

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 9 月 18 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2010～2014

課題番号：22540146

研究課題名(和文) ゲーム木における固有分布一意性の破れ：計算資源限定マルチンゲールによる研究

研究課題名(英文) Game trees without a unique equilibrium distribution: A research by resource-bounded martingales

研究代表者

鈴木 登志雄 (Suzuki, Toshio)

首都大学東京・理工学研究科・准教授

研究者番号：30235973

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：(1)マルチンゲールとは樹形図上の確率のような概念である。ここでは資源限定マルチンゲールといって、制約付きアルゴリズムによって計算できるものを考える。資源限定マルチンゲールの基礎研究について隈部・鈴木チームの現時点における代表作といえる論文を発表した。

(2)ゲーム木はゲームの展開を表す樹形図である。ここでは、枝分かれが二つずつで、端点の値が二値であるものを考える。このようなゲーム木は論理式でもあり、端点の値の組は真理値割り当てである。真理値割り当て上の確率分布の中で、均衡点がただ一つとならない場合について理論をうち立てた。

研究成果の概要(英文)：(1) A martingale is a concept similar to probability attached to a tree. We investigate a resource-bounded martingale, where “resource-bounded” means that an algorithm with a certain constraint can compute it. On fundamental research of resource-bounded martingales, we published an academic paper. At the moment, this is the most important work among joint researches by Kumabe and Suzuki.

(2) A game tree is a tree diagram representing all possible moves of a given game. Here, we investigate a binary tree whose terminals are bi-valued. Such a tree is a Boolean formula, and a set of terminal values is a truth assignment. We have established a theory on the case where, among probability distribution on truth assignments, the equilibrium point is not unique.

研究分野：数学基礎論，計算理論

キーワード：数学基礎論 数理論理学 計算量理論 ゲーム理論 人工知能 命題論理 最適化問題 ミニマックス定理

1. 研究開始当初の背景

ゲーム木の葉に真理値の確率分布を与え、葉へのアクセス回数(計算コスト)をなるべく少なくして根の真理値を計算するアルゴリズムを考える。このとき、計算コスト期待値のミニマックス値を実現する確率分布を固有分布という。Liu-Tanaka(2007)はAND-OR木において固有分布の一意性を示した。ところがここで、アルゴリズムの形に少し制限を与えると固有分布の一意性が成り立たないことを鈴木は示した(2009)。

2. 研究の目的

鈴木2009年の考察を掘り下げ、ゲーム木における固有分布一意性の破れについて理論を構築する。とくに以下の論点を解明する。

- (1) 固有分布が無限個ある場合に、その性質を詳しく調べる(研究計画調書S-1-8のQ1)。
- (2) 固有分布一意性が成り立たないアルゴリズム族の性質を調べる(Q2, Q3)。
- (3) 真理値の確率分布について一定の条件を課して、固有分布の性質を調べる(Q4, Q5)。
- (4) 標準的な二分木以外の場合を調べる(Q6)。
- (5) 上記(1)から(4)の応用を探求する(Q7)。

3. 研究の方法

- (1) 計算資源限定マルチンゲールを活用する方法について、鈴木・隈部両名が協力して研究する。
- (2) 計算機シミュレーションを手がかりにする。
- (3) 計算論、数学基礎論(数理論理学)、ゲーム理論などの図書を収集し、関連する研究集会に出席して情報収集を行う。

4. 研究成果

本研究費を有効活用して以下の成果をあげた。部分的に、基盤研究(B)23340020ならびに所属大学の基本研究費から援助を受けている。

(1) 資源限定マルチンゲールの基礎研究：

鈴木・隈部のこれまでの成果[学会発表(17), 論文(11), (7)]を発展させて共同研究を進めたことにより、資源限定マルチンゲールから、資源限定フォーシング定理を導けることを示した。より具体的には、原始再帰関数に対

してランダムな無限ビット列は、任意の自然数 r についてDowdの意味で r ジェネリックであることを示した。2010年11月に論文を投稿した後、ニュージーランド、首都大学東京、九州大学、東京大学、東京工業大学で発表した[学会発表(14), (12), (10), (9), (7)]。速報版[論文(4)]が出た後も審査は長期化した。2015年1月ようやく本論文の掲載が決定し、研究期間最終月である同3月に電子ジャーナル版が公開された[論文(1)]。鈴木・隈部チームの、現時点における代表作である。

とくにニュージーランド出張[学会発表(14)]の渡航費・発表機材は、ともに本研究費による。

(2) 固有分布一意性と対称群の作用についての研究：

二分AND-OR木の各内部頂点に対して、直下にある部分木の互換に注目し、真理値割り当ての族、およびアルゴリズムの族がこれらの互換について閉じている場合を研究した。そこでノー・フリーランチ定理の一種を証明した[学会発表(18), (16), 論文(10), (9)]。この定理を手法として用い、相関分布の族において固有分布一意性が成り立たない場合についての理論を構築した。香港の国際研究集会で発表し、主催団体のIAENG(International Association of Engineers)から最優秀論文賞を受けた[学会発表(15), 論文(8), (6), (5)]。その後、国内の学会でも発表した[学会発表(13), (11)]。

香港出張[学会発表(15)]の発表機材は本研究費による。

(3) 派生的な応用研究：

アフィン圧縮の下で四辺形の等周比を考察し、考察の結果を道路区画図の不規則性に適用する可能性を論じた。ロンドンの国際研究集会で発表した[学会発表(8), 論文(3), (2)]。

ロンドン出張[学会発表(8)]の渡航費・発表機材は、ともに本研究費による。

(4) 今後の研究の基盤：

今後の研究の基盤となるプレプリントを執筆した。

1 独立分布について、確率(根が値0をとる確率)制約下で均衡点を特徴付けた。パリの国際研究集会におけるポスターセッションで発表し[学会発表(6)]、その後、国内の学会でも発表した[学会発表(5), (4), (3), (2), (1)]。

パリ出張 [学会発表(6)] の渡航費は本研究費による .

プレプリント arXiv:1401.8175[cs.AI]
<http://arxiv.org/abs/1401.8175>

2 文脈自由言語に関する Y a m a k a m i の未解決問題の一つを解決した .

プレプリント arXiv:1502.00367[cs.FL]
<http://arxiv.org/abs/1502.00367>

5 . 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 1 件)

(1) Masahiro Kumabe and Toshio Suzuki:
Resource-bounded martingales and computable Dowd-type generic sets. Information and Computation 掲載決定 (2015) [査読有り]
DOI 10.1016/j.ic.2015.03.004 速報版は(4)

(2) Toshio Suzuki and Yuji Hatakeyama :
Geometrical redundancy of street patterns based on threshold of isoperimetric ratio. IAENG Transactions on Engineering Sciences: Special Issue of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2013 and World Congress on Engineering 2013. pp.91-100 (2014) [査読有り]
DOI 10.1201/b16763-10 速報版は(3)

(3) Toshio Suzuki and Yuji Hatakeyama :
Threshold of isoperimetric ratio based on compressibility via invertible affine transformations. Proceedings of The World Congress on Engineering 2013, pp. 211-215 (2013) [査読有り].
http://www.iaeng.org/publication/WCE2013/WCE2013_pp211-215.pdf

(4) Toshio Suzuki:
Resource-bounded randomness and computable Dowd-type generic sets The Bulletin of Symbolic Logic 19 p.281 (2013) [査読有り]

(5) Toshio Suzuki:
Probability distributions on an AND-OR tree under directional algorithms. IAENG Transactions on Electrical Engineering 1. pp.70-83 (2013) [査読有り]

(6) Toshio Suzuki:
The eigen distribution of an AND-OR tree

under directional algorithms. IAENG International Journal of Applied Mathematics 42. pp. 122-128 (2012) [査読有り] 速報版は(8), 単行本収録バージョンは(5).
http://www.iaeng.org/IJAM/issues_v42/issue_2/IJAM_42_2_07.pdf

(7) Masahiro Kumabe, Toshio Suzuki:
Computable Dowd-type generic oracles. Proceedings of the 11th Asian Logic Conference, pp.128-146 (2011) [査読有り]
DOI 10.1142/9789814360548_0008 速報版は(11)

(8) Toshio Suzuki, Ryota Nakamura:
Probability distributions achieving the equilibrium of an AND-OR tree under directional algorithms. Proceedings of IMECS 2012. pp.194-199 (2012) [査読有り]
http://www.iaeng.org/publication/IMECS2012/IMECS2012_pp194-199.pdf

(9) Toshio Suzuki:
Failure of the uniqueness of eigen-distribution on random assignments for game trees. 京都大学数理解析研究所講究録 1729. pp. 111-116 (2011). [査読無し]
<http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/170545/1/1729-09.pdf>

(10) 中村亮太, 鈴木登志雄:
ランダム性をもったゲーム木を読み切るコストの期待値. 京都大学数理解析研究所講究録 1729. pp.95-110 (2011). [査読無し]
<http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/170546/1/1729-08.pdf>

(11) Masahiro Kumabe, Toshio Suzuki:
Computable Dowd-type generic oracles. Bulletin of Symbolic Logic 16. pp.295-296 (2010) [査読有り]

[学会発表] (計 1 8 件)

(1) 鈴木登志雄:
AND-OR 木の均衡点: 確率制約がある場合. RIMS 研究集会 証明論・計算論とその周辺, 2014 年 12 月 24 日, 京都大学数理解析研究所 (京都府・京都市)

(2) Toshio Suzuki:
Equilibrium points of an AND-OR tree: under constraints on probability. ELC Seminar, 2014 年 12 月 4 日, 東京工業大学田町キャンパス (東京都・港区) [招待有り]

(3) Toshio Suzuki:

Equilibrium points of an AND-OR tree: under constraints on probability.
Workshop on Mathematical Logic on the Occasion of Sakae Fuchino's 60th Birthday, 2014年11月17日, 神戸大学(兵庫県・神戸市) [招待有り]

(4) Toshio Suzuki:

Equilibrium points of an AND-OR tree: under constraints on probability.
日本数学会 2014 年度秋季総合分科会, 2014年9月27日, 広島大学(広島県・広島市)

(5) Toshio Suzuki:

Equilibrium points of an AND-OR tree: under constraints on probability.
日本応用数理学会 2014 年度年会 ポスターセッション, 2014年9月3日, 政策研究大学院大学(東京都・港区)

(6) Toshio Suzuki:

Equilibrium points of an AND-OR tree: under constraints on probability.
The 25th International Conference on Probabilistic, Combinatorial and Asymptotic Methods for the Analysis of Algorithms (AofA 2014) poster session, 2014年6月16日, パリ(フランス)

(7) Toshio Suzuki:

Resource-bounded forcing theorem and randomness.
Computability Theory and Foundations of Mathematics 2014 (CTFM 2014) 2014年2月17日, 東京工業大学 大岡山キャンパス(東京都・目黒区)

(8) Toshio Suzuki:

Threshold of isoperimetric ratio based on compressibility via invertible affine transformations.
World Congress on Engineering 2013 (WCE 2013), 2013年7月5日, ロンドン(イギリス)

(9) Toshio Suzuki:

Forcing complexity.
ELC Workshop on Randomness and Probability Through Computability (RPTC2013) 2013年5月14日, 東京大学本郷キャンパス(東京都, 文京区)

(10) 鈴木登志雄:

Resource-bounded randomness and computable Dowd-type generic sets.
日本数学会 2012 年度秋季総合分科会, 2012年9月20日, 九州大学 伊都キャンパス(福岡県・福岡市)

(11) 鈴木登志雄:

The eigen distribution of an AND-OR tree under directional algorithms.
日本数学会 2012 年度秋季総合分科会, 2012年9月20日, 九州大学 伊都キャンパス(福岡県・福岡市)

(12) Toshio Suzuki:

Resource-bounded martingales and Dowd-type generic oracles.
Workshop on Proof Theory and Theory of Computing 2011, 2011年9月12日, 首都大学東京国際交流会館(東京都, 八王子市)

(13) Toshio Suzuki:

Independent distributions on an AND-OR tree.
Workshop on Proof Theory and Theory of Computing 2011, 2011年9月13日, 首都大学東京国際交流会館(東京都, 八王子市).

(14) Toshio Suzuki:

Resource-bounded randomness and computable Dowd-type generic sets.
The 12th Asian Logic Conference (ALC12). 2011年12月17日, ウェリントン(ニュージーランド)

(15) Toshio Suzuki:

Probability distributions achieving the equilibrium of an AND-OR tree under directional algorithms.
The International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2012 (IMECS 2012). 2012年3月15日, 香港(中華人民共和国)

(16) Toshio Suzuki:

No-free-lunch theorem and uniqueness of eigen-distribution of a game tree.
Workshop on Proof Theory and Computability Theory. 2011年2月22日, Akiu Spa Hotel Iwanumaya(宮城県, 仙台市) [招待有り]

(17) Toshio Suzuki:

Computable Dowd-type generic oracles.
日本数学会 2010 年度秋季総合分科会, 2010年9月22日, 名古屋大学(愛知県・名古屋市)

(18) 中村亮太(鈴木登志雄と連名):
ランダム性をもったゲーム木を読み切るコストの期待値.
形式体系と証明論, 2010年9月15日, 京都大学数理解析研究所(京都府・京都市)

[図書](計1件)

鈴木 登志雄 (編集), 京都大学数理解析研究所『証明論と複雑性 数理解析研究所講究録 1832』, 2013年4月, 176ページ.

〔産業財産権〕
出願状況 (計 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

取得状況 (計 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
取得年月日 :
国内外の別 :

〔その他〕
ホームページ等

<http://researchmap.jp/read0021048/?lang=japanese>

<http://researchmap.jp/read0021048/?lang=english>

<http://www.ac.auone-net.jp/~bellp/researchtopic-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 登志雄 (SUZUKI, Toshio)
首都大学東京・理工学研究科・准教授
研究者番号 : 3 0 2 3 5 9 7 3

(2) 研究分担者

隈部 正博 (KUMABE, Masahiro)
放送大学・教養学部・教授
研究者番号 : 7 0 2 5 5 1 7 3

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :