

「ロボットは東大に入れるか 2014  
-東ロボくん, 代ゼミ模試に挑戦-」  
数学チームの結果について

岩根秀直

国立情報学研究所/(株)富士通研究所\*

HIDENAO IWANE

NATIONAL INSTITUTE OF INFORMATICS/FUJITSU LABORATORIES LTD

松崎拓也

国立情報学研究所†

TAKUYA MATSUZAKI

NATIONAL INSTITUTE OF INFORMATICS

深作亮也

東京理科大学‡

RYOYA FUKASAKU

TOKYO UNIVERSITY OF SCIENCE

井上秀太郎

東京理科大学§

SHUTARO INOUE

TOKYO UNIVERSITY OF SCIENCE

佐藤洋祐

東京理科大学¶

YOSUKE SATO

TOKYO UNIVERSITY OF SCIENCE

穴井宏和

(株)富士通研究所/九州大学/国立情報学研究所||

HIROKAZU ANAI

FUJITSU LABORATORIES LTD/KYUSHU UNIVERSITY/NATIONAL INSTITUTE OF INFORMATICS

新井紀子

国立情報学研究所\*\*

NORIKO H. ARAI

NATIONAL INSTITUTE OF INFORMATICS

---

\*iwane@jp.fujitsu.com

†takuya-matsuzaki@nii.ac.jp

‡1414704@ed.tus.ac.jp

§sinoue@rs.kagu.tus.ac.jp

¶ysato@rs.kagu.tus.ac.jp

||anai@jp.fujitsu.com

\*\*arai@nii.ac.jp

## 1 はじめに

人工頭脳プロジェクト『ロボットは東大に入れるか』(以下, 東ロボ)は, 国立情報学研究所の新井紀子教授を中心として, 2011年に発足した. 東ロボは, 2016年までに大学入試センター試験で高得点をマークすること, 2021年までに東京大学入試を突破することを目標としている. 数学チームでは数式処理技術, 特に限量記号消去法 (Quantifier Elimination: QE) と自然言語処理により, 入試問題の自動求解の実現を目指している.

これまでの研究成果をもとに, 昨年 [6] と同様に学校法人高宮学園 代々木ゼミナール (以下, 代ゼミ) の模擬試験に挑戦した. 本稿では, 数学チームの取り組みと, 代ゼミ模試の受験結果について報告する.

## 2 QE と数学入試問題

QE は限量記号がついた一階述語論理式を入力として, それと等価で限量記号のない論理式を出力するアルゴリズムである. 例えば,  $\exists x(x^2 + bx + c = 0)$  に対して QE を適用すると, それと等価で限量記号がついた変数  $x$  のない論理式  $b^2 - 4c \geq 0$  を得ることができる. 一階述語論理式は, 限量記号である  $\forall$  (全称記号),  $\exists$  (存在記号), 多項式の等式・不等式からなる原子論理式,  $\wedge$  (かつ)・ $\vee$  (または)・ $\neg$  (否定) などの論理演算子から成る. 入試問題を一階述語論理式に帰着することができれば, QE により解答が得られることになる. 数学入試問題では誤差のない計算を要求されるため数式処理を利用した解法は有効な方法だと考えられる. また, 入試問題は問題の規模が制限されており, 計算量の大きな数式処理手法にとって良い適用対象でもある.

現在は, 実閉体 (RCF) 上 QE のみを対象としており, 整数や指数関数などを扱う問題を解くことはできない. しかし, 入試問題のうち多くの問題が RCF-QE に帰着できることがわかっている. RCF 上の QE アルゴリズムと入試問題に対するアプローチの詳細は, [3] を参照されたい.

## 3 模擬試験対策

数学チームでは自動求解の最初の取り組みとして上記のように QE を用いた解法を目指している. 解答システムでは, 最初に自然言語処理の技術を用いて, 問題テキストを同等な形式表現に変換する. 次に得られた形式表現を QE ソルバーで実行するための形式である一階述語論理式を構築する. 最後に, QE により限量記号を消去し, 答案を作成する. 解答システムの詳細は [7, 5, 2] を参照されたい.

一般に, 自然言語処理により構築された一階述語論理式は, 冗長な条件を含んでいるなど, 人が構築するよりも変数の数や条件の数が大きくなることが多い. QE は計算量が大きいアルゴリズムであるため, そのままでは問題を解くことが出来ない. しかし, 数学入試問題および自然言語処理により構築される論理式は以下の特徴を持つ.

- 現在の数式処理技術で, 数学入試問題の多くは計算可能である
- 語間の等価性を確認するために等式制約が多い
- 最終的な解答は必ずシンプルである

したがって, 入力となる論理式は冗長になっているが, 本質的には解ける問題であり, 式の簡単化などにより計算量を抑えることができるはずである. そのため, 以下のような対応を行った [1, 4].

- 分配法則などを利用して, 式を部分問題に分割する.

- 部分式に、変数の数や多項式の数などを用いて、問題の解きやすさを表す評価値を設定し、整列する。
- 得られた部分問題に対して、すでに得られた結果を用いて簡単化を行う。

また、等式制約に対し強力な QE 手法の実装を行った [9].

## 4 模擬試験の結果

表 1 に今年度の受験の結果を掲載している。2014 列は今年度のシステムの点数, 2013 列は今年度のシステムで, SyNRAC つまり RCF-QE のソルバーのみを昨年度版で実行した場合の点数を表している。昨年度版との比較により, 本年度の改良の効果がみられる。しかし, 東大模試については, 文系 3 問、理系 5 問が RCF-QE に帰着出来たにもかかわらず, 計算量が大きくなる問題であったためにあまり点数が伸びなかった。

表 1: 東大プレとセンタープレ結果

問	内容	2014	2013	配点
理 [1], 文 [3]	三角形と最小化	12	12	20
理 [2], 文 [2]	確率	白紙	白紙	20
理 [3]	3 次方程式の共通解	14	14	20
理 [4]	立体、整数	計算量	計算量	20
理 [5]	空間での軌跡・体積	10	0	20
理 [6], 文 [4]	三角関数、整数	白紙	白紙	20
文 [1]	微分の応用、最小化	20	20	20
理系	合計	36	26	120
文系	合計	32	32	80
1A[1]	有理化・2 次関数	30	20	30
1A[2]	三角比・データ	8	6	30
1A[4]	図形の性質	2	2	20
1A[5]	整数	白紙	白紙	20
1A	合計	40	28	100
1IB[1]	三角、指数・対数	12	12	30
1IB[2]	微分法と積分法	23	20	30
1IB[3]	数列	2	2	20
1IB[4]	平面ベクトル	18	16	20
IIB	合計	55	50	100

## 5 まとめ

本年度の東ロボ数学チームの取り組みと、代ゼミ模試受験結果について紹介した。今後は、QE の計算量削減のための改良を継続する。また、適用範囲拡大のため、RCF-QE に帰着できる三角関数、指数・対数関数への対応を検討している。

## 参 考 文 献

- [1] Hidenao Iwane, Takuya Matsuzaki, Noriko H. Arai, and Hirokazu Anai. Automated natural language geometry math problem solving by real quantifier elimination. In *Proceedings of the 10th International Workshop on Automated Deduction in Geometry (ADG 2014)*, pp. 75–84, 2014.
- [2] Takuya Matsuzaki, Hidenao Iwane, Hirokazu Anai, and Noriko H. Arai. The most uncreative examinee: A first step toward wide coverage natural language math problem solving. In *Proceedings of the Twenty-Eighth AAAI Conference on Artificial Intelligence*, pp. 1098–1104, 2014.
- [3] 穴井宏和, 横山和弘. QE の計算アルゴリズムとその応用 – 数式処理による最適化. 東京大学出版会, August 2011.
- [4] 岩根秀直. Formula simplification for real quantifier elimination. 数理解析研究所講究録, Vol. 1927, pp. 77–88, December 2014.
- [5] 岩根秀直, 松崎拓也, 穴井宏和, 新井紀子. 数式処理による入試数学問題の解法と言語処理との接合における課題. 人工知能学会全国大会, 2013.
- [6] 岩根秀直, 松崎拓也, 穴井宏和, 新井紀子. 「東ロボくん, 代ゼミ模試に挑戦!」数学チームの結果について (数式処理とその周辺分野の研究). 数理解析研究所講究録, Vol. 1907, pp. 142–144, July 2014.
- [7] 松崎拓也, 岩根秀直, 穴井宏和, 新井紀子. 大学入試過去問による数学問題解答システムの評価と課題分析. 人工知能学会全国大会, 2014.
- [8] 松崎拓也, 岩根秀直, 穴井宏和, 相澤彰子, 新井紀子. 深い言語理解と数式処理の接合による入試数学問題解答システム. 人工知能学会全国大会, 2013.
- [9] 深作亮也. 包括的グレブナ基底系を利用した限量子消去. 数理解析研究所講究録, Vol. 1927, pp. 1–9, December 2014.