

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	正規言語の零壹則
Title(English)	Zero-One Law for Regular Languages
著者(和文)	新屋良磨
Author(English)	Ryoma Sin'ya
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10103号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:鹿島 亮,小島 定吉,南出 靖彦,渡辺 治,寺嶋 郁二,金沢 誠
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10103号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	数理・計算科学	専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（理学）
学生氏名： Student's Name	新屋 良磨		指導教員（主）： Academic Advisor(main)	首藤 一幸	
			指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	鹿島 亮	

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文「Zero-One Law for Regular Languages (正規言語の零壹則)」は 6 章立ての英語論文である。正規言語はある種の有限性で特徴づけられる言語（文字列の集合）であり、形式言語理論・計算理論のみならず有限モデル理論や有限半群論においても重要な研究対象となっている。本研究では言語に対する自然な測度を導入し、その測度において零測度となる正規言語のオートマトンの・代数的な必要十分条件を与えた。なるべく専門用語を使わない形で結果を述べると、任意の正規言語 L について：

- (1) L の測度が 0 になる
- (2) ある文字列 w が存在して L に属する全ての文字列が w を部分文字列として含まないの 2 つの条件が等価であることを示した。

本研究の背景および成果の概要は本論文の序文(PROLOGUE)により詳細に記述されている。以下、6 章からなる本文の内容を説明する。

第 1 章「Preliminaries」では、本論文で必要となる正規言語の基礎知識として、文字列・言語に対する演算や有限オートマトン・有限半群と正規言語の対応を説明する。

第 2 章「Zero-One Law for Regular Languages」では言語に対する測度を導入し、本論文の主成果となる定理：零壹定理を述べる（証明は第 4 章で行う）。本章で導入する測度は「長さ n の文字列集合からランダムに取ってきた文字列が与えられた言語に属する確率」の n に対する極限で定義される（有限加法的）測度である。また、第 2 章では正規言語の測度に関するいくつかの既存研究についても紹介を行う。

第 3 章「Closure Properties of ZO and Eilenberg's Lemma」では零壹定理の証明に必要な道具の準備を行う。具体的には零壹言語族(測度が 0 か 1 になる全ての言語の集合)が言語のブール演算と商に対して閉じていることを示し、ブール演算と商について閉じた正規言語の族に関する補題である Eilenberg の補題を零壹正規言語族(測度が 0 か 1 になる全ての正規言語の集合)に適用する。

第 4 章「Equivalence of ZO^{Reg} and Z^{Reg} 」では零壹定理の完全な証明を与える。まず零オートマトンと擬零オートマトンと呼ばれる特殊な形をしたオートマトンを定義する。任意の正規言語について「 L の最小オートマトンが零オートマトンとなる」ことと「 L の測度が 0 か 1 になる」の 2 条件の等価性を示すことが零壹定理の証明の主な流れである。証明において最も技巧的な部分は、測度が 0 か 1 になる正規言語の最小オートマトンが零オートマトンになることを示す部分であり、その証明の鍵となるのが第 3 章で用意した道具(零壹言語族の閉包性と Eilenberg の補題)である。

第 5 章「Algorithmic and Logical Aspects of ZO^{Reg} 」では主成果から得られるアルゴリズムや系について考察を行う。まず、第 4 章で与えたオートマトン的な特徴付けから、決定性オートマトンとして与えられた正規言語 L について、 L の測度が 0 か 1 になることがオートマトンの状態数に対して線形時間で判定可能なアルゴリズムを与える。さらに、有限モデル理論の分野において広く研究されている零壹則という論理の表現力に関する性質と本研究の関連を述べるために、有限グラフ上の一階述語理論に対する Fagin の定理を紹介する。また、正規言語と論理の関係について説明を行い、零壹定理の系として、存在量化のみを用いた一階述語論理式で定義可能な正規言語の測度が 0 か 1 になることを述べる。

第 6 章「Beyond Regular Languages」では、零壹定理の系として得られる、言語の非正規性(与えられた言語が非正規であること)の証明技法を提案する。具体例として 2 つの文脈自由言語：Dyck 言語(括弧の対応が取れた文字列の集合)と回文言語(回文の集合)がそれぞれ非正規であることが示せることを紹介する。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 数理・計算科学 専攻
Department of
学生氏名： 新屋 良磨
Student's Name

申請学位(専攻分野)： 博士 (理学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員(主)： 首藤 一幸
Academic Advisor(main)
指導教員(副)： 鹿島 亮
Academic Advisor(sub)

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This thesis “Zero-One Law for Regular Languages” is a paper format including six chapters. A regular language is a set of words that can be characterised by a certain finiteness property. The notion of regular languages is an important object, not only in formal language theory, but also in finite model theory and finite semigroup theory. In this thesis, we give an algebraic and automata theoretic characterisation of the class of measure zero regular languages, on a certain natural measure of a set of words. More specifically, we prove that the following two conditions are equivalent for any regular language L :

(1) L is of measure zero.

(2) There exists some word w such that, every word v in L , v does not contain w as a subword.

The motivation and background of this result are described in PROLOGUE of the thesis. The main contents of this thesis are organised as follows.

In Chapter 1, we give the necessary definitions and terminology of basic automata theory.

Chapter 2 provides a detailed exposition of a measure and the class of regular languages consists of measure zero or one languages, called zero-one language. The main result of the thesis – Zero- One Theorem – will be stated in this chapter.

Closure properties of the class of all zero-one languages is investigated in Chapter 3. Eilenberg’s lemma is also given in this chapter.

An automata theoretic proof of Zero-One Theorem is given in Chapter 4. In this chapter, we introduce two new class of automata: zero automata and quasi-zero automata. These classes of automata play a crucial role in the proof.

Chapter 5 describes a linear time algorithm for testing whether a given regular language is zero-one. Some logical aspects of the main results are also described in this chapter.

Zero-One Theorem gives us a simple necessary and sufficient condition for a regular language to be zero-one, however, it is not true beyond regular languages. Simple counterexamples, zero-one languages whose syntactic monoid have no zero element, are given in Chapter 6. In this chapter, a new technique for proving non-regularity of languages is established.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).