

将棋の PV-MCTS に向けた深層学習モデルの最適化

芝 世式^{†1}

概要: AlphaZero の名声により深層学習モデルを用いた PV-MCTS による将棋プログラムは従来の $\alpha\beta$ 型のプログラムと同等に戦える可能性が示された。しかしながら、短時間の学習時間という点に注目されているがその作成プロセスやモデル・アルゴリズム等の選定過程はあまり明らかにされていない。本研究では将棋の PV-MCTS に適した深層学習モデルとはどのようなものが望ましいのか、またどうすれば効率的に強化できるのかについて検討を行った。2020 年度第一回竜竜戦にて活躍した二番絞りプレミアムに関する成果報告である。

キーワード: コンピュータ将棋, 強化学習, 深層学習

Optimization of deep learning model for PV-MCTS in Shogi

SEIJI SHIBA^{†1}

Abstract: Due to the fame of AlphaZero, it was shown that the Shogi program by PV-MCTS with deep learning model can compete with the conventional $\alpha\beta$ search program. However, although attention is paid to the short learning time in AlphaZero, the creation process and selection process of the deep learning model and algorithm have not been clarified very much. In this study, we investigated what kind of deep learning model is suitable for Shogi PV-MCTS, and how to learn efficiently. This is a report on the results of the nibanshibori premium in the first Denryusen in 2020.

Keywords: Computer Shogi, Reinforcement Learning, Deep Learning

1. はじめに

ゲームアルゴリズムや探索問題の研究題材としてチェスや囲碁、将棋などの題材が長年取り組まれてきたが、近年は人間の最上位者を上回る実力を身につけてきたことが明らかになっている。とりわけ AlphaZero^[1]の知名度により深層学習モデルを用いた PV-MCTS モデルが多くのゲームに対応できるとの汎用性が示されている。しかしながら、当プロセスの成功にはモンテカルロ木探索^[2]と深層学習と強化学習といった3つの要素が含まれるにも関わらず強化学習プロセスにのみ主眼が置かれており、深層学習モデルの作成プロセスやモデル・アルゴリズム等の選定過程は明らかにされていない。探索過程に用いたパラメータなども査読過程で変更になったなど不可思議な点がみられる。また、多くの研究者からもチェスや将棋に関しては対局条件や終局条件に疑問の声も聞こえている。

そこで、本研究では PV-MCTS モデルの将棋への適用に関して注目し0からの強化学習という部分を除外し、深層学習モデルの選定や強くなるために必要な条件設定などについて調査する。

2. 深層学習モデルの基本形

AlphaZero においては囲碁での成功を修めた ResNet 型^[3]の深層学習モデルが有効とされているが、本モデルの是非

や他のモデルでの検討に関しては行われていない。本研究や dlshogi^[4]製作者の山岡などは基本的なモデル形状を複数テストすることで ResNet の有効性を確認した。

当初山岡のモデルは手番側の駒情報を 14 層、持ち駒情報を 38 層、相手番も同様に 14 層、38 層とした入力特徴量を用いた。^[5]我々は持ち駒情報を大幅に簡略化し 4 枚目以降の持ち歩を省略したモデルを用いた。出力層は動かす駒の種類と位置に加え移動方向とし、これらの掛け合わせた分の指し手確率の期待値となる。

詳細を省くが ResNet と同等の計算パラメータを有する全結合モデル (以下 FC) および残差モデルを含まない畳み込みニューラルネットワークモデル (以下 CNN) を生成し、ほぼ同等の教師データで同程度の学習を試みた。

山岡は CNN モデルにてテストデータとの指し手一致率が 25%程度となることを blog で報告しているが、同時期に我々は学習時間を増すことにより 35%程度まで向上することを確認し同様に blog にて報告した。^[6]しかしながら、同条件の FC モデルはほぼ 20%台前半に留まり例外的な値を含めても 30%を超えることが無く CNN モデルの優位性は明白なものとなった。

ResNet モデルを導入後は軽く 40%に達したため以後 ResNet モデルを用いる。

3. 強化学習の落とし穴と入力特徴

AlphaZero の将棋モデルの追実験としては AobaZero プロジェクト^[7]が知られている。AobaZero プロジェクトでは囲

^{†1} 岡山県立大学 情報工学部
Okayama Prefectural University
shiba@cse.oka-pu.ac.jp

碁の Leela Zero^[8]やチェスの LCZero^[9]に準ずる形で多くの協力者に計算機リソースを借りる形で運営されている。また、ニューラルネットワークの形状は AlphaZero に合わせて設計されており、同様に自己対戦のみによる0からの強化学習プロジェクトとなっている。同プロジェクトを応援する立場ではあるが本プロジェクトの側面から強化学習の落とし穴と入力特徴量を説明する題材としたい。

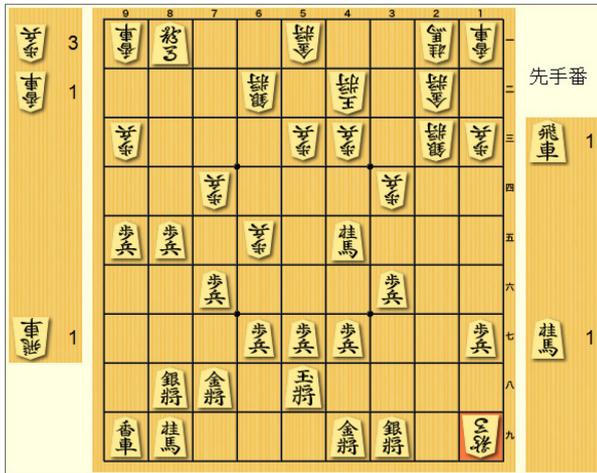


図1 1九角成りの局面（先手 AobaZero 後手二番紋り）

図1はblogでも取り上げた場面である。^[10]後手番の二番紋りが1九角成と香車を取ったところであるが、この次の手で AobaZero が9一馬と香車を取る。当然であるが後手の馬の利きに馬を移動させるために香車を取って馬を取られると言う失態である。2020年7月当時は学習モデル w1554 で今後の強化学習で補われるとの予想もあったが、2021年2月現在最新の w3179 においても同様の手を指すことを確認している。

本件の不具合は大きく二つ挙げられる。一つは1九の馬が9一に利いていることを理解していない点、もう一つはそのことを強化学習で学習できていない点である。

後者の強化学習の不備から説明する。AlphaZero および AobaZero は自己対戦棋譜のみにより強化学習を行う。そのために本件のような局面が現れた場合でも馬は取られずに対局が続けられる。つまり互いの馬の利きが届かないルール内で互いに強化学習が進められている。馬は角が成る駒でありそれが対角にもっとも遠くまで動かす行為は発生頻度が非常に低いために学習する機会を逸したままになっている。加えて強化学習中でも自己対戦ではそれを咎められることなく進んでいると考えられる。

類似の事案として2019年夏に二手目8四歩の話題がある。^[11]AobaZero は多く二手目3四歩を指しており、自己対戦においてやや先手勝率が高い一般的な勝率を誇っていた。しかしながら、強制的に二手目8四歩の場面を作成してやると自己対戦において後手勝率が7割ほどになることが確認された。これは後手が強くなったのではなく先手側を持

った際に二手目8四歩の局面およびそこから派生する戦型を学習していないために起こった現象である。後手は飛車先を突くような局面は先手として学習した蓄積が利用できるため比較的酷い手を指さずに対応できているように思えた。

本件のような不具合を避けるために dlshogi や他の囲碁プロジェクトなどでは強化学習に自己対局のみならず第三者的役割を加えることが実践されている。学習頻度は低いと思われるがこういった学習抜けの対策としては有効と思われる。

そして、前者の問題である。そもそも、馬の利きを強化学習の過程で身につけることは非常に困難であることが分かった。同様の現象は前述の CNN モデル等でも確認されており同形状モデルに共通の問題と言える。そこで強化学習に依らず各駒の利きをそもそも入力特徴に加えておくのは有効と考えた。AlphaZero の追実験ではなくなるが駒の利きを入力特徴に入れておく駒の利きを学習する必要がないのみならず、敵駒の配置と重ねるだけで質駒を算出するのが容易になると考えられる。実際 dlshogi において利きを特徴量に加えた後劇的な強化となっている。簡単にコメントするに控えるが非常に浅い ResNet においても前述の馬のような失態は起こさないことを確認している。

本件と同様な事象が囲碁においても起こっていることが確認されている。シチョウである。

純粋に AlphaZero 型の深層学習モデルを用いたコンピュータ囲碁ソフトはシチョウが欠点となることが多く指摘されており、ニューラルネットワークモデルへの入力特徴量としてシチョウになる可能性の有無を事前に計算して与えることでこれを回避できることが知られている。

故に将棋においても強いものを作るのが目的であれば入力特徴量として駒の利きを与えることが望ましいと言える。

4. dlshogi

既に前述しているがこれらの改良を加えたソフトが開発されており dlshogi である。現在の dlshogi では前述の駒の各利きに加えてその総和も特徴量として加えられている。この特徴量は古典的なコンピュータ将棋ソフトの評価関数でも使われており、局面の争点での勝ち負けとして入門者向けに説明される際にも用いられる。

深層学習モデルは onnx モデル^[12]を用いるため入力特徴量および出力特徴量が一致したモデルであれば比較的簡単にモデル形状を変更することが出来、以後の実験においては非常に有用であった。

また、dlshogi においては AlphaZero と異なり学習時の損失項の計算に工夫が施されている。AlphaZero の勝敗項では二乗誤差が用いられていたが dlshogi ではシグモイド交差エントロピーが採用されておりこちらの方が学習がスムーズに進むことを確認した。また、同項に期待勝率をブー

トストラップとして加味されているが、コンピュータ将棋における学習では elmo 式と表現されることもある著名なモデルである。また、オリジナルモデルでは学習時に Stochastic Weight Averaging (SWA) を用いているが我々は計算時間の増加に比して有効性が小さい上に学習の途中過程を評価することを難しくしているために削除している。また、Automatic Mixed Precision (AMP) と言われる深層学習モデルのうち高精度を要求されない部分において半精度浮動小数点などを用いて全体として高速化する手法を導入し学習プロセスをほぼ倍速化した。これは現在本家に取り入れられている。

5. 二番絞り

二番絞りは電竜戦^[13]と共に生まれた。電竜戦は 2020 年の世界コンピュータ将棋選手権が中止となって同日オンライン大会^[14]が開催されたのをきっかけに、オンラインなら手軽に主催できるのではないかと気軽に始まった。ドワンゴ社主催の電王トーナメントが開催されていた時期は春に選手権、秋に電王トーナメントと年二回のイベントペースであったのだがこれを踏襲した形で秋にオンラインの電竜戦を開催するべく 2020 年オンライン大会終了直後から準備された。その後 6,7,9,10 月の 4 回の予行を経て 11 月の本大会へと繋がった。

二番絞りは第一回予行演習においてテストプログラムの一つとして生まれた。5 月の選手権に向けて準備された強化学習モデルの副産物である数十億局面の教師データを dlshogi に学習させるのが基本コンセプトで絞りカスを絞る行為をなぞって二番絞りと呼称された。学習手続きに対する理解も浅く全くと言っていいほど学習が進んでいなかったため、3 勝 5 敗 1 分で 18 チーム中 16 位という出来であった。

第二回予行演習には一月ほどの学習期間があったため上記教師データを十分に学習することができた。将棋の深層学習モデルで最も成功したものが AobaZero であることから ResNet の 20 ブロックを採用した。これは 5 ブロック、10 ブロック、20 ブロック、30 ブロック、40 ブロックとテストをして最も強かったものを選定した結果である。将棋のモデルでは理想的なサイズがこの辺りであるとの時点では断定した。その後予行では 22 チーム中 10 位という好成績を修めることができた。本予行では AobaZero がオンライン大会優勝の水匠に勝ち、また 21 回戦まで不具合なく戦い抜いたことが注目された。一方、二番絞りは水匠に対して千日手の引き分けをもぎ取っている。

第三回予行演習までにはまた一月近くあったこと、加えて NVIDIA の V100 が 4 枚搭載されたマシンを借りられたことから追加の強化学習実験ができた。追加したものはネットで公開されている AobaZero の教師データである。

選手権用に我々が用意した教師データはそれ以前の選

手権で用いたエンジンの深さ 12 程度の探索局面データであるためこの指し手はそれほど強いものではないが、AobaZero の教師データは floodgate にてレート 3000 程度の探索と同程度の教師データである。前述の不具合などが気になるが実験的に導入したものである。この時点での目論見は AobaZero と同レベルの深層学習モデルができれば、探索エンジンの実行速度は dlshogi の方がやや速いので勝ち目があるかどうかといったところであった。

本実験では 3 つのモデルを作成した。全く初期状態から AobaZero 教師データを 1474 万棋譜全て学習させたもの、前述の第二回予行のモデルに AobaZero 教師データを 1474 万棋譜全て学習させたもの、前述の第二回予行のモデルに AobaZero 教師データを 1000 万番から 1474 万番棋譜まで学習させたものと 3 つ制作したが、最も累積教師データの多い二番目のモデルが対戦時に一番強かったのでこれを採用した。予行では不戦不具合が続いたために好成績は残すことができなかったが、floodgate に接続することでレート 3900 程度を記録することができた。一部のコンピュータ将棋関係者からは感嘆の声を頂いたと共に手ごたえを感じた。

第四回予行演習にはまた十分な期間があったため追加の学習を考えることになった。しかしながら、手持ちの教師データは使い尽くしたためにこの段階で強化学習へとシフトすることになった。前述のモデルで自己対局を行い、局面データを作成した。予行 1 週間前に教師データ生成を止め学習プロセスへと移行した。生成できた学習局面は 1 億局面程度である。第四回予行演習では A 級リーグと B 級リーグを独立で行う運営のテストであったため B 級入りを志願し結果 B 級 7 位となった。当然強豪ぞろいの本戦で A 級入りは不可能との見込みである。

最後に電竜戦本戦に向けた準備として上記強化学習をもう一段階行った。準備できた教師データの局面数は 1 億 2 千万局面である。第四回予行時にも同様のテストをしていたのだが教師データを 1 エポック学習したものと 2 エポック学習したものを比較していた。前回予行時は 1 エポックを採用したが本戦では対戦結果から 2 エポックのものを採用した。この行為は単に 2 択の紅白戦である。

この段階において学習時に不思議な現象が起きていることを確認している。指し手の一致率が 7 割近くになっているのである。生成した教師データが偏っているか不足しているのに 2 エポック回したためかと思われたが対戦して勝った方を本戦に投入することにした。基本的に極度な過学習との認識であった。

結果電竜戦初日に予選 3 位となり本戦 A 級入りとなった。とりわけ、予選の最終戦においては V100 の 4 枚を用いる二番絞りに対して A100 の 8 枚を用いる dlshogi 本家との対戦となり、同エンジンで 4 倍～8 倍のマシンパワー差から敗北を覚悟していたのであるが中盤から逆転して勝利を修めることになった。本予選ベストバウトと言って良い。完

全に予想外の出来である。

また、1位と2位は Threadripper 3990X を擁するやねうら王エンジンであるため本プロジェクトのような PV-MCTS 型のエンジンとしては最高の成績となった。4位には同様に dlshogi エンジンに AobaZero 教師データを用いた GCT が入った。事後確認したところ二番絞りからヒントを得て AobaZero 教師を流用したようであり姉妹プロジェクトのような関係と言って良いだろう。ただし、GCT および dlshogi は 10 ブロックのモデルを使用しており A100 が 8 枚搭載されたマシンを使用しているために恐らく桁違いの探索局面数を評価していると思われる。

本戦決勝においては我々の準備不足が祟り停電のためノート PC で参戦し全敗、最下位となった。本戦優勝が前述の GCT であるため本プロジェクトが果たした役割は大きかったと言って過言ではない。

6. 追実験

二番絞りプロジェクトの要点を再確認するために様々なモデルの学習をテストした。十分な計測が終わっていないために一例に留めておくが、以下の学習モデルが最も短期間の学習で電竜戦モデルを上回った。

15 ブロック、全くの初期から 1474 万局面の AobaZero 教師データの学習、その後電竜戦モデルによる教師データ 1 億局面程度の学習。これも同様に指し手の一致率が 7 割近い値を示した。想像の域を抜けないが多くの局面を学習した後に特定戦型に特化した過学習気味のモデルが結果的に勝率が高いものと推察される。

dlshogi および GCT と同じエンジンを用いた場合、シングル GPU で短時間の対局では二番絞りの方が優位に弱いことが確認されているが、電竜戦本戦のように 4GPU で対局が 1 時間程度の場合は二番絞りが優位に勝利することを確認した。このような探索計算量によって強弱が入れ替わるような類似の現象は囲碁でも見られており、KataGo の公式配布バイナリにおいてもハイエンドの GPU を持っている人だけに最高精度の深層学習モデルが進められており、それ以下の GPU のユーザにはブロック数の小さな深層学習モデルが推奨されている。

探索局面数が劣っても十分な探索深さと局面評価が可能であることを表す資料として補足資料を示す。本データは仮にスレッド数 1 バッチサイズ 1 とした場合に初期局面を評価する際に探索される局面を羅列したものである。二番絞りは初期局面の後、2 六歩と 7 六歩の局面を評価し更に一手進んだ局面へと移行する。20 局面以内に角換わりと戦型が確定される局面まで早くも探索が進む。比較して GCT のモデルの場合は二手目の合法手が 30 手ともに全て展開されたのちに三手目を展開される順となり、二番絞りのように早い段階で先の局面が評価されることはなかった。このように極端な例を示すケースが全てではないがブロック

数の多いモデルの方が局面の評価精度とりわけ方策について有用であることが分かる。また、示した例は並列処理しない場合であったが、これを並列処理するには尚効率的な枝展開に差異が生じることは想像に難くない。膨大な探索数の状況を的確に可視化することが可能であればより理解が進むとして可視化法を現在考案中である。

7. おわりに

将棋の PV-MCTS 型エンジン開発において深層学習モデルが最適な形状やどのように強化できるかについて検討をおこなった。

著名な AlphaZero 型の入力特徴より駒の利きを加えたモデルが強くなることが確認された。

現時点では 15 ブロックもしくは 20 ブロック程度の ResNet 型が将棋には適していると言える。計算機の能力次第ではさらに大きい深層学習モデルが強くなる可能性がある。

大量の局面を学習することと特定戦型を深く学習することの両方が強くなるために必要と考えている。

8. NNUE (補足)

将棋の世界では NNUE と言われる隠れ層 3 層の深層学習の範疇に入るか入らないか程度のニューラルネットワークを用いた評価関数を導入することで $\alpha\beta$ 型の探索エンジンが 2018 年頃に劇的に強くなっている。AlphaZero ではこのタイプのエンジンと対戦しておらず強弱が議論できていない。電竜戦では PV-MCTS 型が優勝したが、決勝では 10 チーム中 7 チームが NNUE を導入した $\alpha\beta$ 型のエンジンであった。そのため現時点での実力も両タイプのエンジンが上位で均衡していると考えている。

チェスの世界では 2020 年になって NNUE モデルが導入され劇的に強化された。最強の座を一瞬は PV-MCTS 型のモデルに譲ったチェス界でも現在は Stockfish NNUE が首位を修めている。

参考文献

- [1] David Silver et al. “Mastering Chess and Shogi by Self-Play with a General Reinforcement Learning Algorithm”, <https://arxiv.org/abs/1712.01815>
- [2] Rémi Coulom. “Efficient selectivity and backup operators in monte-carlo tree search”. In International conference on computers and games, pp. 72–83. Springer, 2006.
- [3] Kaiming He, et al. “Deep Residual Learning for Image Recognition”, <https://arxiv.org/abs/1512.03385>
- [4] dlshogi, <https://github.com/TadaoYamaoka/DeepLearningShogi>
- [5] 山岡, “将棋でディープラーニングする その 2(ニューラルネットワークの構成)”, <https://tadaoyamaoka.hatenablog.com/entry/2017/04/10/083049>
- [6] 芝, “chainer も入れてみた”, <https://bleu48.hatenablog.com/entry/2017/04/19/180300>
- [7] AobaZero プロジェクト, <http://www.yss-aya.com/aobazero/>

- [8] Leela Zero, <https://zero.sjeng.org/>
- [9] Leela Chess Zero, <https://lczero.org/>
- [10] 芝, “AobaZero で遊ぼう 13 (近況編)”,
<https://bleu48.hatenablog.com/entry/2020/07/23/034057>
- [11] 芝, “AobaZero で遊ぼう 5 (8 四歩編)”,
<https://bleu48.hatenablog.com/entry/2019/08/21/055145>
- [12] ONNX, <https://onnx.ai/>
- [13] 電竜戦, <https://denryu-sen.jp/>
- [14] 世界コンピュータ将棋オンライン大会,
<http://www2.computer-shogi.org/wcsol.html>
- [15] 第 5 回将棋電王トーナメント,
http://denou.jp/tournament2017/result_img.html

補足資料：

本将棋初期局面におけるスレッド数1， バッチサイズ1としたときの局面探索順（SFEN表記）
二番絞りの場合

sfen lnskgksnl/1r5b1/pppppppp/9/9/PPPPPPPP/1B5R1/LNSGKGSNL b - 1
sfen lnskgksnl/1r5b1/pppppppp/9/9/7P1/PPPPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/pppppppp/9/9/2P6/PP1PPPPPP/1B5R1/LNSGKGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/pppppppp/6p2/9/7P1/PPPPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/pppppppp/6p2/9/2P6/PP1PPPPPP/1B5R1/LNSGKGSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/pppppppp/6p2/7P1/9/PPPPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL w - 4
sfen lnskgksnl/1r5b1/pppppppp/6p2/9/2P4P1/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL w - 4
sfen lnskgksnl/1r7/pppppppp/6p2/7P1/9/PPPPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL b - 5
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1pppppp/1p7/9/2P6/PP1PPPPPP/1B5R1/LNSGKGSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r7/pppppppp/6p2/7P1/2P6/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL w - 6
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1pppppp/1p7/9/2P4P1/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL w - 4
sfen lnskgksnl/1r5s1/pppppppp/6p2/7P1/2P6/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL b - 7
sfen lnskgksnl/1r4gb1/pppppppp/6p2/9/2P4P1/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL b - 5
sfen lnskgksnl/1r5s1/pppppppp/6p2/7P1/2P6/PP1PPPP1P/1BG4R1/LNS1KGSNL w - 8
sfen lnskgksnl/1r5s1/p1pppppp/1p4p2/7P1/2P6/PP1PPPP1P/1BG4R1/LNS1KGSNL b - 9
sfen lnskgksnl/1r4gb1/pppppppp/6p2/7P1/2P6/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL w - 6
sfen lnskgksnl/1r5s1/p1pppp+Bpp/1p4p2/7P1/2P6/PP1PPPP1P/2G4R1/LNS1KGSNL w B 10
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1pppppp/1p4p2/9/2P4P1/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL b - 5
sfen lnskgksnl/1r4gb1/p1pppppp/1p4p2/7P1/2P6/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL b - 7
sfen lnskgksnl/1r5b1/pppppppp/6p2/9/2P4P1/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL w - 4
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1pppppp/1p4p2/7P1/2P6/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL w - 6
sfen lnskgksnl/1r4gb1/pppppppp/6p2/9/2P4P1/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL b - 5
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1pppppp/1p4p2/9/2P4P1/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL b - 5
sfen lnskgksnl/1r4gs1/pppppppp/6p2/7P1/2P6/PP1PPPP1P/1BG4R1/LNS1KGSNL b - 9
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1pppppp/9/1p7/2P4P1/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL b - 5
sfen lnskgksnl/1r4gb1/pppppppp/6p2/7P1/2P6/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL w - 6
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1pppppp/1p4p2/7P1/2P6/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL w - 6
sfen lnskgksnl/1r4gs1/pppppppp/6p2/7P1/2P6/PP1PPPP1P/1BG2S1R1/LNS1KG1NL w - 10
sfen lnskgksnl/1r7/p1pppppp/1p4p2/7P1/2P6/PP1PPPP1P/2G4R1/LNS1KGSNL b Bb 11
sfen lnskgksnl/1r5b1/pppppppp/6p2/9/2P6/PP1PPPPPP/1BG4R1/LNS1KGSNL w - 4
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1pppppp/9/1p7/2P4P1/PPBPPPP1P/7R1/LNSGKGSNL w - 6
sfen lnskgksnl/1r7/p1pppppp/1p4p2/7P1/2P6/PP1PPPP1P/1SG4R1/LN2KGSNL w Bb 12
sfen lnskgksnl/1r5b1/pppppppp/9/9/9/PPPPPPPP/1BG4R1/LNS1KGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r4gb1/p1pppppp/1p4p2/7P1/2P6/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL b - 7
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1pppppp/1p4p2/9/2P6/PP1PPPPPP/1BG4R1/LNS1KGSNL b - 5
sfen lnskgksnl/1r4gs1/p1pppppp/1p4p2/7P1/2P6/PP1PPPP1P/1BG2S1R1/LNS1KG1NL b - 11
sfen lnskgksnl/1r4gb1/p1pppppp/1p4p2/7P1/2P6/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL b - 7
sfen lnskgksnl/1r4g2/p1pppppp/1p4p2/7P1/2P6/PP1PPPP1P/1SG4R1/LN2KGSNL b Bb 13
sfen lnskgksnl/1r4g2/pppppppp/6p2/7P1/2P6/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL b - 7
sfen lnskgksnl/1r4gb1/p1pppppp/1p4p2/7P1/2P6/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL b - 7
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1pppppp/1p4p2/9/2P4P1/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL b - 5
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1pppppp/6p2/1p7/2P4P1/PPBPPPP1P/7R1/LNSGKGSNL b - 7
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1pppppp/1p7/9/7P1/PPPPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1pppppp/1p4p2/9/2P4P1/PP1PPPP1P/1BG4R1/LNS1KGSNL w - 6
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1pppppp/1p7/7P1/9/PPPPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL w - 4
sfen lnskgksnl/1r4gs1/p1pppppp/1p4p2/7P1/2P3P2/PP1PPP2P/1BG2S1R1/LNS1KG1NL w - 12
sfen lnskgksnl/1r4gb1/pppppppp/9/9/2P6/PP1PPPPPP/1B5R1/LNSGKGSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5s1/pppppp+Bpp/6p2/7P1/2P6/PP1PPPP1P/7R1/LNSGKGSNL w B 8
sfen lnskgksnl/1r4gb1/pppppppp/9/9/2P4P1/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL w - 4
sfen lnskgksnl/1r4gb1/p1pppppp/1p7/7P1/9/PPPPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL b - 5
sfen lnskgksnl/1r4gb1/pppppppp/6p2/9/2P4P1/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL b - 5
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1pppppp/1p4p2/7P1/2P6/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL w - 6
sfen lnskgksnl/1r7/pppppppp/6p2/7P1/2P6/PP1PPPP1P/7R1/LNSGKGSNL b Bb 9
sfen lnskgksnl/1r4gb1/p1pppppp/1p4pP1/9/2P6/PP1PPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL w - 8
sfen lnskgksnl/1r5b1/pppppppp/6p2/9/9/PPPPPPPP/1BG4R1/LNS1KGSNL b - 3

GCT の場合

sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/9/PPPPPPPP/1B5R1/LNSGKGSNL b - 1
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/4P4/PPPP1PPPP/1B5R1/LNSGKGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/9/PPPPPPPP/1B1S3R1/LN1GKGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/5P3/PPPP1PPP/1B5R1/LNSGKGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/9/PPPPPPPP/1B3K1R1/LNSG1GSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/3P5/PPP1PPPP/1B5R1/LNSGKGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/9/PPPPPPPP/1B3S1R1/LNSGKG1NL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/6P2/PPPPPP1PP/1B5R1/LNSGKGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/9/PPPPPPPP/1B4SR1/LNSGKG1NL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/9/PPPPPPPP/1B2R4/LNSGKGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/8P/PPPPPPPP1/1B5R1/LNSGKGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/9/PPPPPPPP/1B2K2R1/LNSG1GSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/9/PPPPPPPP/1B3R3/LNSGKGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/9/PPPPPPPP/1B1K3R1/LNSG1GSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/9/PPPPPPPP/1B2G2R1/LNSGK1SNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/9/PPPPPPPP/1B4GR1/LNSGK1SNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/9/PPPPPPPP/1B4R2/LNSGKGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/9/PPPPPPPP/1B6R/LNSGKGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/9/PPPPPPPP/1B1G3R1/LNS1KGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/9/PPPPPPPP/1B2G2R1/LNS1KGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/9/PPPPPPPP/1B5R1/1NSGKGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/9/PPPPPPPP/1B3G1R1/LNSGK1SNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/9/PPPPPPPP/1B4SR1/LN1GKGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/9/PPPPPPPP/1B1R5/LNSGKGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/7P1/PPPPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/P8/1PPPPPP/1B5R1/LNSGKGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/9/PPPPPPPP/1B4R1/LNS1KGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/1P7/P1PPPPPP/1B5R1/LNSGKGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/2P6/PP1PPPP/1B5R1/LNSGKGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/9/PPPPPPPP/1B6R/LNSGKGSNL w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/ppppppppp/9/9/9/PPPPPPPP/1B5RL/LNSGKGSN1 w - 2
sfen lnskgksnl/1r5b1/pppppp1pp/6p2/9/4P4/PPPP1PPPP/1B5R1/LNSGKGSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1ppppppp/1p7/9/6P2/PPPPPP1PP/1B5R1/LNSGKGSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/pppppppp1/8p/9/8P/PPPPPPPP1/1B5R1/LNSGKGSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1ppppppp/1p7/9/9/PPPPPPPP/1B4SR1/LNSGKG1NL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1ppppppp/1p7/9/9/PPPPPPPP/1B3S1R1/LNSGKG1NL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/pppppp1pp/6p2/9/9/PPPPPPPP/1B1S3R1/LN1GKGSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1ppppppp/1p7/9/5P3/PPPP1PPP/1B5R1/LNSGKGSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1ppppppp/1p7/9/9/PPPPPPPP/1B1K3R1/LNSG1GSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1ppppppp/1p7/9/7P1/PPPPPP1P/1B5R1/LNSGKGSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/pppppp1pp/6p2/9/3P5/PPP1PPPP/1B5R1/LNSGKGSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1ppppppp/1p7/9/P8/1PPPPPP/1B5R1/LNSGKGSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1ppppppp/1p7/9/9/PPPPPPPP/1B2K2R1/LNSG1GSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1ppppppp/1p7/9/9/PPPPPPPP/1B2G2R1/LNSGK1SNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/pppppp1pp/6p2/9/9/PPPPPPPP/1B3K1R1/LNSG1GSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/1pppppppp/p8/9/9/PPPPPPPP/1B4R1/LNS1KGSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1ppppppp/1p7/9/2P6/PP1PPPP/1B5R1/LNSGKGSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1ppppppp/1p7/9/9/PPPPPPPP/1B1G3R1/LNS1KGSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/pppppp1pp/6p2/9/9/PPPPPPPP/1B4SR1/LN1GKGSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1ppppppp/1p7/9/9/PPPPPPPP/1B3G1R1/LNSGK1SNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/pppppp1pp/6p2/9/9/PPPPPPPP/1B2R4/LNSGKGSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1ppppppp/1p7/9/9/PPPPPPPP/1B4GR1/LNSGK1SNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/pppppp1pp/6p2/9/9/PPPPPPPP/1B3R3/LNSGKGSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/pppppp1pp/6p2/9/9/PPPPPPPP/1B4R2/LNSGKGSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/pppppp1pp/6p2/9/9/PPPPPPPP/1B6R/LNSGKGSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1ppppppp/1p7/9/9/PPPPPPPP/1B2G2R1/LNS1KGSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/pppppppp1/8p/9/7PP/PPPPPP2/1B5R1/LNSGKGSNL w - 4
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1ppppppp/1p7/9/9/PPPPPPPP/1B1R5/LNSGKGSNL b - 3
sfen lnskgksnl/1r5b1/pppppp1pp/6p2/9/2P1P4/PP1PPPP/1B5R1/LNSGKGSNL w - 4
sfen lnskgksnl/1r5b1/p1ppppppp/1p7/9/7P1/PPPPPP1P/1B3S1R1/LNSGKG1NL w - 4