(\frac{z}{2}\right)}{\sinh^2 \frac{z}{2} + \frac{1 - \rho r}{2}}$$

$$= \frac{\cos^{-1} \sqrt{\frac{1 - \rho r}{2}}}{\frac{1}{2} \sqrt{1 - (\rho r)^2}}$$

と成る. ここで, $X = \cos^{-1} \sqrt{\frac{1 - \rho r}{2}}$ と置くと $\sqrt{\frac{1 - \rho r}{2}} = \cos X$. したがって,

$$\frac{1 - \rho r}{2} = \cos^2 X = \frac{1 + \cos 2X}{2}$$

である. X を解いて,

$$X = \frac{1}{2} \cos^{-1}(-\rho r)$$

を得る. 即ち,

$$\int_0^\infty \frac{dz}{\cosh z - \rho r} = \frac{\frac{1}{2} \cos^{-1}(-\rho r)}{\frac{1}{2} \sqrt{1 - (\rho r)^2}} = \frac{\cos^{-1}(-\rho r)}{\sqrt{1 - (\rho r)^2}}.$$

よって,

$$g(r) = \frac{n-2}{\pi} (1 - \rho^2)^{\frac{n-1}{2}} (1 - r^2)^{\frac{n-4}{2}} \frac{1}{(n-2)!} \frac{d^{n-2}}{d(\rho r)^{n-2}} \frac{\cos^{-1}(-\rho r)}{\sqrt{1 - (\rho r)^2}}$$

と成り, 式 (47) を得る.

参考文献

- 1) 高橋義則, 愛知工科大学紀要, 2019, 第 16 卷, 59—73.
- 2) 荒川俊也, 愛知工科大学紀要, 2019, 第 16 卷, 75—82.
- 3) 後藤憲一, 山本邦夫, 神吉 健, 西山敏之, 望月和子, 興地斐男, 量子力学演習, 1996, 共立出版, 80.
- 4) 森口繁一, 宇田川銈久, 一松 信, 数学公式 II, 1995, 岩波書店, 95.
- 5) 同上, 143.
- 6) 同上, 100.
- 7) ウィルクス (訳), 数理統計学, 1952, 春日出版社, 147, 179—180.
- 8) 森口繁一, 宇田川銈久, 一松 信, 数学公式 I, 1995, 岩波書店, 232.
- 9) 成田誠之助, 小林侖史, 電気回路理論, 1998, 昭晃堂, 265.
- 10) 森口繁一, 宇田川銈久, 一松 信, 数学公式 I, 1995, 岩波書店, 235.

機械学習入門としての最適化問題

荒川俊也*

(2019年9月30日受理)

Optimization Problem for Introduction of Machine Learning

Toshiya Arakawa*

(Received September 30, 2019)

Abstract

In this manuscript, we show the basic of optimization problem for machine learning. "Learning" in machine learning is only optimizing parameters. However, if we learn optimization problem, the area we should learn is too wide to learn easily. Thus, this manuscript explains basic of the optimization problem which needs to learn machine learning. This manuscript may help readers learn basic of machine learning and use algorithm of machine learning not as a black box.

1. はじめに

機械学習における学習というものは、パラメタを最適化することに他ならない。最適化問題をまともに学ぼうとすると、その範囲は尋常でない。そのため、ここでは、機械学習を学ぶために最低限必要な最適化問題に特化して説明する。ただし、ここで述べる、「最低限必要な最適化問題」を学んでおけば、今後別の最適化手法が必要になってくる場合、ある程度基礎として身に付いていることもあるので、学習が楽になると思われる。

本論では、機械学習における「最低限必要な最適化問題」に特化して、参考文献¹⁾をベースにした上で、適宜説明を加え、簡単に説明する。

2. 最適化問題とは？

最適化数学とは、目的関数（これは問題により異なる）を最大化したり最小化したりする手法を扱う分野である。そして、最適化問題とは、あるパラメタ制約のもとで、関数の最大値や最小値、そしてそのパラメタを求め

る問題である。

例えば次のような問題を考える。

$x_1 - x_2 - 2 = 0$ を満たす x_1, x_2 に対して、 $-x_1x_2$ の最大値を求めよ。

この問題において、「 $x_1 - x_2 - 2 = 0$ を満たす x_1, x_2 」が、「あるパラメタ制約」であり、そして、「 $-x_1x_2$ 」が、目的関数である。この問題では、あるパラメタ制約の下で、目的関数を最大化する問題であると言える。

この言は、次のようにも書くことができる。

$$\max -x_1x_2 \quad s.t. \quad x_1 - x_2 - 2 = 0$$

\max は「最大」の意味であり、 $s.t.$ は such that の略で「～のような」の意味である。最適化数学ではこのような書き方をするのが一般的である。結局、先の問題は、ここで書いた問題に置き換えることができる。

さて、「 $-x_1x_2$ を最大化する」ことについて考えると、 x_1 が x_2 のどちらかが正で、どちらかが負であれば良さそうだが、ということがわかるであろう。何故かと言え

* 愛知工科大学工学部 〒443-0047 愛知県蒲郡市西迫町馬乗 50-2
Faculty of Engineering, Aichi University of Technology, 50-2, Manori, Nishihasama-Cho, Gamagori, Aichi 443-0047 Japan

ば、目的関数は $-x_1x_2$ であり、 x_1 と x_2 の両方が正、もしくは負であれば、結果的に $-x_1x_2$ の値は負になってしまう。一方で、 x_1 か x_2 のどちらかが正で、どちらかが負であれば、結果的に $-x_1x_2$ の値は正になるため、目的関数を「最大化」という観点では合理的であろう。また、当然ではあるが、 x_1 と x_2 の積の絶対値が大きいくほど、目的関数を「最大化」できると考えられるであろう。しかし、これらの条件を満たすような x_1 と x_2 を自由に選ぶことはできない。なぜなら、制約条件 $x_1-x_2-2=0$ があるためである。

では、次のように考えてみよう。

まず、制約条件を次のように変形する。

$$x_2 = x_1 - 2 \quad \dots(1)$$

これを、目的関数の式に代入する。なお、これ以降、目的関数の式を、 $f(x_1, x_2)$ と記載する。

$$f(x_1, x_2) = -x_1(x_1 - 2) \quad \dots(2)$$

先までの問題は、 x_1 と x_2 の2変数を考えなければならなかったが、このようにすれば、 x_1 だけを考えれば良いことになり、扱いやすくなる。さて、この後は、 $f(x_1, x_2)$ が最大になるような x_1 を求めることになるのだが、そのためのアプローチは、中学数学や高校数学の範疇で考えると、次の2通りとなる。

平方完成（中学数学的アプローチ）

式(2)を、次のように変形する。

$$f(x_1, x_2) = -x_1(x_1 - 2) = -x_1^2 + 2x_1 = -(x_1 - 1)^2 + 1 \quad \dots(3)$$

この関数は、上に凸の二次関数である。このグラフを描くと、次のFig.1のようになり、 $x_1 = 1$ のとき最大値1を取ることがわかる。

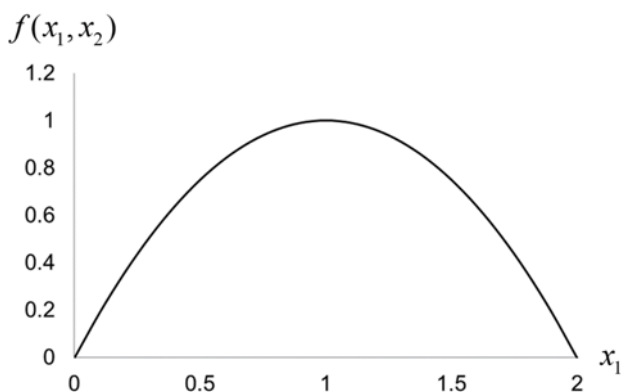


Fig.1 Graph of $f(x_1, x_2) = -x_1(x_1 - 2)$

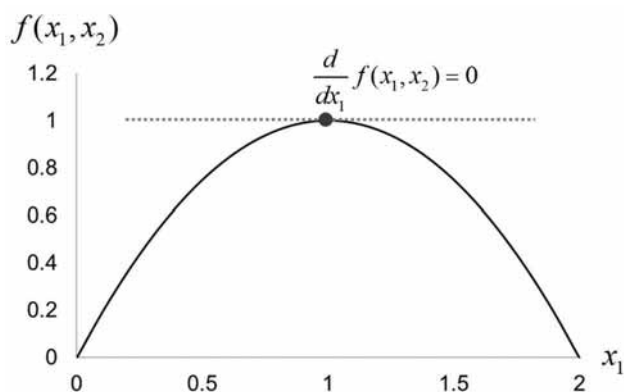


Fig.2 Relation the graph of $f(x_1, x_2) = -x_1(x_1 - 2)$ and

$$\frac{\partial}{\partial x_1} f(x_1, x_2) = -2x_1 + 2 = 0$$

この方法は、中学で習得済みかと思われるが、いわゆる二次関数の最大・最小の問題である。

微分による極値計算（高校数学的アプローチ）

高校数学のやり方であるが、極値を取る点では微分係数=0となることを用いる。いま、式(3)を x_1 で微分する。

$$\frac{\partial}{\partial x_1} f(x_1, x_2) = \frac{\partial}{\partial x_1} (-x_1^2 + 2x_1) = -2x_1 + 2 \quad \dots(4)$$

この式が0になるときの x_1 が極値となるときの x_1 の値であるから、

$$\frac{\partial}{\partial x_1} f(x_1, x_2) = -2x_1 + 2 = 0 \quad \dots(5)$$

従って、 $x_1 = 1$ が得られる。このときの様子をFig.2に表す。

上に凸の二次関数においては、極値を取るときのx座標においては、極値=極大値となるので、 $x_1 = 1$ を式(3)に代入すると最大値1が得られる。

なお、何れの場合も、制約条件の式に $x_1 = 1$ を代入すれば、 $x_2 = -1$ が得られるので、結局、元々の問題に対する答えは、

$$x_1 = 1, x_2 = -1 \text{ において、最大値 } 1 \text{ をとる}$$

ということになる。

いま、理解しやすさを求めるために、我々が中学および高校の知識を活かして、平方完成および微分を用いて最大値を求めたが、平方完成については、今回の問題が2次関数だったために上手く行ったにすぎず、どのような関数についても平方完成で解が得られるわけではない。

3. 凸最適化問題とは？

それでは、先程の例では、なぜ微分が上手く行き、解を求めることができたのだろうか。それは、先程の問題が「凸最適化問題」と呼ばれるものであったためである。

凸最適化問題とは、目的関数が凸関数であるような問題である。凸関数とは、次のように定義される。

関数 $y = f(x)$ の定義されている区間内で、3点 x_1, x_2, x_3 が $x_1 < x_2 < x_3$ のようにとられているとき、これらの3点に対して、

$$\frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} \leq \frac{f(x_3) - f(x_2)}{x_3 - x_2}$$
 が成り立つとき、 $y = f(x)$ は凸関数と呼ばれる

凸最適化問題では、微分して0になる点は1つしかあらず、そしてこのような点は、最大値・最小値のどちらかであることが保証される。

先程の問題のような関数が凸関数の代表的なものである (Fig.3: Fig.1 の再掲)。

つまり、簡単に言えば、プロットしたときに山が一つ、もしくは谷が一つという形になっている関数をいう。この場合、微分して0になる箇所が一つしかなく、そこが最大値もしくは最小値になっているのもわかるかと思う。

なお、混同するかも知れないが、いわゆる「下に凸」の関数のことを凸関数という。次の Fig.4 のような関数である。

一方で、先の問題のような、「上に凸」の関数の場合は「凹関数」という。

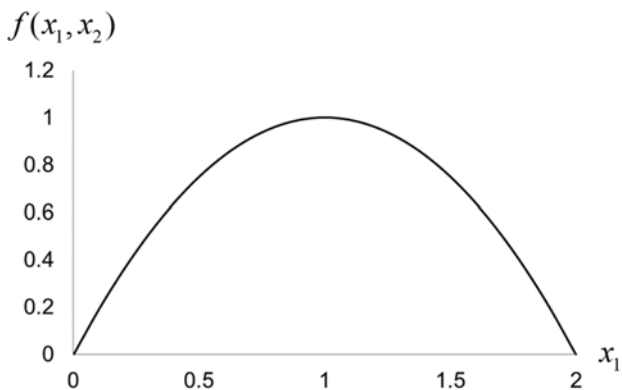


Fig.3 Graph of $f(x_1, x_2) = -x_1(x_1 - 2)$

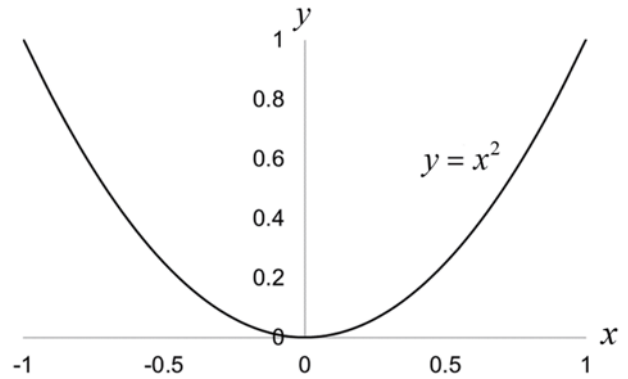


Fig.4 An example of downward convex

4. 凸関数の定義

先程簡単に述べたが、ここで改めて凸関数の定義について触れておく。多変数の関数 $f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ を表したい場合、 $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)^T$ と変数を格納するベクトルを書いておいて、 $f(\mathbf{x})$ と表記する。

さて、関数 $f(\mathbf{x})$ が凸関数であるとき、任意の異なる点 $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2$ と、スカラー値 $0 \leq \alpha \leq 1$ を用いて、以下が成り立つ。

$$f(\alpha \mathbf{x}_1 + (1 - \alpha) \mathbf{x}_2) \leq \alpha f(\mathbf{x}_1) + (1 - \alpha) f(\mathbf{x}_2) \quad \dots(6)$$

この式は、次のように考えればよい。

まず、左辺の $\alpha \mathbf{x}_1 + (1 - \alpha) \mathbf{x}_2$ についてであるが、これは、ベクトル \mathbf{x}_1 と \mathbf{x}_2 を、 $\alpha:1-\alpha$ に内分する点を表している。すると、 $f(\alpha \mathbf{x}_1 + (1 - \alpha) \mathbf{x}_2)$ は、「ベクトル \mathbf{x}_1 と \mathbf{x}_2 を、 $\alpha:1-\alpha$ に内分する点」における関数 $f(x)$ の値である。同様に考えると、右辺の $\alpha f(\mathbf{x}_1) + (1 - \alpha) f(\mathbf{x}_2)$ は、 \mathbf{x}_1 における関数 $f(x)$ の値である $f(\mathbf{x}_1)$ と、 \mathbf{x}_2 における関数 $f(x)$ の値である $f(\mathbf{x}_2)$ を $\alpha:1-\alpha$ に内分する点となる。

$f(\alpha \mathbf{x}_1 + (1 - \alpha) \mathbf{x}_2) \leq \alpha f(\mathbf{x}_1) + (1 - \alpha) f(\mathbf{x}_2)$ を字面通り読み解くとすれば、「 \mathbf{x}_1 における関数 $f(x)$ の値である $f(\mathbf{x}_1)$ と、 \mathbf{x}_2 における関数 $f(x)$ の値である $f(\mathbf{x}_2)$ を $\alpha:1-\alpha$ に内分する点」が、「ベクトル \mathbf{x}_1 と \mathbf{x}_2 を、 $\alpha:1-\alpha$ に内分する点における関数 $f(x)$ の値」以上である、ということを意味している。

これを図示すると次の Fig.5 のような状況である。

この図より、「 \mathbf{x}_1 における関数 $f(x)$ の値である $f(\mathbf{x}_1)$ と、 \mathbf{x}_2 における関数 $f(x)$ の値である $f(\mathbf{x}_2)$ を $\alpha:1-\alpha$ に内分する点」が、「ベクトル \mathbf{x}_1 と \mathbf{x}_2 を、 $\alpha:1-\alpha$ に内分する点における関数 $f(x)$ の値」以上であれば、関数 $f(x)$ は凸

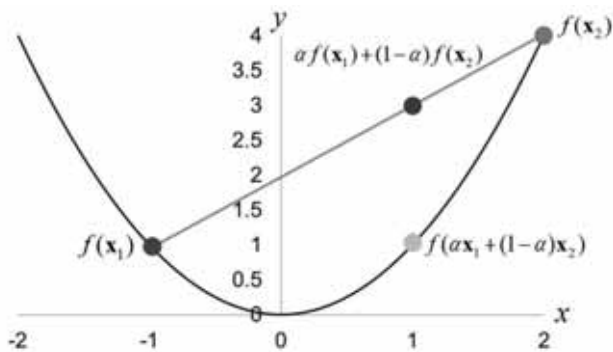


Fig.5 Situation of $f(ax_1 + (1-a)x_2) \leq af(x_1) + (1-a)f(x_2)$

関数である，ということが把握できよう。

通常最適化の理論は，この凸関数に対していかに効率の良い解法を見出そうかと，非凸の関数が目的関数になってしまったときに，それを何とか変形して凸最適化問題に帰着できないか，ということに費やされる。

さて，凸関数の最小値を見つけるという最小化問題を解く場合は，目的関数が凸関数であれば，ある点を出発点にして，少しずつ，現在の値より小さくなる，つまり，関数の値が下がる方向に移動していくという考え方が単純だろう。そして，そのうち，点を動かしても，関数の値が変化しなくなるはずで，その場合，その点が目的の最小解になっていると言えよう (Fig.6)。

この考え方が，機械学習で用いる，勾配降下法や最急降下法といった考えの基礎になっている。

5. 機械学習における目的関数とは？

機械学習ではどのように目的関数を設定するのだろうか？「機械学習で推定された値と，訓練データ (実測値) との差」を目的関数として設定することが多い。そして，

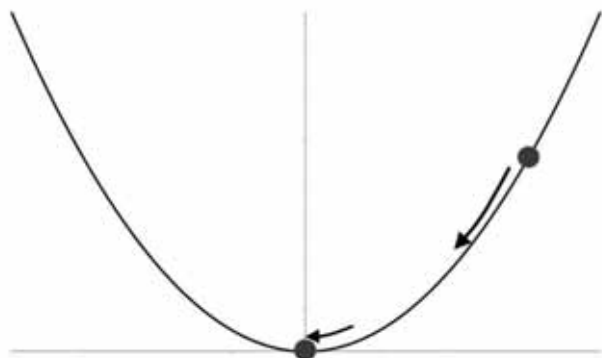


Fig.6 Image of solving optimization problem

精度の高い学習とは，すなわち，「推定された値が，訓練データ (実測値) に近い」すなわち「推定された値と，訓練データ (実測値) の差が，0 に近い」ことを言う。ドンピシャであることが理想であるが，ほぼ不可能である。そのため，限りなく 0 に近いようにできれば良いのである。

機械学習は，基本的に，入力に重み w を掛けて得られた値を，ある関数に基づいて計算した結果を出力としているものと解釈すると，次のような関数で表すことができる。

$$y = f(w, x) \quad \dots(7)$$

上記の内容に基づけば，訓練データ (実測値) の集合を t とすると，

$$(y - t)^2 \quad \dots(8)$$

を極力小さくすることが目標となる。ここで差の二乗を考える理由としては， y と t の大小は関係なく，つまり， y と t のどちらが大きかろうが小さかろうが関係なく，単に「どれだけズレているか」だけが着目すべき点であるためである。従って，この式が，機械学習における目的関数になると言えよう。

ここで，機械学習においては， $y = f(w, x)$ という関数で y を表すことができるので，この目的関数は，

$$(f(w, x) - t)^2 \quad \dots(9)$$

と書き表すことができる。ここでポイントは， x は入力データであり不変， t は訓練データ (実測値) であり不変である。そして，機械学習とは，重みである w を自動的にチューニング (と考えて良い) して，この目的関数を最小化することに他ならない。イメージとしては次の Fig.7 のようになる。

一般的には，機械学習の目的関数は， $l(w)$ と表されるため，次のように書き直すことができる。

$$l(w) = f(w, x) \quad \dots(10)$$

他に，重み w に何らかの制約を設ける必要がある場合も出てくる。これは L2 正則化 や，リッジ正則化 などとされているが，今は覚える必要はない。あくまでも「重みに何らかの制約を設けることもできる」位に捉えておけば良い。

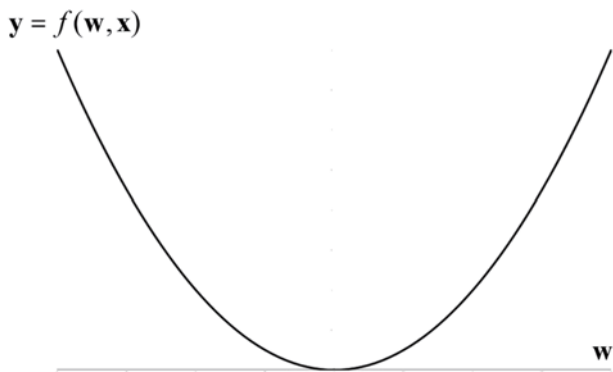


Fig.7 Image of minimizing objective function

6. 勾配降下法

まず、一番簡単な方法で w を決めてみよう。直感的にわかりやすい方法としては、エイヤと適当な w を決めてしまい、目的関数の値を求める。次に別の w を、先程の w より値が小さくなるように適当に決めて、また目的関数の値を求める。これらの目的関数の値を比較して、もし、目的関数の値が減少したら、「 w が小さくなる方に持っていけば、目的関数がどんどん小さくなるのではないだろうか？」と推論し、地道に w を変えていく。そうした中で、「この値が一番小さくなるな」というところで、最適な w としてしまう、というやり方である。ここで説明する勾配降下法はこの考え方に近い。

もう少し丁寧に説明しよう。まず、適当な値、 $w(0)$ における目的関数 $l(w(0))$ を求める。次に、

$$w(1) = w(0) + \varepsilon \quad \dots(11)$$

を計算する。ここで ε は、上で「別の w 」、つまり $w(1)$ を決める際に、「エイヤと適当に決めた w 」、つまり $w(0)$ から変化させた量である。

しかし、この「変化させた量」つまり ε をどのように決めれば良いのだろうか。勾配降下法はここがポイントとなる。

まず、高校数学を思い出すと、「関数の微分は傾きになる」ということを学習した記憶があるかも知れない。これを多次元に拡張すると、

多次元においては関数のベクトルによる微分は
勾配ベクトルとなり、
勾配ベクトルは関数の値を増やす方向を
表している

という事実がある。いま、目的関数が最小になるようにしたいので、ある $w(0)$ が決定されたとして、次に考えるべき $w(1)$ は、勾配ベクトルとは逆向きに進ませたい、ということになる。このことから、 ε を、

$$\varepsilon(t=1,2,\dots,t) \quad \dots(12)$$

と決める。このように ε を決めれば、次に考えるべき $w(1)$ は、 $w(0)$ における勾配ベクトルを、上式に基づいて $-\frac{\partial l(w(0))}{\partial w(0)}$ と決めた上で、

$$w(1) = w(0) - \frac{\partial l(w(0))}{\partial w(0)} \quad \dots(13)$$

なる式に基づいて決めれば良いことになる。次に考えるべきは $w(2)$ であるが、これも同様であり $w(t)$ を起点として考えれば、結局、これまでの式を流用すれば良く、

$$w(2) = w(1) - \frac{\partial l(w(1))}{\partial w(1)} \quad \dots(14)$$

で決定される。結局、これをひたすら繰り返すことになり、更新の回数を $t(t=1,2,\dots,t)$ とすると、一般的には、 t 回目の更新における重み $w(t)$ は

$$w(t) = w(t-1) - \frac{\partial l(w(t-1))}{\partial w(t-1)} \quad \dots(15)$$

で表すことができる。

このように、勾配降下法は、今の場所から勾配を下る方向に進んでいく更新方法である。例えば、山登りをしていて、遭難したとしよう。「おそらく谷の方に下っていけばいつかは麓に着く」と考えれば、斜面が急な方向に進んでいくことだろう。そして（何事もなく、成功すれば）いつかは麓に辿り着くだろう（Fig.8）。勾配降下法はこの考え方と同じである。

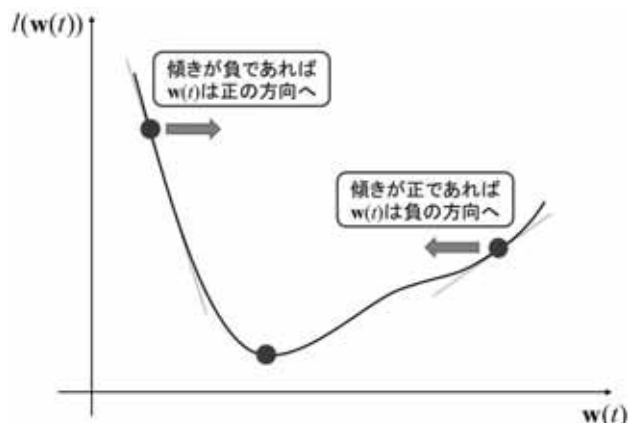


Fig.8 Image of gradient descent

勾配降下法を感覚的に捉えるならば、丘の上からボールを転がす場合をイメージする例も多く用いられている。ボールが完全に転がりきって、それ以上転がらない場合、そこが「最小値」であるということになる。しかし、「その時に坂が下がっているほうに進む」ということを繰り返しているため、進んでいる方向が必ずしも大域的な最小値 (global minimum) であるとは限らない。つまり、局所的な最小値 (local minimum) にたどり着くこともある。このことを忘れてはならない。

一般的には、

$$\mathbf{w}(t) = \mathbf{w}(t-1) - \alpha \frac{\partial l(\mathbf{w})}{\partial \mathbf{w}} \quad \dots(16)$$

と書かれており、ここで、 α は学習率と呼ばれている。 α は勾配ベクトルとは逆方向にどれだけ多く進むかの割合であり、機械学習のアルゴリズムを設計する設計者が決める。但し、大きければ良いというわけではなく、これはシミュレーション結果などを基にしてチューニングして決定することが多い。一般的には、この α は超パラメータ (Hyper-parameter) と呼ばれることもあり、繰り返し計算する際の更新度合いを定義するものである。 α が大きすぎると、更新しすぎて、最小値を行ったり来たりすることがある。先の「丘の上からボールを転がす場合」をイメージするならば、ボールの勢いが付きすぎることと同義と言えよう。一方で、 α が小さすぎると、更新の頻度が少なくなり、最小値に行き着くまでの繰り返しの回数が多くなってしまいうことになる。つまり、ボールがあまり転がらないことと同義と言えよう。

これを解消するために、繰り返し回数を重ねるごとに、 α を少しずつ小さくさせるという工夫を入れることもある。

7. 目的関数は凸関数か？

以上より、ニューラルネットに代表される機械学習による「学習」は簡単なように思える。しかし、これは、目的関数が凸関数であることが前提の議論である。ニューラルネットの目的関数 $l(\mathbf{w})$ は一般的に \mathbf{w} に対して非凸である。これはどういうことかと言うと、勾配をどんどん下っていて微分値が 0 になる点が最小値と考えたいのだが、次の Fig.9 のような場合、微分値が 0 であってもその点が最小値である、とは必ずしも言えないためである。

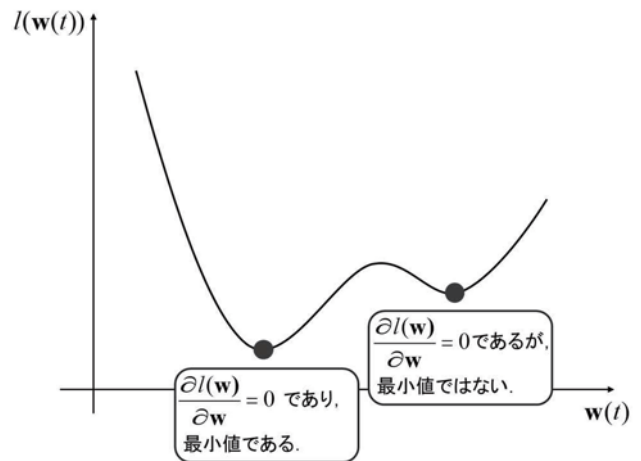


Fig.9 A case that a point is not minimum even if the gradient of the point is zero.

8. おわりに

本論では、機械学習の基礎としての最適化問題について述べた。言うまでもなく、本論で述べた内容が最適化問題の全てではないが、機械学習のアルゴリズムを適用するにあたって、ブラックボックス化せず扱うためには、この程度の知識を身に付けておくとおかないとでは、大分違いが出てくるのではないかと思う。

参考文献

- (1) ニューラルネットのための最適化数学: <https://www.hellocybernetics.tech/entry/2017/01/16/011113> (最終アクセス日: 2019年9月19日)

簡便に XML データ処理を行うライブラリ・ソフトウェアの検討 (その 4) - XML 文書作成ソフトウェアの Python 移植と, 属性への対応 -

吉田 茂* 天野 克哉* 廣田 耕平*

(2019 年 9 月 30 日受理)

Study on a Library Software Makes XML Data Processing Easy (Part 4) - Based on XML Document Creation in Python, and Support for Attributes -

Shigeru Yoshida*, Katsuya Amano*, and Kohei Hirota*

(Received September 30, 2019)

Abstract

This study describes some improvements on the Extensible Markup Language (XML) document-creation software previously developed using Perl that has been now ported to Python and support attributes. XML is a widely used international-standard language for encoding electronic data. It is flexible and extensible. Currently, XML is mainly utilized for (between-organizations) data exchange and (intra-organization) data processing. It is not often utilized for end-user computing in offices. Therefore, by limiting the XML document to tabular data as explained in our conducted study, even beginners can easily manipulate and become convenient with XML by Comma Separated Values (CSV) files. A data-processing library was implemented in Perl. Moreover, Python has presently become a popular programming language for beginners. Therefore, to make this library available to numerous people, the software was ported to Python and replaced with the CSV file that created the original data in an Excel file. Support for attributes was included by considering the format for handling attributes. Furthermore, as a result of the software implementation and evaluation, XML documents could be created on a personal computer at a speed of 150 Kbytes / sec.

キーワード : XML 文書作成, Excel 形式, CSV 形式, 属性の作成, エンドユーザコンピューティング

Keywords : XML document creation, Excel file, CSV file, attributes, End User Computing

1. はじめに

XML(eXtensible Markup Language) は, 国際標準の電子データ表現用の言語であり, 柔軟性, 拡張性が高く, 幅広く使用されている^{1), 2), 3)}. 現状では, XML は主に BtoB (組織間) のデータ交換や, inB (組織内) のデータ処理に使われているものの, オフィスでのエンドユーザコンピューティングとしては, あまり使われていない. この点を鑑みて, 先の研究では, XML 文書を表形式のデータに限定することによって, CSV(Comma Separated Values) ファイルと連携して, 初学者でも XML を容易に扱え, XML の利便性を享受できるデータ処理用ライブラリを作成して, 報告した^{4), 5)}.

プログラム言語 Perl⁶⁾ は, 早くから XML をサポートしており, 文字処理が速いことから, このライブラリを Perl で実装していた. しかし, 昨今の状況では, Python⁷⁾ が初心者扱い易い言語として普及してきている. そこで, このライブラリを多くの人に使うように, Python に移植することにした. まず, XML 文書の作成の部分を Python で行うようにした. Python ではライブラリのインポートで Excel ファイルが簡単に扱えることから, 元データを作る CSV ファイルを Excel ファイルに置き替えるようにした. また, 以前のソフトウェアは, 属性に未対応であることが課題であった. 属性を付加する場合は, 別途, 要素を属性に変換する

* 愛知工科大学工学部情報メディア学科, 〒443-0047 愛知県蒲郡市西迫町馬乗 50-2
Department of Media Informatics, Aichi University of Technology, 50-2 Manori, Nishihasama-cho, Gamagori 443-0047, Japan

XSLT スタイルシートを用意する必要があった。そこで、Python に移植を行うこの機会に、属性も、Excel ファイルから属性を付加できるようにした。属性を付加するための書式を考案した。

本研究では、Python への移植とともに、属性を付加する新しい書式を提案し、Excel ファイルから XML 文書を変換・作成するソフトウェアを実装・評価したので、結果を報告する。

本報の構成は、2 章で、従来技術として流通している XML 作成ソフトウェアについて述べる。3 章で、Python に移植するための注意すべき点、属性付加に対応する新たな書式などについて述べる。4 章でこれを実現するソフトウェアと、適用・評価例を示し、最後にまとめる。

2. 従来技術，属性への対応と目標

2.1 前報の XML 作成ツールと課題

前報の XML 文書作成ツール³⁾は、CSV ファイルから XML 文書に変換するものであり、Table 1 のような書式になっていた。すなわち、第 1 列にキーワードをおき、第 2 列目以降に第 1 列で定義される内容を書いた。

要素名と要素内容を分離して書く。～ は 1 レコードを 1 行に表す場合に用いる。Fig.1 (a)(b) に元データの形式と変換後の XML 文書を示す。

また、このソフトウェアは、もう一つの XML 文書作成のモードをもつ。長い要素内容は 1 行に書いて、複数行から 1 レコード分のデータを作る。で末尾の数字 N の同じものが、対応する要素名、要素内容を表す。Fig.2 (a)(b) に、このモードで XML 文書を作成する例を示す。

Table 1 要素指定の書式と XML 文書

1 列目のキーワード	2 桁目以降に記述する XML 文書の内容	[記述位置]
root	ルート要素名	[第 2 列目]
record	レコード要素名	[第 2 列目]
element	レコード内の要素名	[第 2 列以降]
value	レコード内の要素の内容	[第 2 列以降]
text	空白行，コメント	[第 2 列以降]
elementN	レコード内の要素名，N は番号	[同上]
ValueN	elementN に対応する要素内容	[同上]

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<住所録>
  <友人>
    <名前>蒲郡太郎</名前>
    <よみがな>がまごおり たろう</よみがな>
    <住所>蒲郡市</住所>
    <電話>1234</電話>
    <Email>gamagori@net.jp</Email>
  </友人>
  <友人>
    <名前>岡崎花子</名前>
    <よみがな>おかざき はなこ</よみがな>
    <住所>岡崎市</住所>
    <電話>6789</電話>
    <Email>okazaki@net.jp</Email>
  </友人>
  <text>*****</text>
  <親戚>
    <名前>愛知次郎</名前>
    <よみがな>あいち じろう</よみがな>
    <住所>名古屋市</住所>
    <電話>2468</電話>
    <Email>jiro@net.jp</Email>
    <続柄>叔父</続柄>
  </親戚>
  <親戚>
    <名前>愛知京子</名前>
    <よみがな>あいち きょうこ</よみがな>
    <住所>岐阜市</住所>
    <電話>1357</電話>
    <Email>kyouko@net.jp</Email>
    <続柄>叔母</続柄>
  </親戚>
  <親戚>
    <名前>愛知一郎</名前>
    <よみがな>あいち いちろう</よみがな>
    <住所>静岡市</住所>
    <電話>9753</電話>
    <Email>ichirou@net.jp</Email>
    <続柄>祖父</続柄>
  </親戚>
</住所録>
```

(b) (a) で変換した XML 文書

	A	B	C	D	E	F	G
1	root	住所録					
2	record	友人					
3	element	名前	よみがな	住所	電話	Email	
4	value	蒲郡太郎	がまごおり たろう	蒲郡市	1234	gamagori@net.jp	
5	value	岡崎花子	おかざき はなこ	岡崎市	6789	okazaki@net.jp	
6	text	*****					
7	record	親戚					
8	element	名前	よみがな	住所	電話	Email	続柄
9	value	愛知次郎	あいち じろう	名古屋市	2468	jiro@net.jp	叔父
10	value	愛知京子	あいち きょうこ	岐阜市	1357	kyouko@ne	叔母
11	value	愛知一郎	あいち いちろう	静岡市	9753	ichirou@ne	祖父
12							

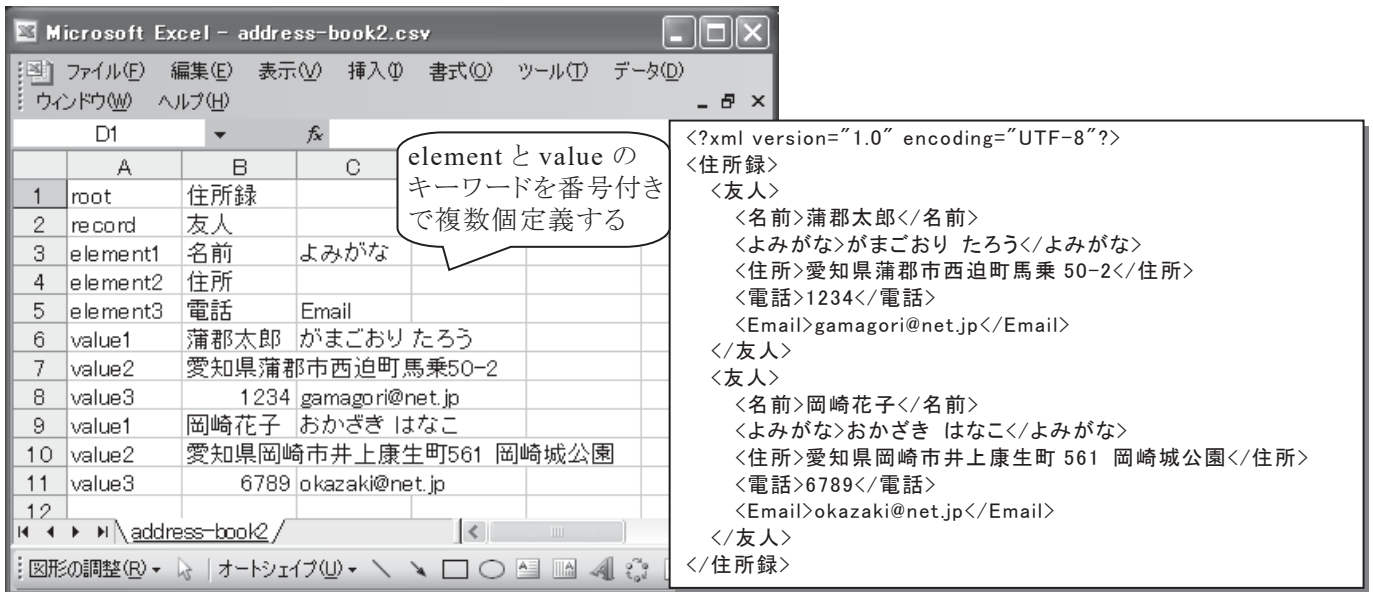
(a) ～ の書式を用いた CSV ファイル

Fig.1 短い項目内容に対応した書式の XML 文書の変換の例

前報でも示したように、ここで扱う XML 文書は、プログラミングを簡単にするため、レコードが一階層の要素で、基本的な構造のものだけである。

2.2 既存の XML 作成ソフトウェアについて

MS Excel には、表形式の表示から、XML 文書を作成する機能が付いている⁸⁾。Fig.3 に示すように、スキー



(a) ⑥⑦の書式を用いた CSV ファイル

(b) 変換した XML 文書

Fig.2 長い項目内容に対応した書式の XML 文書の変換の例

マを作成しておき、スキーマを Excel に読み込ませて、XML 文書の階層構造をツリー状に表示させる。そして、Excel の表形式項目を、ツリー表示のタグにドラッグ & ドロップして対応づけ、XML 文書として出力している。

この操作は GUI なので、操作の見通しが良い。しかし、項目数が多い場合、例えば 50 個以上となるようなときに、操作が面倒になる。また、GUI 操作の常として、同種の変換を何度も行うとき、あるいは、間違いが生じたとき、同じ手操作を何度も繰り返さなければならないことが手間になる。

この他に XML 作成ソフトウェアとして、XML エディタがある⁹⁾。XML エディタはどちらかという、既にできあがった XML 文書を修正・更新するツールだと考える。ここでは、XML 文書を最初に一括して作り出すツールを対象にする。

2.3 属性への対応

本研究の目的は、XML 文書の書式を簡単なものに限ることで、XML 文書を扱うソフトウェアも簡単なもので対応できるようにしようというものである。しかしながら、XML 文書は、簡単な文書でも、属性を持ち、属性で要素内容の付加的、あるいは備考のような情報を表す。また、要素内容が多岐に渡るとき、要素名は一般的な項目にして属性値で区別することがある。これらの例を Fig.4 (a) (b) に示す。簡単な XML 文書でも、属性は種々の用途に使われるため、ぜひサポートしたい機能となる。

2.4 本研究の目標

本研究では、ソフトウェアを Python 化し Excel ファイルによってデータを作成するとともに、属性に対応できるようにする。これらを解決する上で、次の目標を設



Fig.3 Excel からの XML 文書の変換

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<健康診断>
  <学生 クラス="J4A" 番号="11">
    <名前>山田太郎</名前>
    <身長 単位="cm">170</身長>
    <体重 単位="Kg">60</体重>
  </学生>
  <学生 クラス="J4B" 番号="23">
    <名前>愛知次郎</名前>
    <身長 単位="cm">165</身長>
    <体重 単位="Kg">70</体重>
  </学生>
</健康診断>
```

(a) 属性で要素内容の付加情報として単位を表す例

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<都道府県別総人口>
  <男女計>
    <年>平成 25 年</年>
    <全国>127298</全国>
    <個別 県="北海道">5431</個別>
    <個別 県="青森県">1335</個別>
    <個別 県="岩手県">1295</個別>
    <個別 県="宮城県">2328</個別>
    <個別 県="秋田県">1050</個別>
    <個別 県="山形県">1141</個別>
    <個別 県="福島県">1946</個別>
    <個別 県="茨城県">2931</個別>
  </男女計>
```

(b) 属性で要素内容の詳細を区別する例

Fig.4 属性の使用例

3. 属性を指定する書式の設定

定した .

- (a) データ処理に XML を用いるが、XML 技術について最小限の知識で扱えること
- (b) 変換用 Excel ファイルをユーザが書き下す上で、違和感がなく直感的に扱える書式であること
- (c) 前報での変換書式との上位互換性を保つこと

2.5 書式の Excel への置き換えについて

データの書式では、CSV ファイルから Excel ファイルに置き換える。Excel にする利点としては、cell の大きさを自由に変えることができ、変えた値をセーブすることができる利点がある。また、cell の中で、コンマを使うことができる。XML 文書では、数値も扱うときに、XML の要素内容にコンマが入ることは数値の視認性を高めることにつながる。XML 文書の数値をプログラムで利用するときにはコンマは、すぐに外せる。

属性には、1) レコード要素に付随する属性と、2) レコード内の要素に付随する属性とがある。これらは、これまでの変換ツールを拡張する形で、Table 2 に示すように、組み込むことにした。図では属性に関わる部分をゴシック体で記述した。

1) レコードに付随する属性

属性名が Table 2 のキーワード record のように “#” 付きで記述する。そして、その属性値が、Table 2 のキーワード valueR の列に対応する位置に記述する。ここで、XML 文書で属性名を表すときは慣習的に、“@” を先頭に付ける。しかし、Excel では “@” は cell にそのまま入らず、別な意味に解釈される。このため、“#” で置き換えることにした。Fig.5 に、短い要素内容に対して、属性を指定して変換する例を示す。Fig.5 は、要素内容が短い場合であり、(a) のような属性付加の書式のより (b) の XML 文書を作成するものである。要素名、要素内容、属性名、属性値とも 1 行に書けるときに使う。

Table 2 属性と要素指定の書式と XML 文書

	1 列目の キーワード	2 桁目以降に記述する XML 文書の対応する内容	[記述位置]
要素 属 性 の 書 式	root	ルート要素名	[第 2 列]
	record	レコード要素名	[第 2 列], # 付きで属性名 [第 3 列以降]
	valueR	第 2 列は空白,	レコードの属性値 [第 3 列以降]
	element	レコード内の要素名	[第 2 列以降], # 付きで属性名 [第 3 列以降]
	value	レコード内の要素内容	[第 2 列以降], 属性値 [第 3 列以降]
	text	空白行, コメントを入れる	[第 2 列]
	elementN	レコード内の要素名 . N は整数	[第 2 列以降], # 付きで属性名 [第 3 列以降]
	valueN	elementN に対応する要素内容	[第 2 列以降], 属性値 [第 3 列以降]

第 1 列目 第 2 列目以降
 キーワード 書式指定

root	cars			
record	cars	#country		
element	name	price	img	#file
valueR		日本		
value	乗用車	150		car1.jpg
valueR		日本		
value	トラック	500		car2.jpg
valueR		USA		
value	オープンカー	200		car3.jpg

(a) 短い要素内容と属性を指定する書式の例

Fig.5 短い要素内容, 属性の指定と XML 文書への変換
 (注) 文献 3 Lesson2 の Samle.xml を用いた .

```

<cars>
  <cars country="日本">
    <name>乗用車</name>
    <price>150</price>
    <img file="car1.jpg"></img>
  </cars>
  <cars country="日本">
    <name>トラック</name>
    <price>500</price>
    <img file="car2.jpg"></img>
  </cars>
  <cars country="USA">
    <name>オープンカー</name>
    <price>200</price>
    <img file="car3.jpg"></img>
  </cars>
</cars>

```

(b) (a) に対応する XML 文書

第 1 列目 第 2 列目以降
 キーワード 書式指定

root	cars			
record	car	#id	#country	・・・レコード要素の属性
element1	name	price		
element2	description			
element3	img	#file	・・・要素の属性	
valueR		1001	日本	
value1	乗用車	150		
value2	5人まで乗車することができます。家族用の車です。			
value3		car1.jpg		
valueR		1002	日本	
value1	トラック	500		
value2	荷物の運搬にご利用できます。業務用の車です。			
value3		car2.jpg		
valueR		1005	USA	
value1	オープンカー	200		
value2	晴天時には天窓を開閉できます。レジャー用に最適です。			
value3		car3.jpg		

(a) 長い要素内容と属性を指定する例

Fig.6 長い要素内容と属性の指定と, XML 文書への変換 (次頁に続く)

```

<cars>
  <car id="1001" country="日本">
    <name>乗用車</name>
    <price>150</price>
    <delimiter/>
    <description>>5 人まで乗車することができます。家族用の車です。</description>
    <delimiter/>
    <img file="car1.jpg"></img>
    <delimiter/>
  </car>
  <car id="1002" country="日本">
    <name>トラック</name>
    <price>500</price>
    <description>荷物の運搬にご利用できます。業務用の車です。</description>
    <img file="car2.jpg"></img>
  </car>
  <car id="1005" country="USA">
    <name>オープンカー</name>
    <price>200</price>
    <description>晴天時には天窓を開閉できます。レジャー用に最適です。</description>
    <img file="car3.jpg"></img>
  </car>
</cars>

```

(b) (a) に対応する XML 文書

Fig.6 長い要素内容，属性の指定と XML 文書への変換
(注) 文献 3 Lesson2 の Samle.xml を用いた。

2) 要素に付随する属性

属性名が，これまでのキーワード element，または elementN で示される行に “#” 付きで記述される．その属性が付随する要素名に対して右側に置くものとする．そして，その属性値が， value，または valueN の対応する位置に記述する．Fig.6 に，長い要素内容に対して，属性を指定して変換する例を示す．Fig.6 は，要素内容が長い場合であり，(a) のような属性の付加の書式により，(b) の XML 文書の作成するものである．1 レコードの要素名，要素内容，属性名，属性値を数行に分けて書く．

Table 3 開発環境

項目	内容
コンピュータ	ノート PC MousePro
OS	Windows10 Pro 64bitOS
CPU	Intel CORE i7-6500 2.50GHz
メモリ	8.00GB
Python インタプリタ	Python 3.6.4

4. ソフトウェア実装

4.1 前報ソフトウェアの Python への移植

前報³⁾の CSV ファイルから Excel ファイルに移行するが，これには Python ライブラリの xlrd¹⁰⁾ を用いた．xlrd は Excel ファイルの読み込みのみで，書き込みはできない．使用文字コードはプログラム 扱うデータとも，UTF-8 に統一した．使用した開発環境を Table 3 に示す．Python は 3 系を用いた．

4.2 属性を指定する書式対応プログラムの実装

属性に対応して実装したプログラムのフローチャートを，Fig.7 に示す．なお，Fig.7 のフローチャートでは，見通しを良くするために，キーワード “text” と，XML 文書の text タグを扱う箇所を省いた．

Fig.7 では最初に Excel ファイルの全部の cell を，2 次元配列 data[行][列] に読み込んだ後，この配列から読み出して解析を行うようにした．

Fig.7 では．レコード要素の属性名は 1 次元配列 att に格納される．属性値はキーワード “valueR” に書いておいて取り込む．レコード内の要素の属性名は，要素名

と同様に data に格納されている．それで，キーワード “element” または “elementN” の項目が “#” で始まっているかを検出して，キーワード “value” または “valueN” から取り込めばいい．

キーワード “elementN” と “valueN” との対応は 要素名・属性名を “elementN” より末尾の数字 N を切り出して，2次元配列 elem[N][*] に格納しておく．そして，data から “valueN” を読み出したとき，末尾の数字 N を切り出して，elem[N][*] と対応付けるようにしている．

5. 機能・性能の能評価

(1) 機能評価

Excel ファイルに属性を指定して XML 文書を作成するソフトウェアを，Python により実装した．前報のプログラムと本報プログラムのソースコードのサイズは，おおよそ Table 4 のようになった．Perl と Python でプログラム言語が異なるため，そのままの比較できないが，Python のプログラムの方が機能が上がっている．属性を追加したのにもかかわらず，プログラムサイズはほとんど増えていない．

実装したプログラムにより，Fig.4，Fig.5，Fig.6 の属性指定の書式を作り，XML 文書に変換した．これらは全て正常に動作した．

Table 4 作成したプログラムのサイズ

プログラム	入力	プログラム・サイズ
Perl 版実装	CSV ファイル	154 行
Python 版実装	Excel ファイル	156 行

(2) 性能評価

試験用のデータをプログラムで人為的に作り，処理速度の評価を行った．試験用データは CSV ファイルとして作って，Excel ファイルに変換後，本ソフトウェアに入力し，XML 文書を出力した．結果を Table 5 に示す．CSV ファイルを Excel に直したとき，データ容量が小さくなっているのは，データ圧縮をかけているからである．処理速度はディスクへのファイル読み書きの時間も含め，150KB/秒となった．この結果は一例であり，要素数，属性数が変われば，値も変わってくるが，一応の目安にはなる．

Table 5 試験用データによる評価

項目	内容	
データ作成用 CSV ファイル	レコード数 2600 個 要素数 18 個 属性数 2 個 / 要素	1,031 KB
入力 Excel ファイル	同上	964 KB
出力 XML ファイル	同上	2,450 KB
処理速度 ライブラリ time を使用で測定	150 KB/ 秒 所要時間	6.3 秒

6. 考 察

属性を扱い，レコード要素に付随する属性と，レコード内の要素に付随する属性を付加した．このツールは，Excel ファイルから，属性付 XML 文書を一括変換するものである．その結果，属性付の書式は，要素名，属性名と，要素内容，属性値に分けて，従来の CSV-XML 作成ツールの拡張として作ることができた．属性値は，要素内容に付随するため，短い場合がほとんどである．このため，短い要素内容と，長い要素内容の 2 つのモードができれば十分と考える．

- ・項目数が多いときに，要素名を一般的な名前にして，属性を付けて属性値で識別する方法が取られる．こういう場合も，きちんと変換が行えることを確認した．elementN のキーワードは，同じレコードで何度でも valueN を使えるようにした．
- ・大量のデータでも試験するため，人為的にプログラムで評価用の属性指定書式を作成して試験した．その結果，150KB/秒の処理速度が得られた．エンドユーザが使うツールとしては，このくらいの処理速度があれば十分だと考える．

7. まとめ

- ・簡便な XML ライブラリにおいて，属性をできるように属性付 Excel ファイルを変換して XML 文書を作成するツールを製作した．
- ・Excel 書式の形式は，ユーザが違和感なく使えるように，これまでの変換ツールの拡張となるように実装した．
- ・種々のフォーマットで試験した結果，正常に動作していることを確認した．処理速度は，測定した例では 150KB/秒であった．

参考文献

- 1) 中山幹敏・浅井康弘・日本ユニテック：改訂版標準 XML 完全解説＜上＞，技術評論社 (2001.4).
- 2) 中山幹敏・浅井康弘・日本ユニテック：改訂版標準 XML 完全解説＜下＞，技術評論社 (2004.3).
- 3) 高橋麻奈：やさしい XML 第 3 版，ソフトバンク・クリエイティブ (2009.5)
- 4) 吉田 茂：CSV ファイルと連携して簡便に XML データ処理を行うライブラリ・ソフトウェアの検討（その 2）長い項目内容を持つ CSV ファイルの XML 文書への変換，愛知工科大学紀要 第 8 巻 (2011 年度)，pp.25 - 30 (2012.3) .
- 5) 天野克哉，XML 文書の簡便データ処理に関する研究 - 属性付 CSV ファイルの XML 変換 - ，平成 30 年度愛知工科大学卒業論文 (2019.02) .
- 6) ActiveState 社の Active Perl のサイト
<http://www.activestate.com/activeperl>.
- 7) Python の公式ページ，<https://www.python.org/>.
- 8) Excel の XML の概要
<https://support.office.com/ja-jp/article/excel-%E3%81%AE-xml-%E3%81%AE%E6%A6%82%E8%A6%81-f11faa7e-63ae-4166-b3ac-c9e9752a7d80>
- 9) XMLEditor.NET，<http://www.xmleditor.jp/>
- 10) 【Python 入門】xlrd で Excel のファイルを読み込もう，
<https://www.sejuku.net/blog/69929>

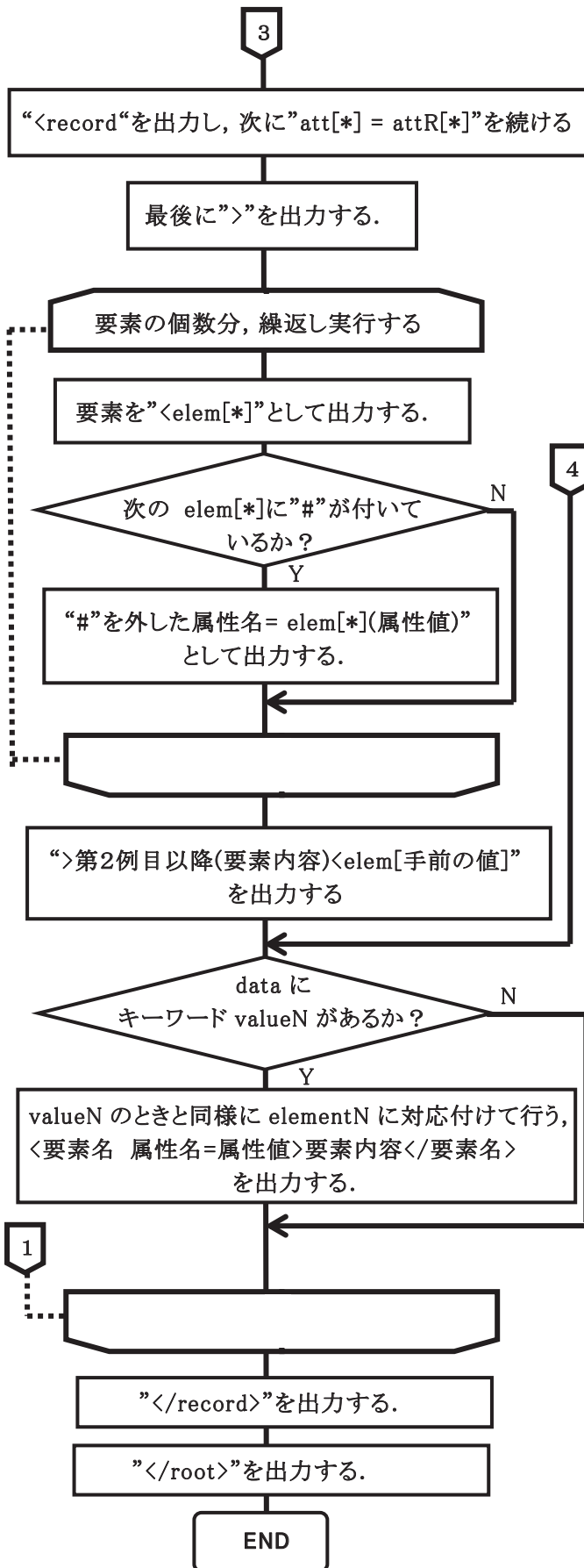


Fig.7 属性に対応するフローチャート(前頁より続き)

1. 著 書

荒川 俊也：車載 HMI の開発動向と自動運転、ADAS への応用 第 5 章 第 1 節「自動運転システムへの依存とシステム破綻後のドライバ状態」, 株式会社技術情報協会 (2019).

近藤 敏彰, 柳下 崇, 益田 秀樹：第 7 章「大面積規則ナノ構造体の形成とプラズモニクスデバイスへの応用」, 『CSJ カントレビュー プラズモンと光圧が導くナノ物質』, 化学化学同人 (2019).

大西正敏：機械設計製図便覧 第 1 2 版 (韓国語翻訳版), オーム社 (2019.3).

大西正敏, 平野重雄：J I S にもとづく標準製図法, 第 15 版全訂版, オーム社 (2019.8).

Shintaro Uno : 「Intelligent Transport Systems for Everyone s Mobility Part 1 safe and secure society」Springer (2019.08).

進訓 央, 松浦 恒明, 兼川 雄次, 板宮 朋基：別冊整形外科 75 整形外科診療における最先端技術, フリーソフトウェアによる画像支援, シミュレーション, pp.140-144. 編者：松田秀一：南江堂, 東京 (2019)..

中島 守, 吉田 昌央, 小野 秀文, 高田 富男, 平野 博敏, 川村 貴裕：安全のころえ (2019 年度版) 学校法人電波学園 愛知工科大学自動車短期大学 (2019.3).

中島 守, 河合 末利, 森 勝行, 永田 英雄, 服部 幸廣, 高田 浩充：新編 工学基礎 (2019 年度版) 学校法人電波学園 愛知工科大学自動車短期大学 (2019.3).

中島 守, 掛布 知仁, 高田 浩充, 森 勝行, 吉田 昌央：基礎数学 (2019 年度版) 学校法人電波学園 愛知工科大学自動車短期大学 (2019.3).

2. 論 文 / 国際会議

阿部己和, 梶谷満信：SIMULINK で動く DC モータ実験装置の開発とその応用 (制御工学の実践的教育への応用), 計測自動制御学会教育工学論文集, Vol.42, pp.46-48 (2019.12).

Yoshinori Watanabe , Nobusuke Kobayasi , Yoshinori Itaya and Yuto Kashiwaya : Construction of Composting Heat Utilization Process , International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (2019.11).

Ryuta Kawai and Toshiya Arakawa: Trial Development of Nursing Care Robot Moving by Intuitive Hand Motion, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol.15, No.6, pp.2109-2118 (2019) DOI: 10.24507/ijicic.15.06 2109.

Toshiya Arakawa, Ryosuke Hibi and Taka-aki Fuji-shiro: Psychophysical assessment of a driver s mental state in autonomous vehicles, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 124, pp.587-610 (2019) DOI: 10.1016/j.tra.2018.05.003.

荒川 俊也：機械設計技術者 3 級試験対策講座における Google Forms の活用, 工学教育, Vol.67, No.2, pp.75-79 (2019) DOI: 10.4307/jsee.67.2_75.

Kento Yasui, Ryuta Kawai and Toshiya Arakawa: Immersive Virtual Reality Supporting Content for Evaluating Inter-

face Using Oculus Rift and Leap Motion, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol. 15, No.2, pp.591-605 (2019) DOI: 10.24507/ijicic.15.02.591.

荒川 俊也：工学における実務統計解析の基礎, 愛知工科大学紀要, 第 16 巻, pp.75-82 (2019).

尾林 史章, 荒川 俊也, 小塚 一宏：駅ホーム上歩行中におけるスマートフォン使用時の視線特性, 愛知工科大学紀要, 第 16 巻, pp.35-38 (2019).

Shigeru Miyachi, Yoshitaka Nagano, Takahide Hironaka, Reo Kawaguchi, Tomotaka Ohshima, Naoki Matsuo, Ryuya Maejima, Masakazu Takayasu: Novel Operation Support Robot with Sensory-Motor Feedback System for Neuroendovascular Intervention, World Neurosurgery, Vol.127, pp.617-623 (2019.7).

Reo Kawaguchi, Tomotaka Ohshima, Yoshitaka Nagano, Shigeru Miyachi, Naoki Matsuo, Masakazu Takayasu: Experimental evaluation of stent clot retrieval using the confront clot scrambling method with an equitable automatic withdrawal machine, Asian Journal of Neurosurgery, Vol.14, No.4, pp.1165-1167 (2019.11).

Tomotaka Ohshima, Yoshitaka Nagano, Hiroki Tadauchi, Tsuyoshi Mase, Shigeru Miyachi: Novel Concept and Device for Holding the Rotational Hemostasis Valve During

Neuroendovascular Procedures, World Neurosurgery, Vol.132, pp.99-102 (2019.12).

Masahiro Isogai, Kaito Onaka and Kazuto Miyawaki : Evaluation of Pole Walking using 3D Motion Analysis Equipment, Proceedings of the 30th International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science (MHS), pp.183-187 (2019.12).

磯貝正弘, 鈴木雅史, 宮脇和人, 齊藤亜由子, 小林義和, 木澤悟 : ナンバ歩行の解析 (歩行の実験), 計測自動制御学会教育工学論文集, Vol.42, pp.16-18 (2019.12).

Taichi Mizoshiri, Yasuchika Mori : Sliding Mode Control with a Time-Varying Ellipsoidal Sliding Surface, 2019 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), 14-16 Jan. 2019, Paris, France.

Taichi Mizoshiri, Yasuchika Mori : Sliding Mode Control with a Time-Varying Lemniscate-Based Sliding Surface, 2019 12th Asian Control Conference (ASCC), 9-12 June 2019, Kitakyushu-shi, Japan.

GoroObinata, Takuhiro Sunada, Yanling Pei : A New Design of Active Lower Limb Orthosis with One Degree of Freedom for Paraplegia, ICSRT, pp.23-27 (2019.2).

Takuhiro Sunada, Goro Obinata and Yanling Pei : Active Lower Limb Orthosis with One Degree of Freedom for Paraplegia, ICINCO (2019.6).

Masanori Nishio, Masatoshi Onishi, Yasuhiko Nawa : Development of Cubesat for LED Light Communication, Proc. Joint Symposium of 32nd ISTS & 9th NSAT, 2019-f-17, Fukui (2019.6).

尾林 史章, 荒川 俊也, 小塚 一宏 : 自動車運転中の”ながらスマホ”の影響の計測, 愛知工科大学紀要, 第16巻, pp.27-34 (2019.3).

Takashi Yanagishita, Hiroaki Awata, Kenichi Kobayashi, Toshiaki Kondo, and Hideki Masuda : Preparation of Polymer Nanofibers with Controlled Diameters by Continuous Spinning Using Ordered Anodic Porous Alumina as Spinneret, Chem. Lett., 48, 86 (2019).

Takashi Yanagishita, Go Otani, Hiroshi Onomoto, T. Kondo, H. Masuda : One-pod preparation of anodic porous alumina molds with tapered holes for moth-eye structures by nanoimprinting, Jpn. J. Appl. Phys., 58, 068005 (2019).

Toshiaki Kondo, Ryota Otsuki, Kenya Matsuo, Takashi Yanagishita, Hideki Masuda : Anisotropic Anode Etching of Al and its Optical Application, 3rd International Symposium on AST2019 (2019).

Toshiaki Kondo, Takashi Yanagishita, Hideki Masuda : Thermal Radiation Control Structure Obtained by Anisotropic Anode Etching of Al, ANZCOP 2019-SPIE (2019).

Toshiaki Kondo, Takashi Yanagishita, and Hideki Masuda : Anisotropic Anodic Etching of Al and its Application to Thermal Radiation Control Device, International workshop on nanooptics & nanophotonics (2019). (招待講演)

Hiroshi Matsuura, T. Tanikawa, H. Furukawa, and H. Hashimoto : A particle-assisted plasma-induced reaction for functional three dimensional (3D) printing, Jpn. J. Appl. Phys. 58, 050909 (2019).

Hiroshi Matsuura, T. Tanikawa, H. Furukawa, and H. Hashimoto: Jpn. J. Appl. Phys. 58, 050911 (2019). "Efficient atomization method using a rectangular electrode on an ultrasonic transducer"

Hiroshi Matsuura, H. Furukawa, T. Tanikawa, and H. Hashimoto : Performance of Five Ultrasonic Transducers Modified For Efficient Atomization, J. Acoust. Soc. Am. 146, 626 (2019). ""

Hiroshi Matsuura, H. Furukawa, T. Tanikawa, and H. Hashimoto : Jpn. J. Appl. Phys. 58, 100906 (2019).

T. Terazawa, T. Kawashima, T. Umeno, T. Wada, S. Ozaki, S. Miyamoto, Y. Nakayama : Mechanical characterization of an in-body tissue-engineered autologous collagenous sheet for application as an aortic valve reconstruction material, Journal of Biomechanics, 2019 [Epub ahead of print]

Y. Nakayama, Y. Kaneko, N. Okumura, T. Terazawa : Initial 3-year results of first human use of an in-body tissue-engineered autologous "Biotube" vascular graft for hemodialysis. The journal of vascular access (2019).

S. Umeda, Y. Nakayama, T. Terazawa, R. Iwai, S. Hiwatashi, K. Nakahata, Y. Takama, H. Okuyama : Long-term outcomes of patch tracheoplasty using collagenous tissue membranes (biosheets) produced by in-body tissue architecture in a beagle model. Surgery today 49:958-964 (2019).

Y. Nakayama, T. Terazawa, T. Kawashima, K. Okamoto, S. Miyamoto: iBTA-induced Biosheet for Leaflet Material in Aortic Valve Reconstruction. Structural Heart 3:137 (2019).

S. Hiwatashi, Y. Nakayama, S. Umeda, Y. Takama, T. Terazawa, H. Okuyama: Tracheal Replacement Using an In-Body Tissue-Engineered Collagenous Tube "BIOTUBE" with a Biodegradable Stent in a Beagle Model: A Preliminary Report on a New Technique. European journal of pediatric surgery, 29:90-96 (2019).

寺澤 武, 尾崎 重之, 巽 英介, 中山 泰秀 : ヒト心臓の光干渉断層計による厚み分布計測と強度評価 医工学治療 31:27-33 (2019.3).

實廣 貴敏, 宮嶋 博, 布目 貴大, 武田 一哉 : 単一マイクロホン入力音声からの Deep Belief Network による発話者までの距離推定, 愛知工科大学紀要, 第16巻, pp.39-44 (2019.3).

吉田 茂, 芦田 勝猛: 文法型圧縮法による英語・日本語・中国語文書の圧縮, 愛知工科大学紀要, 第 16 巻, pp.45-51 (2019.3).

板宮 朋基: スマートグラスを用いた複合現実感の手術ナビゲーションへの応用. 日本口腔外科学会雑誌, Vol.65, No.2, 48-50 (2019).

来田 大平, 板宮 朋基: AR を用いた TKA 支援デバイス. Bone Joint Nerve, Vol.9 No.2, 263-268 (2019).

T. Itamiya, H. Tohara, Y. Nasuda: Augmented Reality Floods and Smoke Smartphone App Disaster Scope utilizing Real-Time Occlusion. IEEE VR 2019, the 26th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, Conference Paper No.1121, Osaka (2019.3.23-27).

T. Itamiya: **Disaster Scope**: The Augmented Reality Floods and Smoke Simulated Experience Smartphone-Application. UNDRR Global Platform for Disaster Risk Reduction, Innovation Platform, Booth 15, Geneva, 2019.5.15-17 (2019).

T. Itamiya: Practical use of Augmented Reality Smart Glasses in Oral and Maxillofacial Surgery: Tips & Pitfalls. 7th Binational Congress of the ADT advanced digital technology in head & neck reconstruction, pp.22, Tokyo (2019.6.20-22).

Ryo Teraoka, Shuichi Sakamoto, Zhenglie Cui, Yôiti Suzuki, and Satoshi Shioiri: Temporal characteristics of auditory spatial attention on word intelligibility, Acoustical Science and Technology, Vol.41, No.1, 2019.

Zhenglie Cui, Ryosuke Sasahara, Ryouichi Nishimura and Yoiti Suzuki: Estimation of Infrasound Source Positions using Multipoint Observation, Proceedings of the 23rd International Congress on Acoustics, pp. 4413-4419 (2019).

Ryouichi Nishimura, Zhenglie Chi and Yoiti Suzuki: Portable Infrasound Monitoring Device with Multiple MEMS Pressure Sensors, Proceedings of the 23rd International Congress on Acoustics, pp. 1498-1505 (2019).

Shota Abe, Zhenglie Cui, Shuichi Sakamoto, Yoiti Suzuki and Jiro Gyoba: Influence of Full-Body Vibration Adapted to Foreground Components on High-Level Perception of Reality, Proceedings of the 23rd International Congress on Acoustics, pp. 5904-5911 (2019).

Shuichi Sakamoto, Florent Monasterolo, Cesar Salvador,

Zhenglie Cui and Yoiti Suzuki: Effects of Target Speech Distance on Auditory Spatial Attention in Noisy Environment, Proceedings of the 23rd International Congress on Acoustics, pp. 2177-2181 (2019).

Ryo Teraoka, Shuichi Sakamoto, Zhenglie Cui, Yoiti Suzuki and Satoshi Shioiri: Directional selectivity of auditory spatial attention in multi-talker environment, Proceedings of the 23rd International Congress on Acoustics, pp. 5799-5805 (2019).

中島 公平, 森 唯人, 山田 展資, 吉田 昌央: 強制対流下における切欠きフィン付き空冷シリンダの冷却特性, 設計工学, Vol.54, No.1, pp.37-44 (2019.1).

Kohei NAKASHIMA, Yuito MORI, Hiroshi YAMADA, and Masao YOSHIDA: Cooling Characteristics of Air-Cooled Cylinder with Fins with Slits under Forced Convection, 設計工学, Vol.54, No.8, pp.551-558 (2019.8).

M. Yoneda, S. Obata, M. Niwa, N. Hirata, M. Motohashi: Simulation of Exchange Bias by Two-Phase Ferrimagnetic Model Using Antiferromagnetic Interlayer Coupling for the Fe₃O₄ Thin Film, Materials Transactions, Vol. 60, No. 1, pp. 55 to 60 (2019).

M. Yoneda, M. Niwa, N. Hirata and M. Motohashi: Duality between coherent quantum phase-slip and the Josephson junction in nanowires by dual Hamiltonian method, International Journal of Modern Physics B Vol. 33, No. 25, 1950291 (2019).

Akiko Eguchi: The relationship between reading amount and linguistic development in EFL students participating in extensive reading courses. Journal of the Chubu English Language Education Society, 48, pp. 97-104 (2019).

Akiko Eguchi: Assessing speaking performance from the viewpoint of task completion: A case of picture description Tasks. LET Journal of Central Japan, 30. pp. 67-78 (2019).

Ryoichiro Kobayashi: The Syntax of Path/Range PP Constructions in Japanese, Online Proceedings of Japanese/Korean Linguistics 25 (J/K25), pp.1-13. (2019.7)

Ryoichiro Kobayashi: Notes on Coordination, Copulas, and From-To Constructions, Proceedings of GLOW in Asia, pp.145-159. (2019.10)

3. 特 許

西尾正則 (発明者): 宇宙飛行体、宇宙航行体用コントローラ、制御方法及びコンピュータプログラム, (出願人) 学校法人電波学園・株式会社ダイレクト・アール・エフ, 第 6583642 号 (2019.9.13).

有泉 亮, 荒川 俊也, 大上 直哉, 村山 勝, 山本裕和, 吉

田知司: 着座者の眠気推定システム, 特願 2019-093239 (2019.5.16).

福瀧 修司, 井手 純一, 山本 彩佳, 中山 泰秀, 寺澤 武: 管状補強体及び管状人工臓器, 特願 2019-014816 (2019.1.30).

近藤 敏彰：電磁波調整用分散体、電磁波調整用分散体の製造方法及び電磁波調整素子，特願 2016-185841・特

開 2018-049221・2018 年 3 月 29 日 (2019.9.24,審査請求)

4. 解説・総説

荒川 俊也：レベル 3 以上の自動運転との正しい付き合い方とは？ - 自動運転システムへの依存およびシステム破綻後のドライバ状態の観点から - ，車載テクノロジー，2019 年 2 月号，pp.6-11 (2019).

柳下 崇，近藤 敏彰，益田 秀樹：高規則性ナノスルーホールメンブレンの高効率形成，表面技術，70, 16 (2019) .

宮地 茂，永野佳孝，川口礼雄：特集 医療機器開発 STORY- カテーテルや医療機器開発者に聞く，脳血管内

治療遠隔操作ロボットの開発，Rad Fun メディカルアイ，Vol.17, No.12, pp.78-80 (2019.10).

田川 和義，田中 弘美：「VR を応用した手術訓練システムの現状」，研究開発リーダー，No.163, pp. 14-18 (2019.10).

田川 和義：「柔軟物の変形シミュレーションと可視触化 - 触覚のバーチャルリアリティと医療への応用 - 」，可視化情報学会誌，Vol.39, No.152, pp. 8-11(2019.1).

5. 口頭発表

水野 皓太，荒川 俊也：低コストかつ軽量の介助支援ロボットの開発，2019 年 12 月度パーティクルフィルタ研究会 (2019.12.26)

谷川 涼，荒川 俊也：オペレータと機械の相互権限委譲可能なロボットの研究，2019 年 12 月度パーティクルフィルタ研究会 (2019.12.26)

有泉 亮，川口 雅典，荒川 俊也，大上 直哉，村山 勝：Echo State Network によるドライバの眠気推定の検討，計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2019 (2019.11.24).

荒川 俊也，榊原 規彰，近藤 針次：赤外線方式非接触連続血圧計の開発と統計的手法に基づく変化点検出の試み，計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2019 (2019.11.24).

貴答 峻亮，荒川 俊也：機械学習による自動運転の依存・過信推定手法に向けた検討，計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2019 (2019.11.24).

荒川 俊也，阿多 萌，中嶋 靖，小田 蛸太：K 耐久シミュレータの開発およびドライバ視認行動変化と技能向上推定へのアプローチ，計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2019 (2019.11.23).

石原 裕二：簡易自動車モデルのプラズマアクチュエータによる抗力低減効果，日本機械学会第 97 期流体工学部門講演会予稿集，(2019.11).

山本 照美，林 寛幸：外周縁で半径方向圧縮荷重を受ける弾性円環の最大引張応力，日本材料学会第 16 回機械・構造物の強度設計，安全性評価に関するシンポジウム，

pp.45-48(2019.10).

阿多 萌，中嶋 靖，小田 蛸太，荒川 俊也：K 耐久レース成績向上と整備教育を目的としたシミュレータ構築，産業応用工学会全国大会 2019 (2019.9.19).

荒川 俊也，榊原 規彰，近藤 針次：非接触赤外線方式連続血圧計の開発と運転時のヒヤリハットイベントに対する血圧変化検出の試み，生体医工学シンポジウム 2019 (2019.9.6).

秋月 拓磨，諏訪 航司，坪和 完，松丸 剛，章 忠，高橋 弘毅，大前 佑斗，荒川 俊也：生理・身体情報に基づくドライバ状態検知システムの構築，第 35 回ファジィシステムシンポジウム (2019.8.31).

荒川 俊也：自動運転時代に向けたドライバモニタリング技術のあり方 - 人と車の相補的制御 - ，電気学会 電子・情報・システム部門 電子回路技術委員会 非ノイマン型世代に求められる高機能回路実装技術調査専門委員会 (2019.8.26) (招待講演) .

荒川 俊也：自動運転のとりまく環境とドライバモニタリング技術について，県立豊橋工業高等学校模擬授業 (2019.7.12).

川口 雅典，有泉 亮，荒川 俊也，大上 直哉，村山 勝，東 俊一，浅井 徹：隠れマルコフモデルを用いたドライバの眠気推定，第 63 回システム制御情報学会研究発表講演会 (2019.5.22).

有泉 亮，川口 雅典，荒川 俊也，大上 直哉，村山 勝：Echo state network を用いたドライバの眠気推定，自動車技術会 2018 年春季大会学術講演会 (2019.5.22).

石原 裕二, 岡田 琢磨, 水沼 博: Ahmed モデル後部面の形状変化による空気抵抗値への影響 (第2報) - プラズマアクチュエータによる効果 -, 自動車技術会 2018 年春季大会学術講演会 (2019.5.22).

荒川 俊也: DS-nano- による研究事例と今後の構想 - 香り空気砲によるドライバ状態制御を例にして -, 第3回 DS-nano- ユーザー会 (2019.3.27).

川合 隆太, 荒川 俊也: 複雑な操作を簡易化した介助支援ロボットの開発, 日本設計工学会 東海支部 平成 30 年度研究発表講演会 (2019.3.2).

荒川 俊也: 自動運転は人間を幸せにするか?, 県立豊橋工業高等学校模擬授業 (2019.2.19).

荒川 俊也: 自動運転レベル 3 以上におけるドライバ生体情報について, 群馬大学数理データ科学教育研究センター主催第 2 回数理解データ科学セミナー (2019.1.31) (招待講演).

山本 智博, 阿部 己和: IoT 車いすのためのデータ収集アプリケーション作成, 日本機械学会 東海学生会 TEC19 第 50 回学生員卒業研究発表講演会 (2019.3.6)

岡田 琢磨, 石原 裕二: 簡易車両モデルの空気抵抗低減に及ぼすプラズマアクチュエータの効果, 日本機械学会東海学生会 TEC19 第 50 回学生員卒業研究発表講演会 (2019.3.6).

阿部 己和: AR マーカーを用いた電動車いすの人への追従, ITS Japan 第 17 回 ITS シンポジウム 2019(2019.12.12).

大竹 光樹, 村上 新: 転がり円筒型ダイナミックダンパの減衰比および転がり摩擦力の計測, 日本機械学会東海学生会 TEC19 第 50 回学生員卒業研究発表講演会 (2019.3.6).

一ノ瀬 玲皇, 黒沢 みずき, 近藤 敏彰, 柳下 崇, 益田 秀樹: ポーラスアルミナにもとづいた低損失な同軸ナノケーブルの形成と光学特性, 電気化学会第 86 回講演大会 (2019.3).

近藤 敏彰, 大槻 亮太, 松尾 建哉, 柳下 崇, 益田 秀樹: AI アノードエッチングにおける微細エッチド孔配列の形成, 電気化学会第 86 回講演大会 (2019.3).

近藤 敏彰, 佐野 知美, 柳下 崇, 益田 秀樹: ポーラスアルミナを鋳型とした非水系交流電析法による AI ナノワイヤーの形成とプラズモン特性, 第 139 回表面技術協会講演大会 (2019.3).

松尾 建哉, 近藤 敏彰, 柳下 崇, 益田 秀樹: AI の異方性アノードエッチングにおける微細トンネルピットの配列制御, 第 139 回表面技術協会講演大会 (2019.3).

益田 秀樹, 柳下 崇, 近藤 敏彰: アノード酸化ポーラスアルミナにおける幾何学構造制御と機能化, 第 104 回金属のアノード酸化皮膜の機能化部会例会 (2019.12.19) (依頼講演)

永野佳孝, 藤本英雄: マスタスレーブを用いた人から人への手の動きの伝達手法の検討, 日本機械学会東海支部総会講演会講演論文集, Vol.68, 518 (2019.3).

腰高 恵輝, 永野佳孝, 大島 共貴, 川口 礼雄, 宮地 茂: 脳血管内治療用デバイスのための評価モデルのデザイン - 血栓モデルと血管モデルの製作 -, 日本デザイン学会第 3 支部研究発表会, R1-4 (2019.3).

忠内 洋樹, 永野佳孝, 宮地 茂, 川口 礼雄, 松尾 直樹: 脳血管内治療用遠隔操作ロボットのセンサデザイン - プロトタイプ 2 号機 -, 日本デザイン学会第 3 支部研究発表会, R1-5 (2019.3).

渡邊 卓磨, 永野佳孝, 宮地 茂, 泉 孝嗣: カテーテルシェイピング支援装置のデザイン, 日本デザイン学会第 3 支部研究発表会, R1-6 (2019.3).

永野佳孝, 杉森 順子: FPGA を用いた立体物へのプロジェクションマッピングの実現, 映像情報メディア学会年次大会 2019, 11D-2 (2019.8).

永野佳孝, 杉森 順子: 人型立体物を用いた映像表現, 第 24 回バーチャルリアリティ学会大会, 3D-08 (2019.9).

永野佳孝, 秋山 弘樹, 宮地 茂, 川口 礼雄, 松尾 直樹: 脳血管内治療用遠隔操作ロボットにおける挿入力センサの開発, 日本コンピュータ外科学会誌 (第 28 回日本コンピュータ外科学会大会特集号), Vol.21, No.4, pp.251-252 (2019.11).

館山 武史: 実社会システムの高度な AI 化を目指した機械学習技術の応用に関する研究 (第 3 報), 電気学会研究会資料, Vol. ST-19-001 ~ 011, pp.37-40 (2019.6).

館山 武史, 成田 浩久, 吉田 雅人, 浅田 勝, 藤本 英雄: 深層学習を用いた自動製品検査システムの構築と現場導入に関する一考察, 日本機械学会 2019 年度年次大会 DVD 論文集 (2019.9).

館山 武史: 組織学習と役割分担の概念を導入したマルチエージェント強化学習, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2019 予稿集 (電子データ配布) (2019.11).

館山 武史: 実社会システムの高度な AI 化を目指した機械学習技術の応用に関する研究 (第 4 報), 電気学会研究会資料, ST-19-049, CT-19-127, pp.23-26 (2019.12).

名和 靖彦: 電子回路演習の取り組み ~ グループワークの実践 ~, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 11p-PA7-6 (2019.3).

鈴木 亮汰, 大西 正敏: 超音波型盲人用スマート杖の検討 超音波型盲人用スマート杖の検討”, 平成 30 年度日本設計工学会春季大会, pp.49-50(2019.3).

清水 新悟, 昆 恵介, 裴 艶玲, 大日方 五郎: 機械的特性に基づく低アーチ足の衝撃吸収機能の補償, 第 26 回バイオメカニズム・シンポジウム (2019).

裴艶玲, 大日方五郎: 一人大腿切断の義足アスリートの等速性筋力, 第 40 回バイオメカニズム学術講演会 (2019.11).

裴艶玲, 王彦皓, 王上海: 上肢リハビリ卓上ロボットの開発, 第 40 回バイオメカニズム学術講演会 (2019.11).

圓藤博明, 河村優斗, 大日方五郎, 裴艶玲: 人の操作における手先の位置・姿勢と力・モーメントの同時制御, 第 40 回バイオメカニズム学術講演会 (2019.11).

山本雅也, 高橋涼和, 平田豊: 移動中のスマートフォン操作が及ぼす VOR パフォーマンスへの影響, 第 14 回空間認知と運動制御研究会学術集会 (旧 JAXA ワーキンググループ) (2019.3).

寺本智貴, 山本雅也, 平田豊: 歩きスマートフォン操作が及ぼす VOR パフォーマンスへの影響, ヒューマン情報処理研究会 (HIP) (2019.10).

峯崎大志, 矢澤浩成, 戸田香, 山本雅也: VR を用いた道路横断タスクによる視覚的認知機能評価の試み, ヒューマンインフォメーション研究会 日本バーチャルリアリティ学会 VR 心理学研究会 (2019.11).

西尾正則, 大西正敏, 名和靖彦: LED で光る超小型衛星 (招待講演), 信学技報, vol. 119, no. 175, SAT2019-31, pp. 73-77, 名古屋 (2019.8).

西尾正則: キューブサット搭載用 LED 光通信システムの開発, 第 63 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 3M11, CD-ROM, 徳島 (2019.11).

宇野 新太郎: (依頼講演) 920MHz を用いた交差点安全支援システム, 電子情報通信学会センサネットワークとモバイルインテリジェンス研究会技術報告, vol. 119, no. 266, SeMI2019-92, pp. 113-117 (2019.11).

田川 和義, 井垣 友貴, 田中 弘美: 「指紋を有する指先の Stick-Slip シミュレーション」, 第 24 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 東京大学本郷キャンパス (2019.9).

田川 和義, 井垣 友貴, 田中 弘美: 「指紋を有する指先の Stick-Slip シミュレータの構築」, 2019 年電気学会 電子・情報・システム部門大会, 琉球大学 (2019.9).

広田 光一, 田川 和義, 小森 優, 櫻井 翔, 野嶋 琢也: 「計測に基づく手のリンクモデルの構築」, 電気学会研究会資料 知覚情報研究会, pp.27-30, 電気通信大学. (2019.3).

刺刀 光佑, 田川 和義, 田中 弘美, 広田 光一: 「指紋を有する柔軟指の Stick-Slip シミュレーションの実測に基づく評価」, 平成 30 年度 電子情報通信学会 東海支部 卒業研究発表会 予稿集, (2019.3), トヨタ産業技術記念館 (愛知県).

加古 将規, 田川 和義, 広田 光一, 田中 弘美: 「凹凸粒子を用いた DEM 法によるレオロジー物体の変形表現」, 平成 30 年度 電子情報通信学会 東海支部 卒業研究発表会 予稿集, (2019.3), トヨタ産業技術記念館 (愛知県).

小澤 弘希, 田川 和義, 広田 光一, 田中 弘美: 「実指先の Stick-Slip 現象の計測環境の構築」, 平成 30 年度 電子情報通信学会 東海支部 卒業研究発表会 予稿集, (2019.3), トヨタ産業技術記念館 (愛知県).

牧原 卓哉, 田川 和義, 田中 弘美, 来見 良誠, 小森 優: 「低価格可搬型 VR 低侵襲手術シミュレータの開発」, 平成 30 年度 電子情報通信学会 東海支部 卒業研究発表会 予稿集, (2019.3), トヨタ産業技術記念館 (愛知県).

高野 雅崇, 田川 和義, 広田 光一, 田中 弘美: 「粒子表現された仮想レオロジー体に対する円滑な力覚レンダリング法」, 平成 30 年度 電子情報通信学会 東海支部 卒業研究発表会 予稿集, (2019.3), トヨタ産業技術記念館 (愛知県).

来田 大平, 板宮 朋基: AR システムを用いた人工膝関節手術支援デバイスについて. 第 13 回日本 CAOS 研究会, 京都 (2019.3.7-8.).

板宮 朋基: AR/VR 災害疑似体験アプリの開発と防災教育への応用. 可視化情報学会 第 47 回可視化情報シンポジウム, 京都 (招待講演) (2019.7.26)

杉江 駿, 宮本 侑都, 小林 勇輝, 佐藤 邦男, 板宮 朋基: 流水装置と連動した薬傷事故体感 VR の開発. 第 24 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 東京 (2019.9.11-13).

板宮 朋基, 平川 俊貴, 新間 幹久, 近田 静也, 西部 連, 富田 祐規: バーチャル火点を現実空間の任意の場所に配置できる AR 消火訓練アプリの開発. 第 24 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 東京 (2019.9.11-13).

板宮 朋基: 医用 VR/AR アプリ開発手法の要点 ~ スタンドアロン型 HMD と新型スマートグラスの臨床応用に向けて ~. 第 29 回日本シミュレーション外科学会, 高松 (2019.11.23).

板宮 朋基: スマートグラスの手術支援における実用上の課題と今後の可能性. 第 23 回日本顎顔面インプラント学会学術集会, つくば (招待シンポジスト) (2019.11.30).

阿部 翔太, 山高 正烈, 坂本 修一, 鈴木 陽一, 行場 次朗: 音から生成した振動の時間・周波数特性は高次感性をどう変化させるか, エンタテインメントコンピューティング 2019 (EC2019), pp.172-178 (2019).

寺岡 諒, 坂本 修一, 山高 正烈, 鈴木 陽一, 塩入 諭: 正面方向以外における聴覚的注意の空間特性, 日本音響学会講演 2019 年秋大会論文集 (2019).

岡部 敏貴, トレビーニョ ホルヘ, 山高 正烈, 坂本 修一, 鈴木 陽一: 音空間再生システムの差異が再現される音空間の印象に与える影響, 日本音響学会講演 2019 年秋大会論文集 (2019).

山高 正烈, 渋谷 壮, 坂本 修一, 鈴木 陽一, 邑本 俊亮: 背景音の付加による避難喚起音声の印象変化, 電子情報通信学会技術研究報告 EA2019-5, Vol.119, No.115, pp.17-22 (2019).

加藤 央昌：工学システムと教育，応用科学技術学会公開技術講演会 招待講演 (2019.11) .

加藤 央昌：AI ミニ四駆を用いた工学教育の構想，計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 2019 (2019.11) .

服部 幸廣，甲村 一貴，巨藤 誠：大型車用ホイール・ボルトの締め付けトルクと軸力の関係に及ぼす潤滑状態の影響（二硫化モリブデン入り潤滑剤を用いた場合の特性），全国自動車短期大学協会 自動車整備技術に関する研究報告誌 第 48 号，pp.42-46 (2019.10).

湊 史仁，巨藤 誠，平野 博敏：ヘッドライト・シミュレーターの製作について（第 2 報），全国自動車短期大学協会 自動車整備技術に関する研究報告誌 第 48 号，pp.15-18 (2019.10).

森 唯人，中島 公平，吉田 昌央：強制対流下での切欠きフィン付き空冷シリンダの冷却特性（上下フィンの切欠き位置をオフセットした場合），日本設計工学会 東海支部平成 30 年度研究発表講演会講演論文集，pp.45-48 (2019.3).

阿多 萌，中嶋 靖，小田 蛸太，荒川 俊也：K 耐久レース成績向上と整備教育を目的としたシミュレータ構築，産業応用工学会全国大会 2019 講演論文集，pp.31-32 (2019.9).

米田 守重，小畑 修二，丹羽 雅昭，平田 信之，本橋 光也：磁気異方性を取り入れた Fe_3O_4 薄膜に対する反強磁性層間結合を用いた二相フェリ磁性モデルによる交換バイアスのシミュレーション (2019.3.22).

江口 朗子：小学生の英語の文構造に関する知識 - 模倣発話タスクと文法性判断課題の結果に基づく予備的検討 - 第 19 回小学校英語教育学会北海道大会 (2019.7.20).

R. W. Smith, R. Kobayashi : A Case against the Verb-stranding VP-Ellipsis Analysis in Japanese, The 43rd Penn Linguistic Conference (2019.3)

R. Kobayashi : Notes on Coordination, Copulas, and From-To Constructions, GLOW in Asia and SICOOG 21 (2019.8).

6 . その他（作品出展など）

一ノ瀬 玲皇，近藤 敏彰，柳下 崇，益田 秀樹：ポーラスアルミナにもとづいた極微同軸ナノケーブルアレイの形成と光学特性評価，日本化学会秋季事業 第 9 回 CSJ 化学フェスタ 2019，優秀ポスター発表賞 (2019.10) .

一ノ瀬 玲皇，黒沢 みずき，近藤 敏彰，柳下 崇，益田 秀樹：ポーラスアルミナにもとづいた低損失な同軸ナノケーブルの形成と光学特性，電気化学会第 86 回講演大会，電子材料部会優秀講演賞 (2019.3) .

荒川 俊也：「数学」の基本 学び直しセミナー，株式会社情報機構，技術セミナー (2019.11).

荒川 俊也：研究開発・技術開発で役立つ統計的“検定”手法のポイント，株式会社テックデザイン 技術セミナー (2019.10).

荒川 俊也：ドライバ状態モニタリング / センシング技術と統計処理・機械学習の活用，株式会社トリケップス 技術セミナー (2019.4 月・10 月) .

荒川 俊也：Excel を用いた基本統計解析，株式会社技術情報協会，技術セミナー (2019.8)

荒川 俊也：実務で使える統計解析手法と使い分けのポイント，株式会社テックデザイン，技術セミナー (2019.6).

荒川 俊也：多変量解析の基礎とデータ分析・予測への応用，株式会社日本テクノセンター 技術セミナー (2019.6).

荒川 俊也：生体測定の活用事例と長短所および測定・解析のポイント，株式会社テックデザイン 技術セミナー (2019.5).

荒川 俊也：機械学習の基礎知識と製造業における活用事例，株式会社 TH 企画セミナーセンター 技術セミナー (2019.5).

荒川 俊也：AI・機械学習の基本と製造業での応用および導入の手引，株式会社テックデザイン 技術セミナー (2019.2).

寺澤 武：自動車の運動理論と自動運転車の設計技術，株式会社テックデザイン 技術セミナー (2019.9)

永野佳孝，杉森順子：形状に合わせて簡単に画像補正ができるプロジェクションマッピング技術，プロジェクション先進技術研究会 2019 デモ展示 (2019.11).

溝尻 太一：柔と剛を併せ持つしなやかなモーションコントロール技術の開発，東三河産学官交流サロン 第 4 0 1 回定例会，(2019.11).

溝尻 太一：あいち STEM 講座（岡崎工業高校）(2019.12).

大西正敏：Motion Solve によるローバの運動解析，アルテアセミナー，アルテア本社 (2019.4) .

大西正敏：機械製図講習会監修・講師，日本設計工学会

東海支部主催講習会 ， (2019.6) .

大西正敏：幾何公差講習会監修・講師，日本設計工学会東海支部主催講習会 ， (2019.8) .

大西正敏：ものづくりと設計製図，日本設計工学会東海支部 50 周年記念・支部長講話，トヨタ産業技術記念館 (2019.6) .

大西正敏：あいち宇宙イベント講習会・講師，愛知総合工科高校 (2019.8) .

山本雅也，知の拠点あいち重点研究プロジェクト共同研究メンバー：AutoMotiveWorld2019 (至：東京ビックサイト) 愛知県ブースにおいて研究成果の展示 (2019.1) .

山本雅也，知の拠点あいち重点研究プロジェクト共同研究メンバー：知の拠点あいち重点研究プロジェクト (II 期) の公開セミナー内の次世代ロボット社会形成技術開発プロジェクト (プロジェクト R) において研究成果を報告 (2019.2) .

山本雅也，中部大学平田研究室：TECH Biz EXPO (至：吹上ホール) 研究成果の展示 (2019.2) .

山本雅也：岡崎工業高等学校 STEM 中間報告会・学習成果発表会における指導助言 (2019.2) .

山本雅也：ネクスト イノベーション テクノロジーフェア (至：吹上ホール) 研究成果の展示 (2019.3) .

山本雅也，愛 (eye) で知る心と脳：知の拠点あいち重点研究プロジェクトで開発したドライバ状態モニタ，平成 30 年度公開シンポジウム「目とこころ：眼球運動の神経機構と社会実装」(2019.3) .

山本雅也，知の拠点あいち重点研究プロジェクト共同研究メンバー：知の拠点あいち重点研究プロジェクト (II 期) の最終成果報告会において研究成果を報告，愛知県知事への研究報告 (2019.3) .

山本雅也：眼球運動を指標としたドライバ状態検知技術の実用化，ネクスト イノベーション テクノロジーフェア出展者プレゼンテーション (2019.3) .

峯崎大志 ,山本雅也: あいち ITS ワールド 2019 (至:ポートメッセなごや) ステージ企画「あいち発! 大学生 ITS 研究ライブ 2019」にて研究成果の発表 (2019.11) .

加藤 高明: 笠寺街屋へビデオマッピング「笠寺納涼夏祭り 2019」, 名古屋市笠寺観音商店街納涼夏祭り 名古屋市南区 (2019.8.8-9)

田川 和義: 触覚のバーチャルリアリティとその応用 遠隔多地点低侵襲 VR 手術シミュレータの開発, 幸田ものづくり研究センター事業 第 39 回サイエンスコミュニティ (2019.8).

田川 和義: VR (人工現実感)・ICT (情報通信技術) でかわる未来の社会, ラーニングフェスタ 2019 (2019.8).

田川 和義: 触覚のバーチャルリアリティとは (触覚のバーチャルリアリティの概要と医療応用について体験授業), 2019 年度 高大連携授業 (2019.7).

田川 和義: 五感 VR 提示技術の最前線, IoT 活用セミナー・愛知工科大学公開講座 (2019.1).

橋本 孝明, 長谷川 康和: 幸田町理科教室 (お絵かきロボットを作ろう!), 幸田町立図書館 (2019.7.28).

加野 章子: 第 52 回全国学生相談研究会議における会員懇話会世話人, 「学生相談活動における動向調査」企画、集計、懇話会における報告および GW 司会 (2019.1.13) .

加野 章子: 愛知県臨床心理士会「ネット依存」講演の企画運営 (2019.6.1) .

小林 直美: 北九州市男女共同参画センター「第 22 回ジェンダー問題調査・研究報告会」にて「SNS 時代におけるオリンピック報道～選手のダイバーシティはいかに表象されたか～」について報告 (2019.7.12) .

小林 直美: オリンピックニュースとジェンダー - 日本の報道傾向と問題 - 関西大学人権問題研究室公開シンポジウム「スポーツとジェンダー～『男らしさ』の競技場と性/別～」 (2019.11.29)

(趣 旨)

第 1 条 この規程は、愛知工科大学、(以下「本学」という。)が発行する紀要に関し、必要な事項を定める。

(目 的)

第 2 条 愛知工科大学及び愛知工科大学自動車短期大学(以下「本学」という。)における学術研究の進歩と発展に貢献し、その成果を内外に公表することを目的とする。

(名称種類)

第 3 条 紀要の名称は、「愛知工科大学紀要」(Journal of the Aichi University of Technology)(以下「紀要」という。)とする。

(委員会)

第 4 条 紀要に関する事項を審議するため、紀要編集委員会(以下「委員会」という。)を置く。
2. 委員会について必要な事項は、別に定める。

(発 行)

第 5 条 紀要は、原則として、毎年 3 月に発行するものとする。
2. 紀要の発行部数と送付先については、編集委員会が決定する。

(区 分)

第 6 条 紀要は、論文・研究ノート、翻訳・書評・資料等とする。

(投稿資格)

第 7 条 紀要に投稿できる者は、次の各号に掲げる者とする。
一 専任教員
二 名誉教授
三 非常勤教員
四 その他本学教授会で認められた者

(投 稿)

第 8 条 投稿する原稿は、委員会に提出するものとする。
2. 投稿された原稿は、委員会で審査し、その選択及び採否を決定する。
3. 研究論文については、前項の審査をするに当たり、学内外の学識経験者に査読を依頼するものとする。
4. 研究論文以外の投稿は、1 項の審査をするに当たり、編集委員以外の研究者の意見等を聴くことができる。
5. 執筆及び投稿手続きに関する事項は、本学の紀要投稿細則で定める

(著作権)

第 9 条 紀要に掲載された論文等の著作権は、本学及び執筆者が有する。

(公 開)

第 10 条 紀要に掲載された論文等は、電子的に保存し、原則として学内外に公開するものとする。

(改 正)

第 11 条 この規程の改廃は、編集委員会の議を経て、教授会が行う。

附 則 この規程は、平成 15 年 4 月 1 日から施行する。

附 則 この規程は、平成 19 年 4 月 1 日から施行する。

附 則 この規程は、平成 23 年 4 月 1 日から施行する。

I. 愛知工科大学紀要の体裁、A4 版、左開きとし、原則として横 2 段組みとする。

II. 投稿原稿

1. 投稿原稿は原則として未発表の論文・研究ノート翻訳・書評・資料等とする。ただし、既に発表したものでも、その旨明記し、また未発表の事項を含む場合は審査の対象となり得る。
2. 原稿の長さの上限は原則として刷上(L) 10 頁以内とする。
3. 投稿は 1 人につき 1 編を原則とする。ただし、共同研究者として主研究者以外に名前を連ねることは、その限りではない。

III. 投稿原稿の体裁

1. 原稿は、横書きとする。日本籍の場合、現代かな遣いで、ひらがなと当用漢字による口語体を原則とする。ただし、固有名詞および専門用語の表記についてはこの限りではない。
2. 数字はアラビア数字を用い、数量の単位は原則として国際単位系による。数字とアルファベットは 1 マスに 2 字を入れる。句読点、引用符、その他の記号はすべて 1 マスに 1 つずつ入れる。
3. 太文字(ゴシック体)は、赤の波形下線、イタリック体は赤の下線をつける。
4. 図は、コンピュータでプリントアウトするかトレースしたもの、また、写真はそのまま掲載できるようにしたものを用いる。表は原則としてコンピュータでプリントアウトしたものを用いる。これらの図、表、写真には必要に応じて縮尺または縦、横の寸法を入れるものとする。
5. 原稿の右、左、上、下欄外に図、表、写真を入れる位置を指定し、明示する。
6. 和文原稿の場合は欧文表題が必要。ただし、欧文原稿の場合には和文表題は不要である。氏名にはローマ字書き(任意の表記法による)を添える。
7. 引用文献、註等は原則として最後に一括し、順に番号をつけて列記する。本文中では引用箇所末尾あるいは註を入れるべき場所に 1)、2) 等の番号を記入する。引用文献の表記は原則として、編著者名、書名(または雑誌名、巻数)、発行年、発行所、ページの順とする。ただし、それぞれの学会等による表記を妨げないものとする。
8. 論文には英語のabstractをつけるものとする。
9. 愛知工科大学紀要執筆の栞を参考にして執筆するものとする。

投稿原稿の受付

1. 投稿原稿は、必要事項を記入した所定の申し込み用紙を添えて愛知工科大学紀要編集委員会(以下「編集委員会」という。)に提出すること。
2. 投稿原稿の締切日は、編集委員会が決めるものとする。
3. 投稿原稿受理年月日は、編集委員会が投稿原稿を受けた日とする。

Study on a Library Software Makes XML Data Processing Easy (Part 4)

— Based on XML Document Creation in Python, and Support for Attributes —

..... Shigeru Yoshida, Katsuya Amano, and Kohei Hirota 45

List of Publications during 2019.1 - 2019.12

愛知工科大学紀要 第17巻 令和2年3月25日

編集委員会

委員長 吉田 茂
委員 荒川俊也 磯貝正弘
小林直美 服部幸廣

(五十音順)

発行者

学校法人 電波学園 愛知工科大学
愛知工科大学自動車短期大学

〒443-0047
愛知県蒲郡市西迫町馬乗 50-2
TEL : 0533-68-1135
FAX : 0533-68-0352
URL : <https://www.aut.ac.jp/>

印刷 / 株式会社長尾印刷 / 〒438-0086 磐田市見付 1198 / TEL 0538-32-4702

**BULLETIN
OF
AICHI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

Vol.17, 2019

CONTENTS

Papers

- Hands-on Education of Classical Control using DC Motor Experimental Device Driven by SIMULNK
.....Mitsunobu Kajitani and Tomokazu Abe 1
- Three Hypotheses on the Generation Mechanisms of Ultrasonic Atomization and Comparative Analysis based on Canonical Theory
..... Hiroshi Matsuura, Keizou Mukoyama, Kazuo Koushima, and Kanemitsu Fukaya 7
- Recognition of Person's Movement at the Front of Speech Dialog System by a Kinect Sensor
..... Genki Hayakawa and Takatoshi Jitsuhiro 15

Note

- A New Method of Calculation of Probability Density Function for Random Variable in Mathematical StatisticsII
—Case of Size of Sample Large Enough—
..... Yoshinori Takahashi 23
- Optimization Problem for Introduction of Machine Learning
..... Toshiya Arakawa 39

(continued)

*Published by
Aichi University of Technology
50-2 Manori Nishahasama-cho Gamagori
Aichi 443-0047, JAPAN*