



## サーバ構築によるエキスパート棋譜の収集とコンピュータ Hex の開発

北海道大学大学院 情報科学研究科  
准教授 飯塚 博幸

本研究では、John Nash の開発したボードゲームである Hex に関し、コンピュータ Hex の対戦用サーバの構築を行い、ユーザの強さに合わせた自動対戦相手の提供と、エキスパートとの対戦記録を利用して世界大会で優勝するゲームプログラムを作成することを目的とした。対戦用サーバはより多くの人に気軽にプレイしてもらうために、携帯端末でアクセスできることとし、人の対戦履歴の管理と順位付け、を行うことで、人にゲームの娯楽を提供するとともに、人のエキスパート棋譜を利用し、プログラムの改善を行った。

初めに、棋譜を収集するためのコンピュータ Hex の対戦用サーバの構築を行い、アンドロイド端末で利用できる Hex アプリケーションの開発を行った。開発した Hex アプリケーションは eHex と呼ばれ、2016 年 4 月現在でもアンドロイドアプリケーションとして Google Play で公開中であり、開発したアルゴリズムである Ezo とユーザが対戦することが可能である（公開サイト：<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.hexapplication.myapp>）。公開しているサイトとアプリケーション動作時の様子を図 1、図 2 に示す。アプリケーション上でのボードサイズは  $7 \times 7$ 、 $9 \times 9$  と  $11 \times 11$  の 3 種類から選択可能とした。

初級者から上級者まで飽きずに満足度の高い対局を可能にし、様々なレベルでの質の高い棋譜を収集するため、探索時間を考慮したうえで開発したプログラムである Ezo の手加減手法を決定した。本研究では、成長過程における着手傾向の変化等を分析するため、コンピュータの強さが一定になる探索量の削減による手加減手法を採用した。探索量は、先読みをする手数(探索の深さ)と、ゲーム木での子ノードの作成数(探索の幅)を制限することで決定する。ゲーム木探索では深さを 1 増やすと、局面評価に必要な局面数が指数関数的に増加するため、探索時間も指数関数的に増加する。eHex では、Nexus5 Snapdragon800 MSM8974 2.26GHz の環境上で、1 局面の評価に約 0.1 秒かかる。ユーザを飽きさせないためには、長くて 1 手に 10 秒以内程度で返すのが望ましいため、最大でも評価可能な局面数は約 100 局面程度である。これを踏まえて、コンピュータの探索量の制限による手加減方法を決定した。コンピュータのレベル 3 種

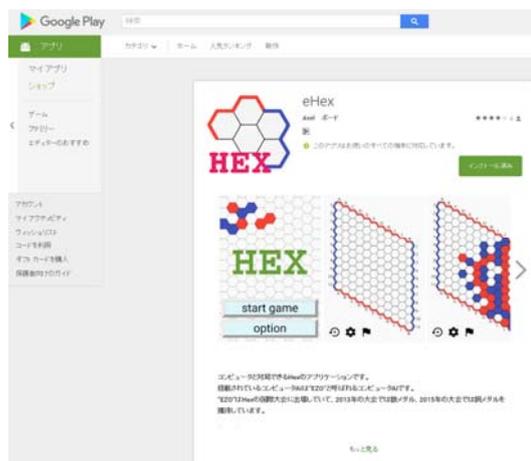


図 1 GooglePlay での eHex ダウンロードサイト

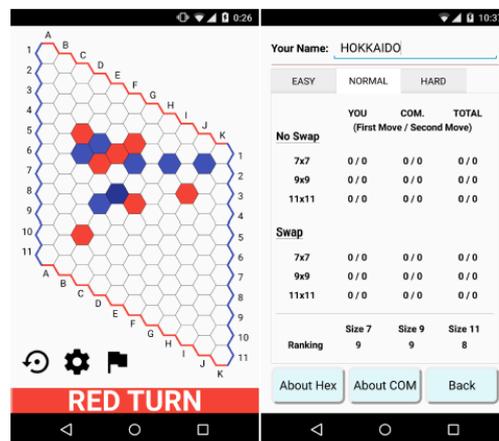


図 2 Hex アプリケーション-eHex 動作時の携帯電話スクリーンショット

類(Easy、Normal と Hard) は、Easy では探索の深さ 1 で探索の幅は 15 局面、Normal では探索の深さ 1 で探索の幅は 30 局面、Hard では探索の深さ 2 の探索の幅は 15 局面とした。今回開発したアルゴリズムでは、30 ノード程度を探索すると多くの有望な手を評価可能であることが明らかになったので、Easy、Normal は探索の幅でレベルの加減を行った。また、探索の深さを深くすることでコンピュータの棋力が大きく向上することが知ら

れており、Hard のみ探索の深さを増やすことで、上級者にも満足のいく対局を提供する。先に述べた Nexus5 の環境上で 1 手にかかる時間は、Easy が約 1.2 秒、Normal が約 2.9 秒、Hard が約 7.2 秒である。指数関数的に探索時間が増加する場合、Hard では、一手 10 秒を超えてしまう恐れがあるが、効果的に枝刈りが行われているため、10 秒以内に探索を終了することが可能であった。

この開発された eHex は、GooglePlay において公開され、研究者の口コミによって広まり、2016 年 4 月 20 日現在で、アプリケーションの総ダウンロード数は 216 回である。また、ダウンロードしたアプリケーション上でのユーザとの対戦によって収集された棋譜の数は 4206 も集めることに成功した。対戦によって得られた Elo Ratings によってユーザはランキング管理されている。この数は今後も増えていく。

eHex にも搭載されている Hex のコンピュータプログラム (Ezo と名付けた) の開発・改善も同時に行った。開発した Ezo プログラムの特徴は、Hex の局面をネットワークとして扱うことである。Hex の任意の局面は、セルをノード、セル間の隣接関係をリンクとすることでネットワークで表現可能である。局面をネットワークとして捉えることで、ネットワーク特徴量による局面特徴の定量化や、多数の観点からの局面分析が可能となる。Ezo は、反復深化深さ優先探索によるゲーム木探索を行い、ネットワーク特徴量を用いた局面評価関数による局面評価を行う。このネットワーク特徴量を使う方法が我々の方法の特色である。

Hex の勝利条件は、辺と辺を白色の石で繋げることであるため、局面ネットワークにおいて辺と辺のつながりやすさを定量化することで局面を評価した。辺と辺間や各セル間に多様な経路が存在するほど戦略の幅が生まれ、辺と辺を繋げやすくなるため、経路の多様性を評価することで、辺と辺のつながりやすさを評価することが可能である。Ezo では、つながりやすさを定量化するために、ネットワーク特徴量である媒介中心性を用いた。この媒介中心性を利用して局面の大域的評価と局所的評価を独立に行い、2つの評価を組み合わせる。媒介中心性は、あるノードが他の経路に関与する度合いを定量化する指標であり、局面内に媒介中心性が大きいノードが多いほど経路に多様性があるとはいえず、媒介中心性の高いノードがない局面ほど経路に多様性があるといえる。ネットワーク特徴量を用いた黒プレイヤーの局面評価関数  $E_v$  は下記で定義される。

$$E_v = (1 - \alpha) \frac{C_W}{C_B} + \alpha \frac{C'_W}{C'_B}$$

C は各プレイヤー (W or B) の局面ネットワークの平均媒介中心性である。C' は勝利条件の端点間の最短経路のみで構成される最短経路ネットワーク内での媒介中心性の最大値である。α は任意定数であり、α の値によって大域的評価と局所的評価の評価比率が変化する。eHex に搭載している Ezo は、実験から得られた  $\alpha = 0.1$  を用いた。ゲームプログラムでは、人間により考え付くヒューリスティクスをできるだけ多く導入する機会が多いが、本研究では基本的にアルゴリズムの中心にこの単純な評価関数を用いており、それでもそれなりに強いプログラムになっている。これ以外には枝刈りの方法としてボナンザメソッド利用も行った。

コンピュータプログラム Ezo のアルゴリズムは、より強いものにするために日々改良されている。現時点での最終的なコンピュータプログラムの強さを、公開されている実績のあるコンピュータプログラム MoHex、Wolve と対戦することで評価を行った。結果を表 1 に示す。Ezo の勝率が、先手と後手ともに既存手法に比べて高いことがわかる。開発アルゴリズムによって有望な手を探索することが可能となっている。

	Win % vs. MoHex
EZO-6ply	58.3 ± 1.8 (63.1/53.6)
Wolve-6ply	54.7 ± 1.9 (61.4/48.1)
MoHex	49.6 ± 1.9 (57.5/41.7)

表 1 ダウンロード版が公開されている過去の MoHex と Wolve との対戦成績

助成期間中に開発していたアルゴリズムを用いて 2015 年 7 月にオランダで開催されたコンピュータオリンピックに出場した。コンピュータオリンピックは 1989 年に始まった様々なゲーム上でプログラマーが開発したコンピュータプログラムを競わせる大会である。今大会では助成開始後数か月という短期間であり、開発段階のプログラムを用いての参加となった。結果は残念ながら 3 チームの中で最下位となった。原因としては、前回の 2013 年の大会で優勝したカナダのアルバータ大学の MoHex が強すぎて参加者が減り、かつ、その優勝チームのメンバーだった研究者達が分裂して、MoHex をベースに 2 つチームで参加したことである。2013 年にも我々のグループは MoHex と対戦しているが、開発者の Hayward 教授には、前回より断然プログラムが改善されているとの評価を得ている。結果としては本意なものであったが、プログラムが確実に改善されていることが明らかとなった。今後も、世界大会で優勝するためにアルゴリズムの改善を行っていく。