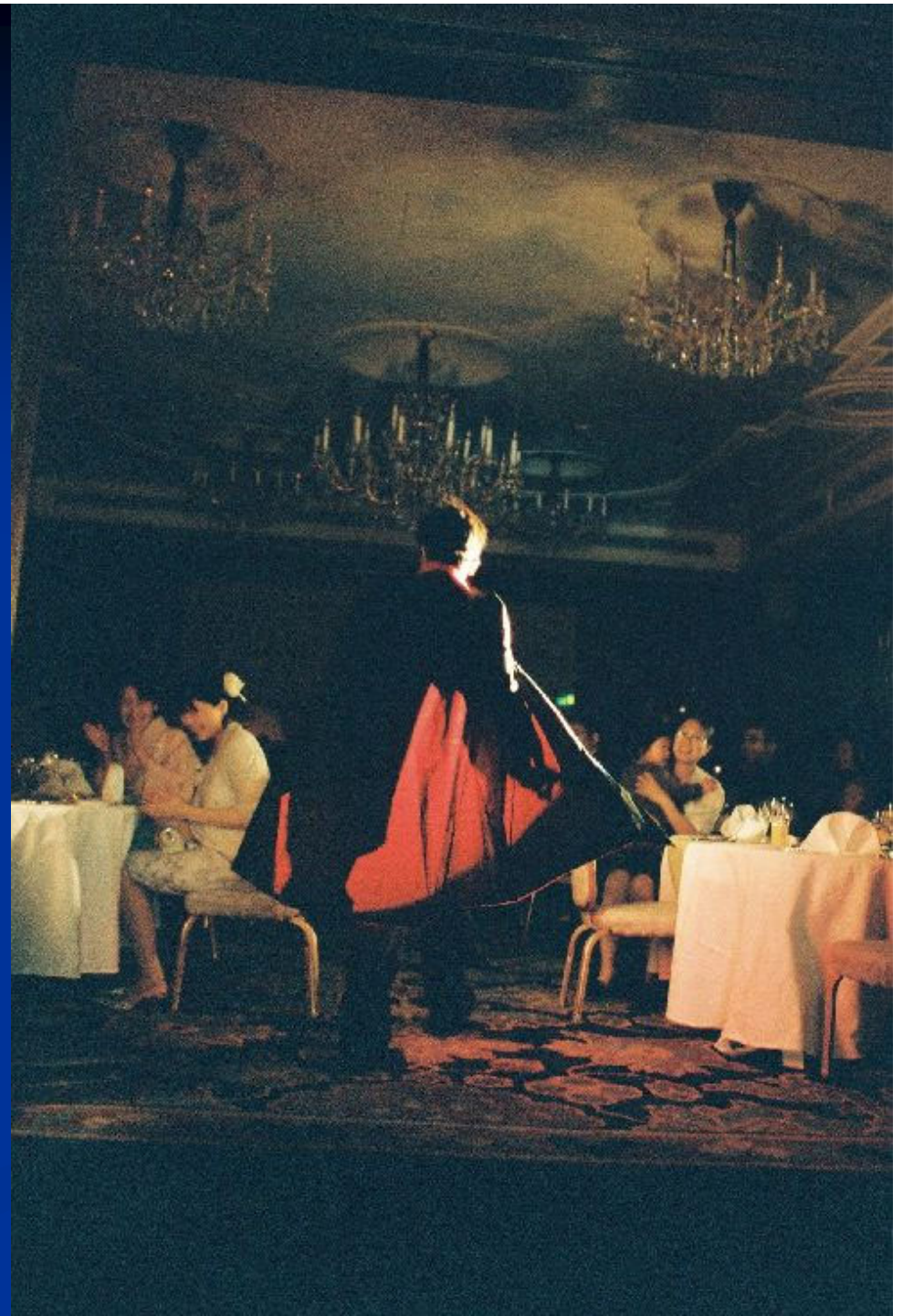


情報論理工学 研究室

第9回：
種々の探索



ミニマックス(mini-max)法

■ ミニマックス法

- 自分にとっての最善手 = 相手にとっての最悪手
(二人零和ゲームの場合)

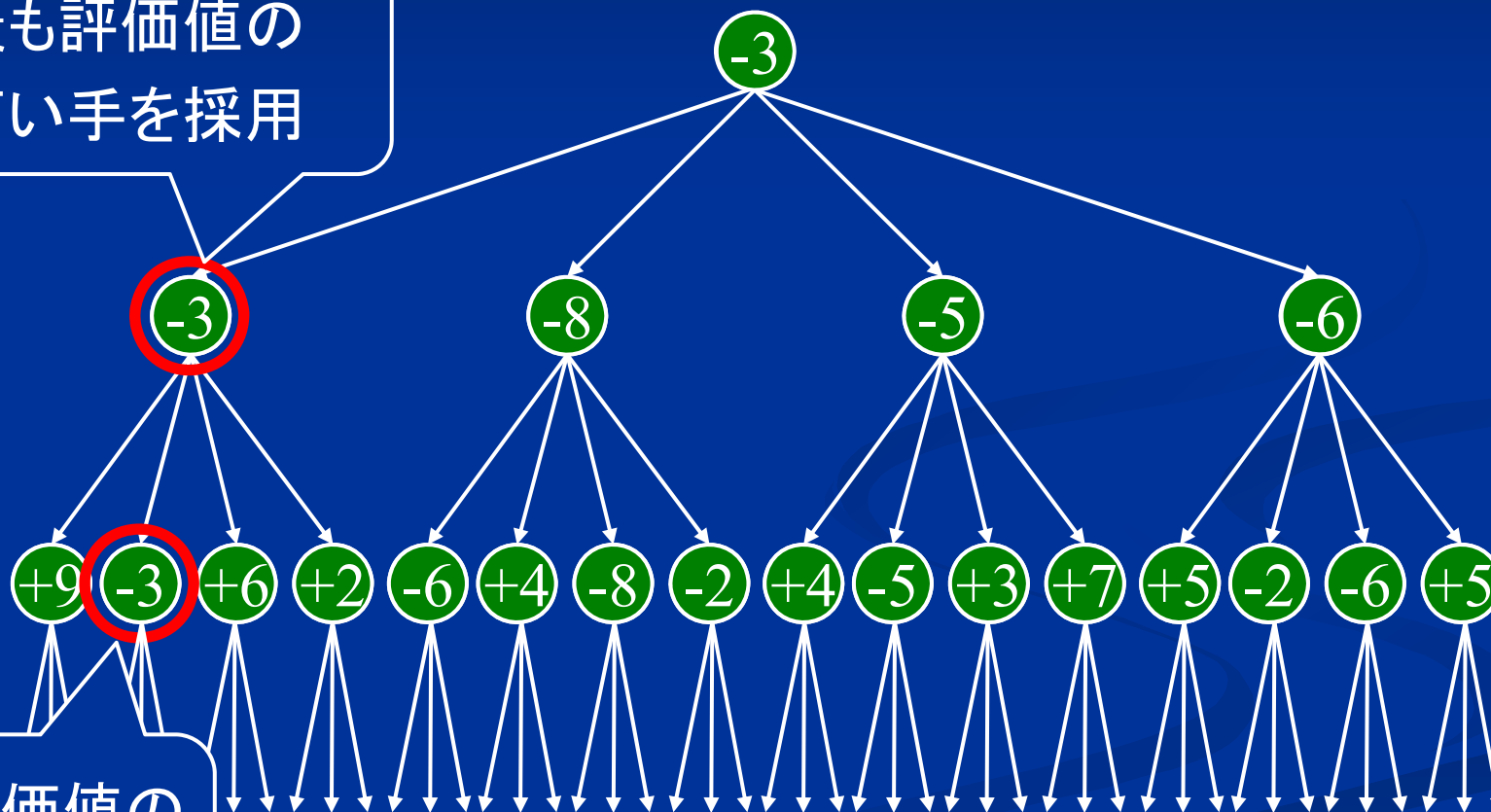
⇒ 相手が常に最善手を指してくると仮定

自分の手番 : 最も評価値の高い手を採用

相手の手番 : 最も評価値の低い手を採用

ミニマックス法

最も評価値の
高い手を採用



最も評価値の
低い手を採用

無駄な探索がある

アルファベータ(alpha-beta)法

■ アルファベータ法

■ ミニマックス法の改良アルゴリズム

- 必要の無い探索は行わない
- 絶対に採用されない手は読まない

α : それまでに発見した自番で最も大きな評価値

β : それまでに発見した相手番で最も小さい評価値

相手の手番 : α よりも小さい評価値になれば探索打ち切り

自分の手番 : β よりも大きい評価値になれば探索打ち切り

α 以上 β 以下の手を探索する

アルファベータ法

-3以上確定

>-3

⇒-3未満の手は
絶対に採用されない

α値

-3

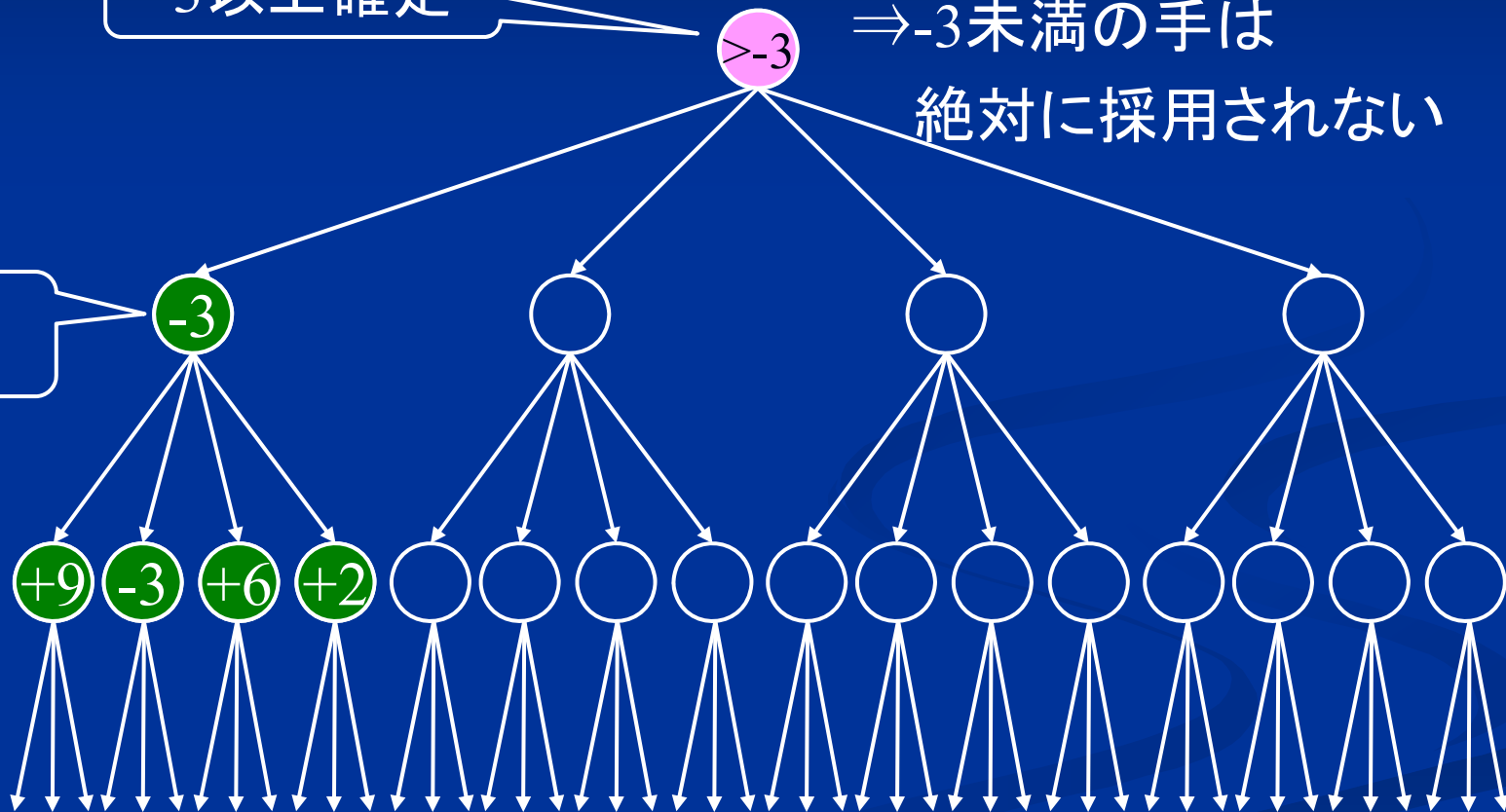
+9

-3

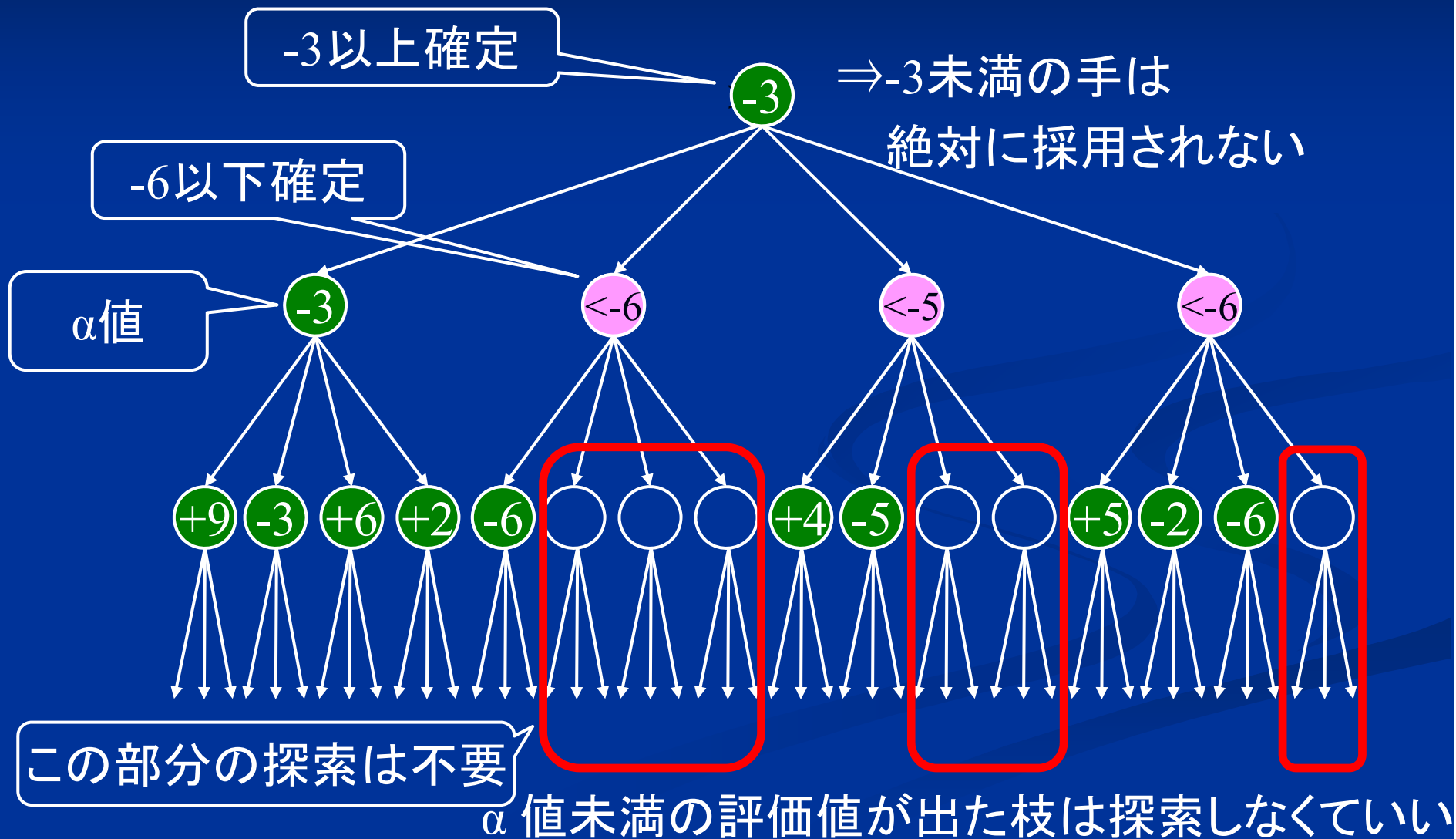
+6

+2

α値未満の頂点が現れると探索を打ち切る



アルファベータ法



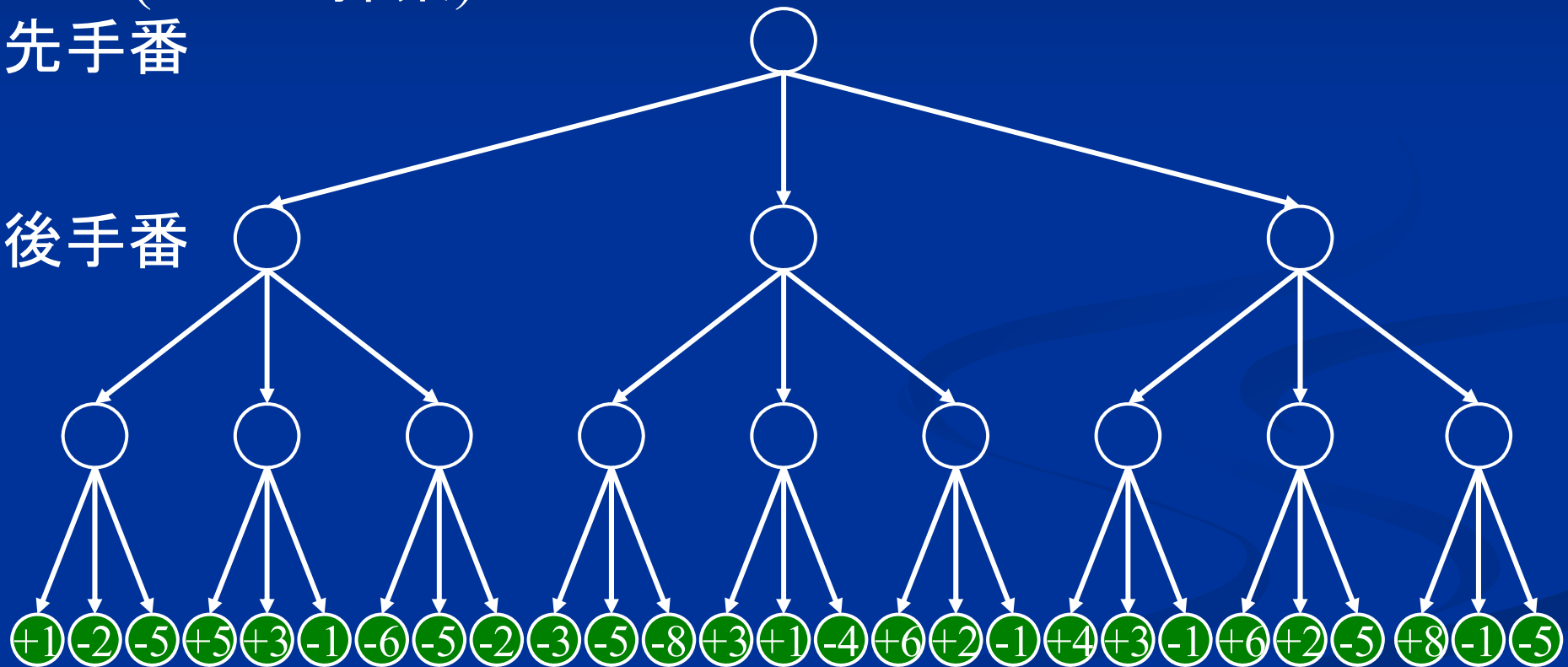
宿題：アルファベータ法

$\alpha\beta$ 法で探索したときに枝刈りできる部分はどこか？

(左から探索)

先手番

後手番



宿題：アルファベータ法

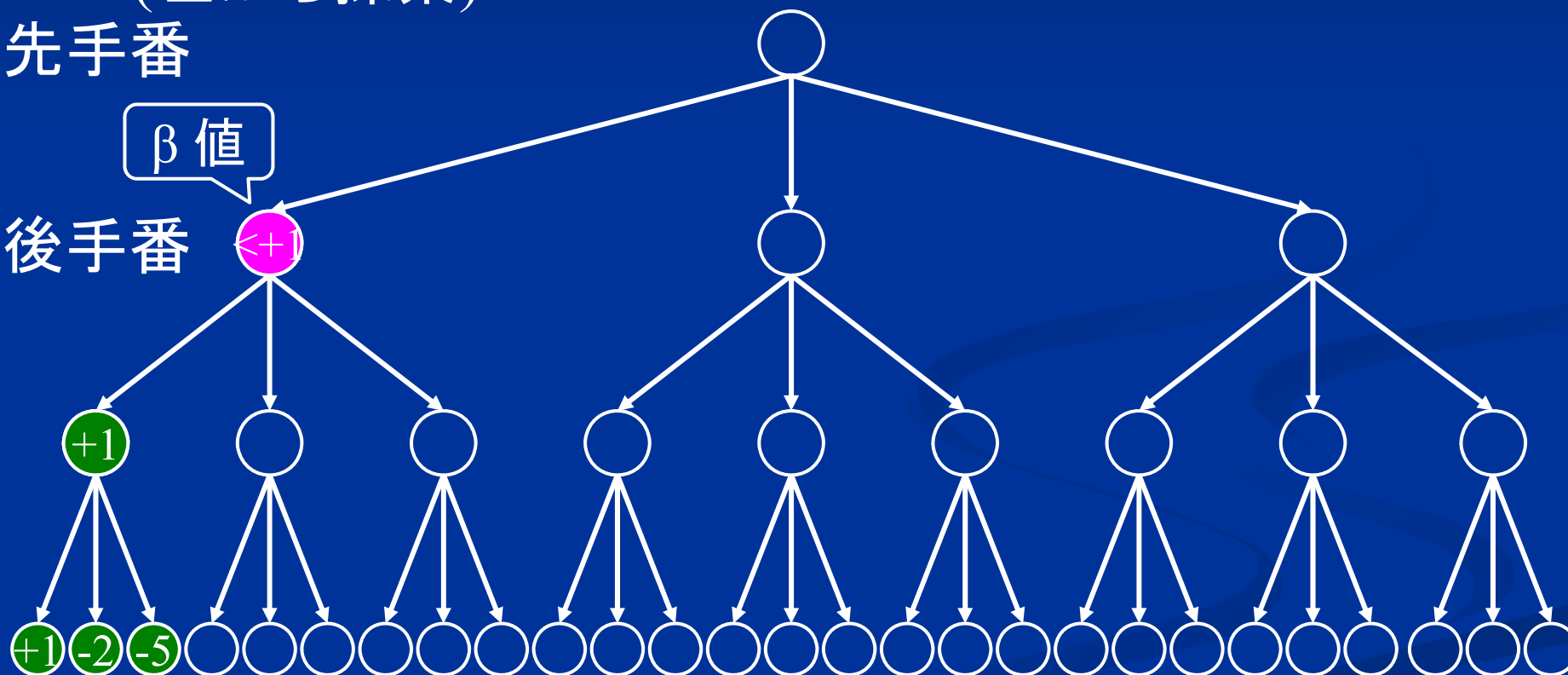
$\alpha\beta$ 法で探索したときに枝刈りできる部分はどこか？

(左から探索)

先手番

β 値

後手番



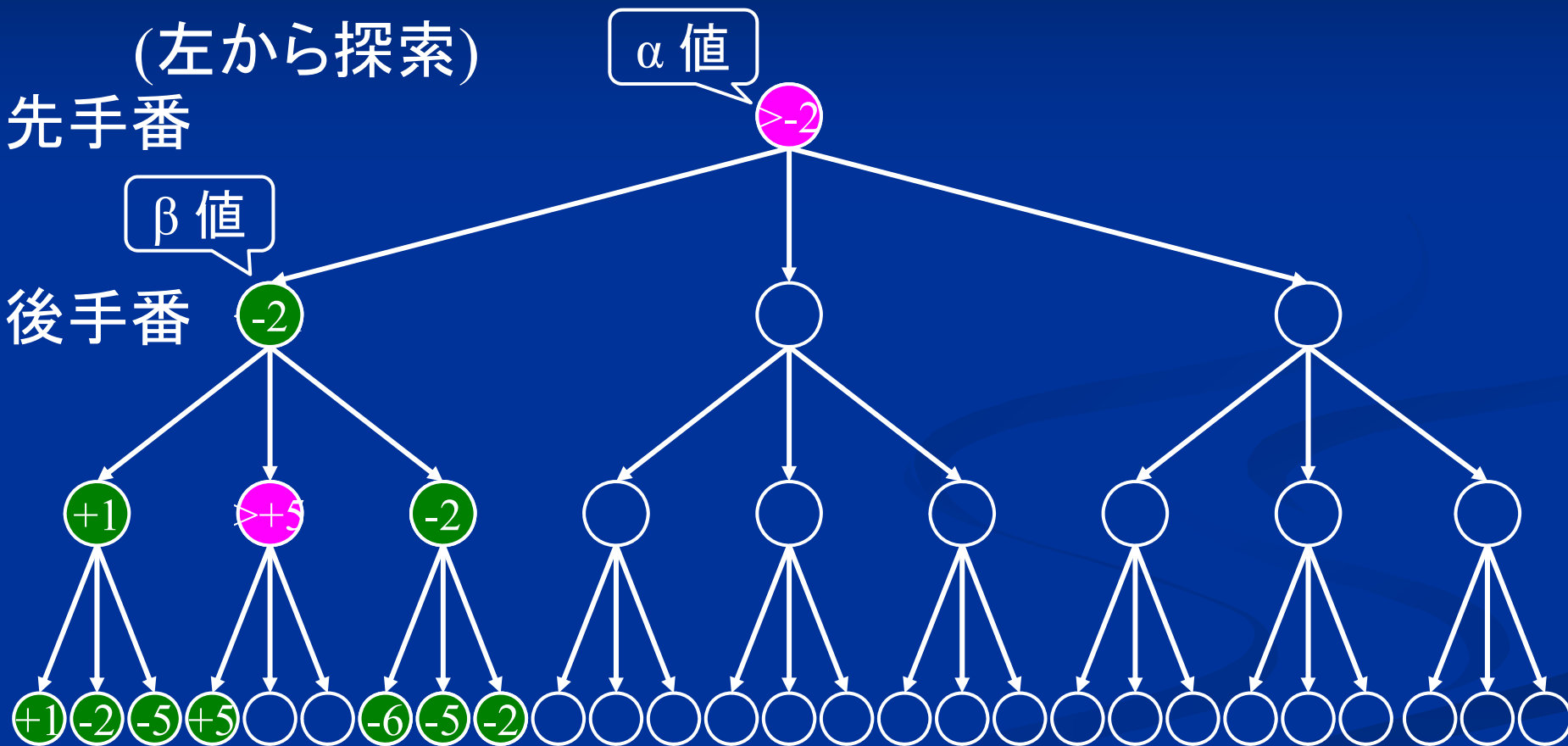
宿題：アルファベータ法

$\alpha\beta$ 法で探索したときに枝刈りできる部分はどこか？

(左から探索)

先手番

後手番



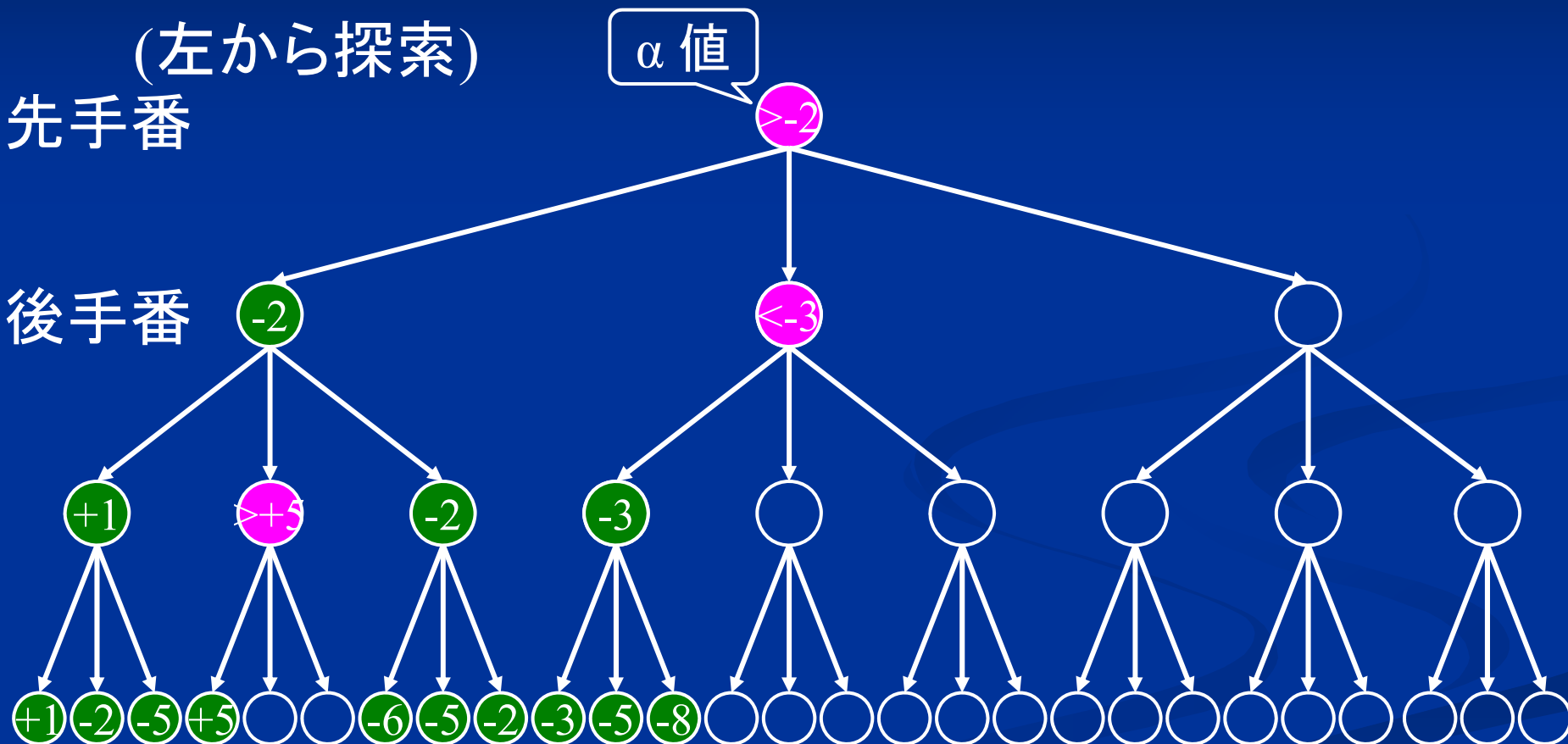
宿題：アルファベータ法

$\alpha\beta$ 法で探索したときに枝刈りできる部分はどこか？

(左から探索)

先手番

後手番



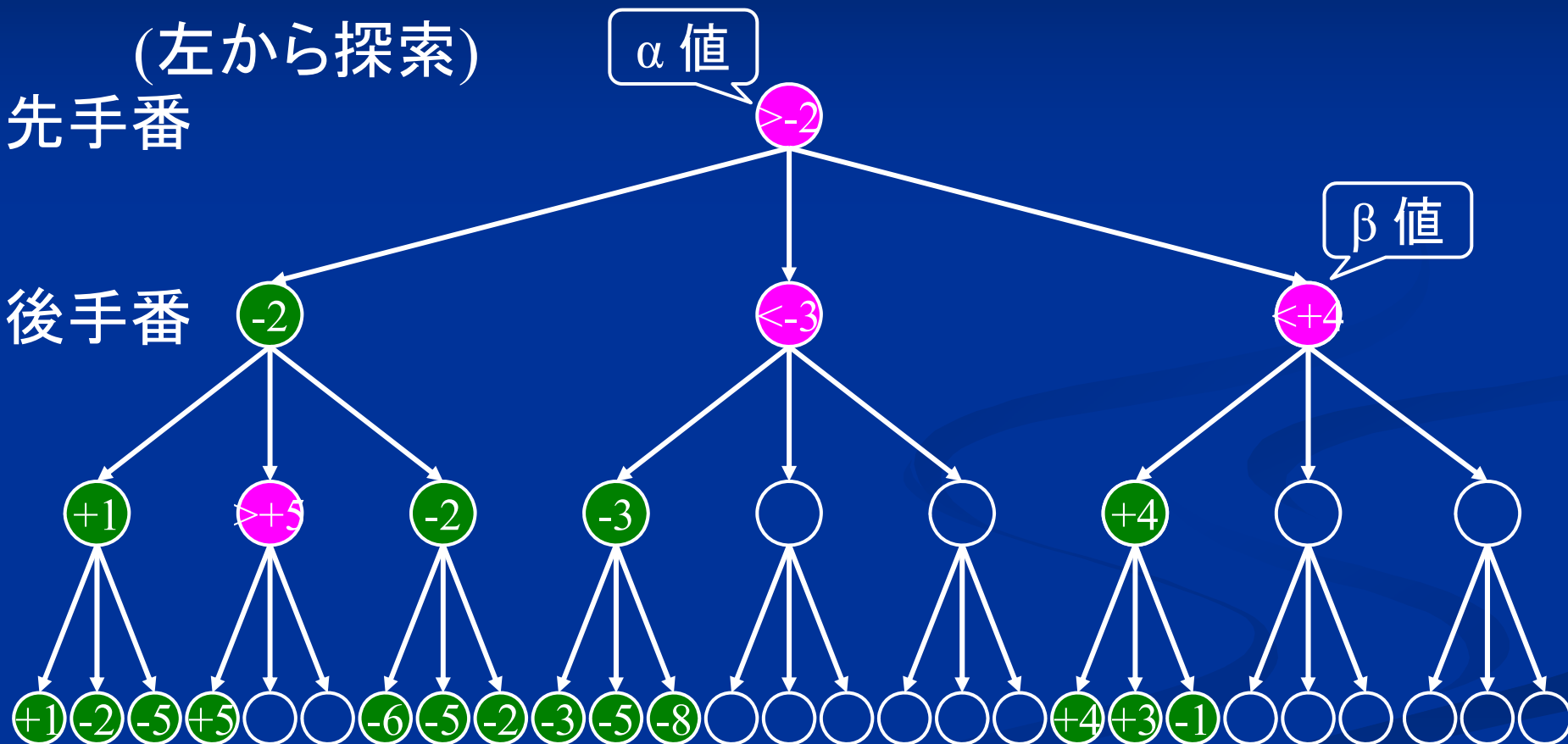
宿題：アルファベータ法

$\alpha\beta$ 法で探索したときに枝刈りできる部分はどこか？

(左から探索)

先手番

後手番



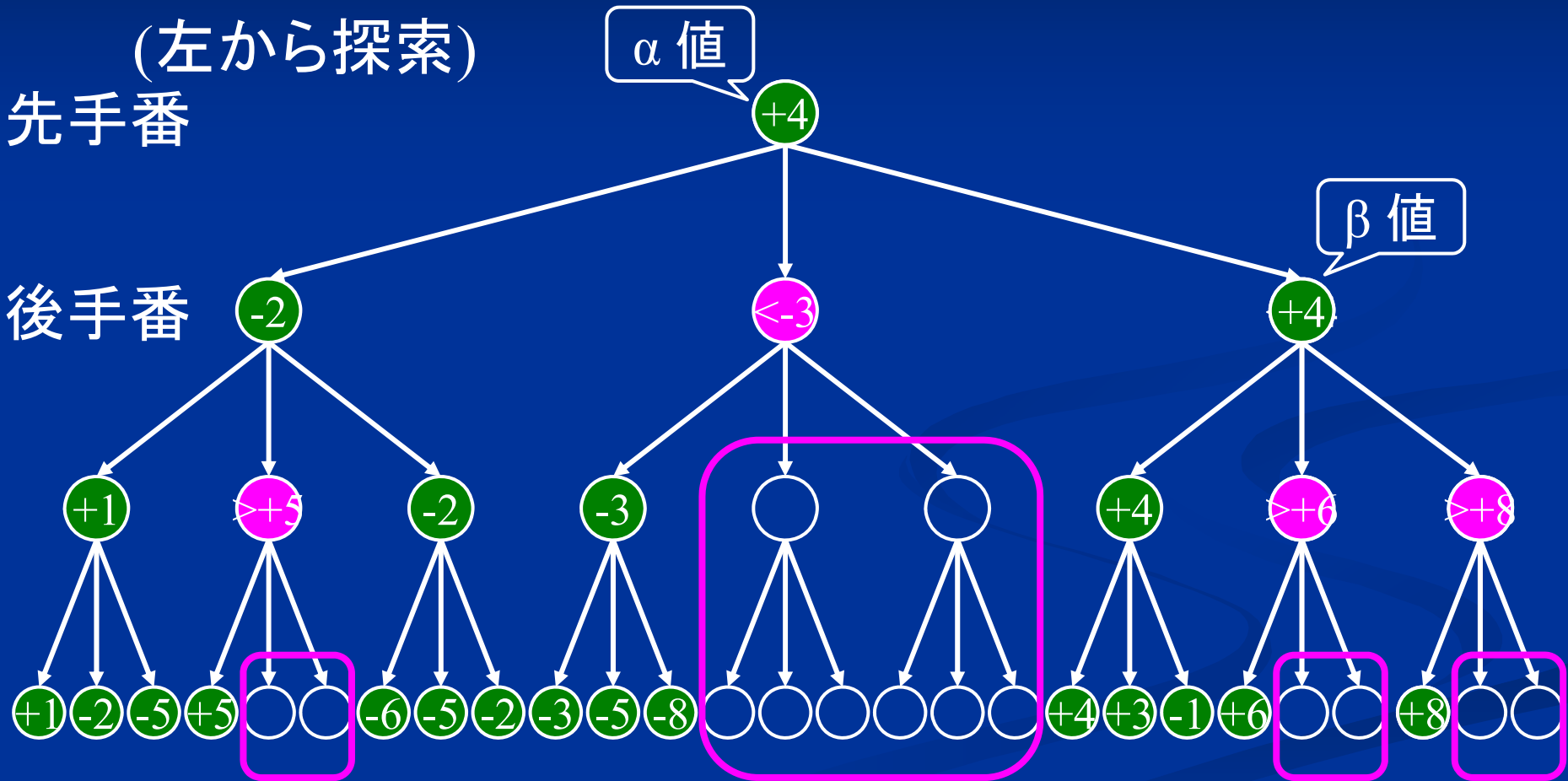
宿題：アルファベータ法

$\alpha\beta$ 法で探索したときに枝刈りできる部分はどこか？

(左から探索)

先手番

後手番



アルファベータ法の計算量

b : 各頂点での分岐数

d : 探索の深さ

ミニマックス法 : b^d

アルファベータ法 : $b^{d/2}$ (最も条件が良い場合)

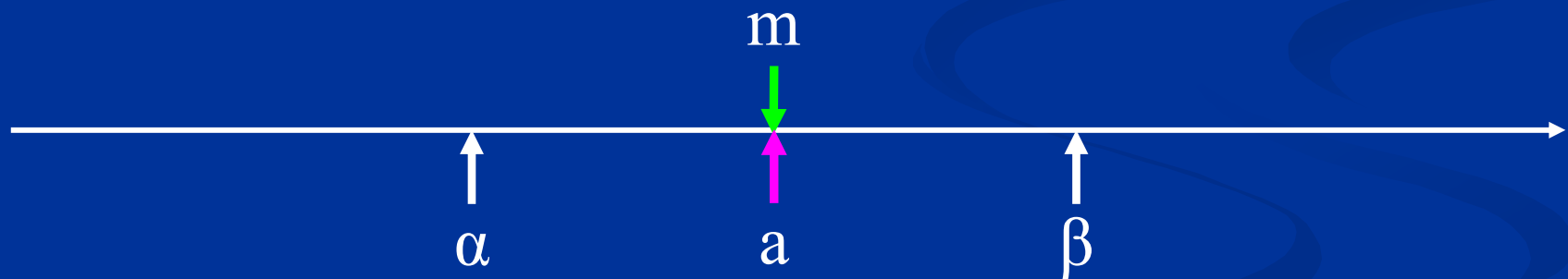
同じ時間で2倍の深さまで読める

アルファベータ法の返り値

m : ミニマックス法の返り値

a : アルファベータ法の返り値

$\alpha < m < \beta$ のとき $a = m$



アルファベータ法の返り値

m : ミニマックス法の返り値

a : アルファベータ法の返り値

$$m \leq \alpha \text{ のとき} \quad m \leq a \leq \alpha$$



アルファベータ法の返り値

m : ミニマックス法の返り値

a : アルファベータ法の返り値

$\beta \leq m$ のとき $\beta \leq a \leq m$



アルファベータ法の返り値

m : ミニマックス法の返り値

a : アルファベータ法の返り値

返り値から分かること

$m \leq \alpha$ のとき $m \leq a \leq \alpha$ α 値以下

$\alpha < m < \beta$ のとき $a = m$ 正しい値

$\beta \leq m$ のとき $\beta \leq a \leq m$ β 値以上

アルファベータ法の特徴

- アルファベータ法の特徴
 - $\alpha < m < \beta$ の範囲に絞って探索
 - 範囲外では枝刈り



$|\beta - \alpha|$ が狭いと枝狩りされやすい

Scout法

■ Scout法

- 狭い範囲で探索して評価値の範囲を見積もる

$\beta' = \alpha + 1$ として探索



評価値が α 値より小さいか否かを高速に判定できる

(※) 範囲 $(\alpha, \alpha+1)$ に整数は無い

Scout法の返り値

m: ミニマックス法の返り値

s: Scout法の返り値

$s \leq \alpha$ のとき

$m \leq s \leq \alpha$

$\Rightarrow \alpha$ 切り



Scout法の返り値

m: ミニマックス法の返り値

s: Scout法の返り値

$\beta \leq n$ のとき

$\beta \leq s \leq m$

$\Rightarrow \beta$ 刈り

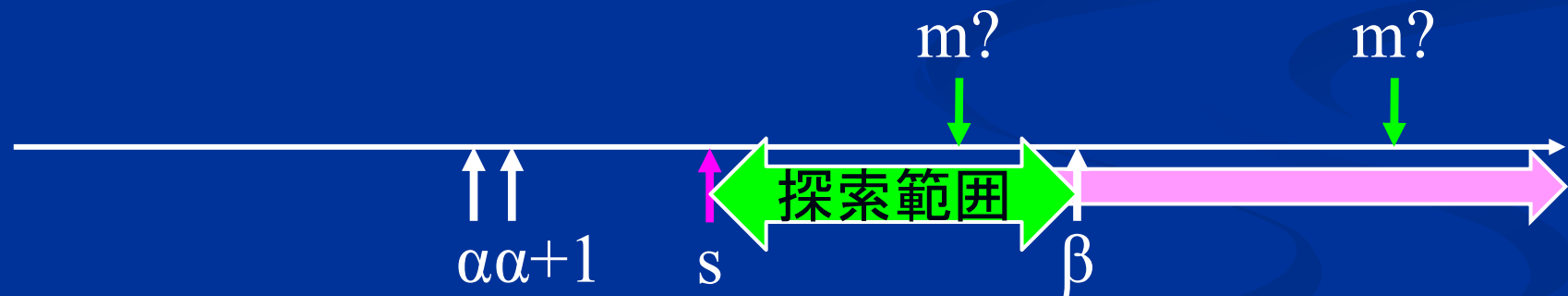


Scout法の返り値

m: ミニマックス法の返り値

s: Scout法の返り値

$\alpha < n < \beta$ のとき $\alpha < s \leq m$



範囲(s, β)で再探索

(α, β)より狭いので高速(かもしれない)

```
/* スカウト法により局面の評価値を計算する */
```

```
int scout (int depth, int alpha, int beta) {  
    if (depth == 0) // 深さ制限に達した場合  
        return value; // 先読み無しの評価値を返す  
    int a = alpha, b = beta, s;  
    ArrayList<Move> moveList = generateMoves(); // 合法手リスト生成  
    for (Move move : moveList) { // 全ての合法手に対して判定  
        Phase phase = nextPhase (move); // 次の局面を生成  
        s = -scout (depth-1, -b, -a);  
        if (a<s && s<beta && depth <=2) { //  $\alpha < s < \beta$  の場合  
            a = -scout (depth-1, -beta, -s); // 範囲(s,  $\beta$ )で再探索  
        }  
        if (s>a) a=s; //  $\alpha$ 値更新  
        if (a>=beta) return a; //  $\beta$ 刈り  
        b = a+1; //  $\beta$ 値更新  
    }  
    return a;  
}
```

同一局面の処理

- 探索中同一局面が現れるケース
 - 手順前後の同一局面
 - 手順が違ってても同一局面となる
 - ⇒局面の評価値を再利用できる
 - 千日手
 - 手順中で同一局面が現れる(千日手)
 - ⇒探索の無限ループを回避する必要がある

局面の同一判定

- equals()メソッド
 - 同一の局面か判定する

```
boolean equals (Phase phase) {  
    for (int i=0; i<SIZE; ++i)  
        for (int j=0; j<SIZE; ++j)  
            if (this.board[i][j] ≠ phase.board[i][j])  
                return false; // 1箇所でも異なればfalse  
    if (this.turn ≠phase.turn) return false;  
        :  
    return true; // 全て同じならtrue  
}
```

だがこの判定は時間がかかる

局面の同一判定

- 探索中には多くの局面が現れる
- 局面の同一判定は時間がかかる



同一の可能性のある局面を絞り込む

ハッシュ関数による同一判定

ハッシュ関数で局面を数値化、

同一のハッシュ値を持つ局面のみ同一判定

ハッシュ関数の例: チェス

駒がある: 1

駒が無い: 0

として64ビットの
数値で表現

11011111

11100101

00010010

00001000

00101000

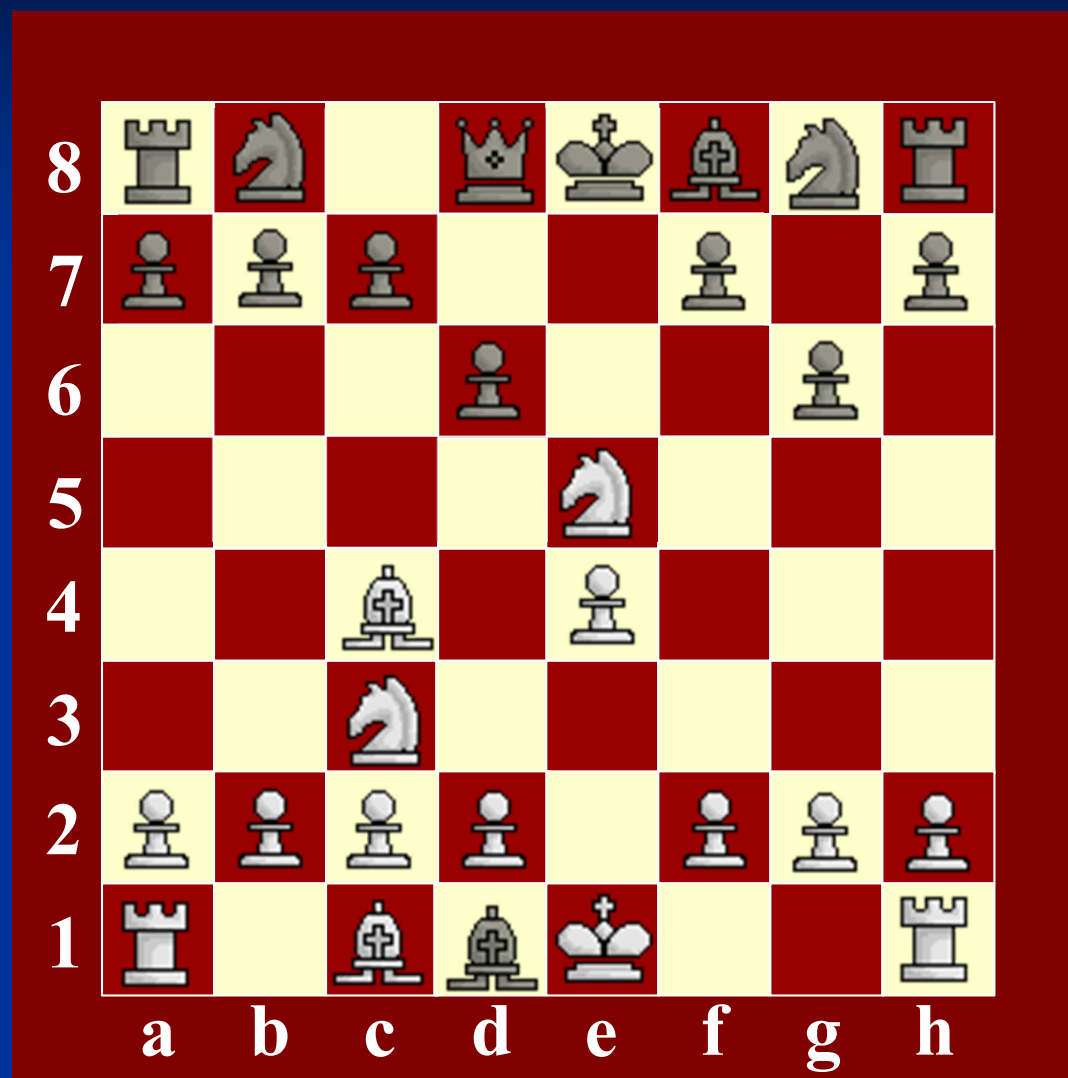
0010000

11111111

10111001

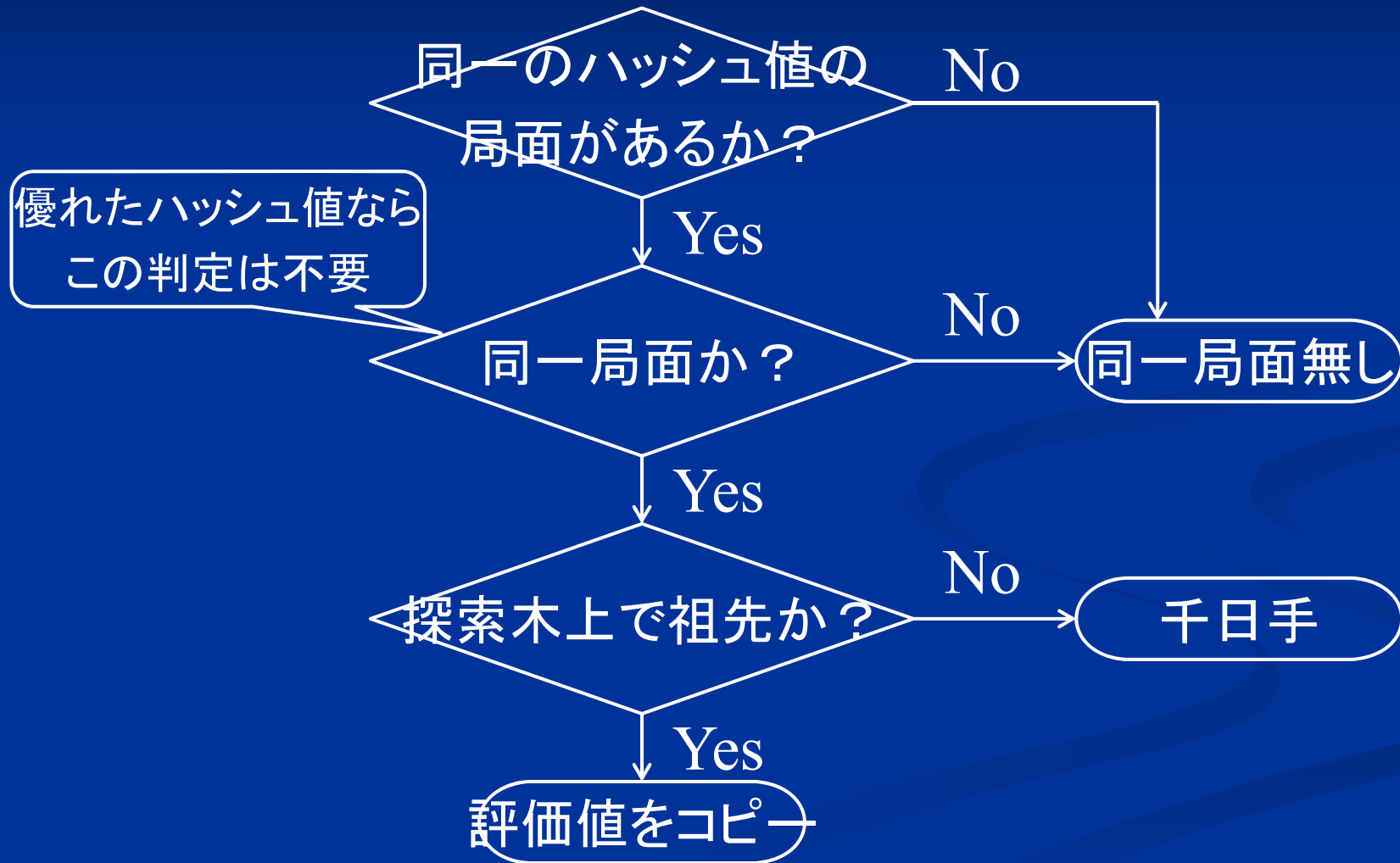
DFE51208

2820F7B9



(※)実際はもっと良いハッシュ関数を用いる

同一局面の判定



局面のハッシュ関数

○番	000000
×番	111111

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
○	110101	011110	011010	010101	010011	101001	001100	000111	110110
×	011111	000010	101010	101000	100101	011000	011010	001010	100010
空	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000

○番

	○	
×		

$$011111 \oplus 010011 \oplus 000000 \\ = 001100$$

×番

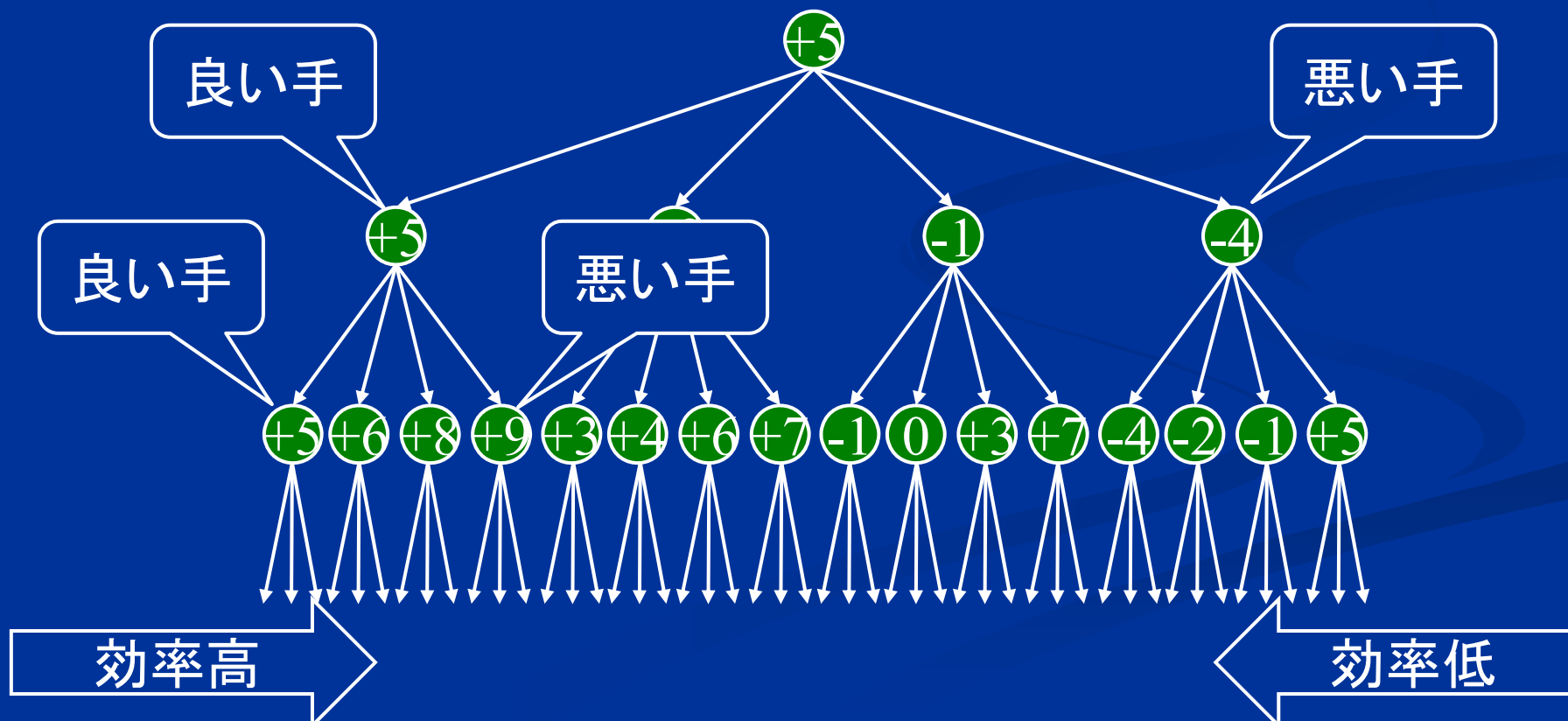
		○
	○	
×		

$$011111 \oplus 010011 \oplus 110110 \oplus 111111 \\ = 000101$$

ビット数が十分大きければハッシュ値の衝突は起こらない

アルファベータ法の効率

- アルファベータ法の効率
 - 良い手から先に探索すると効率がいい



アルファベータ法の効率

- アルファベータ法の効率
 - 良い手から先に探索すると効率がいい

でもどうやって「良い手」を探す？

そもそも「良い手」がわかるなら探索の必要無し

「良さそうな手」から先に探索

反復深化法

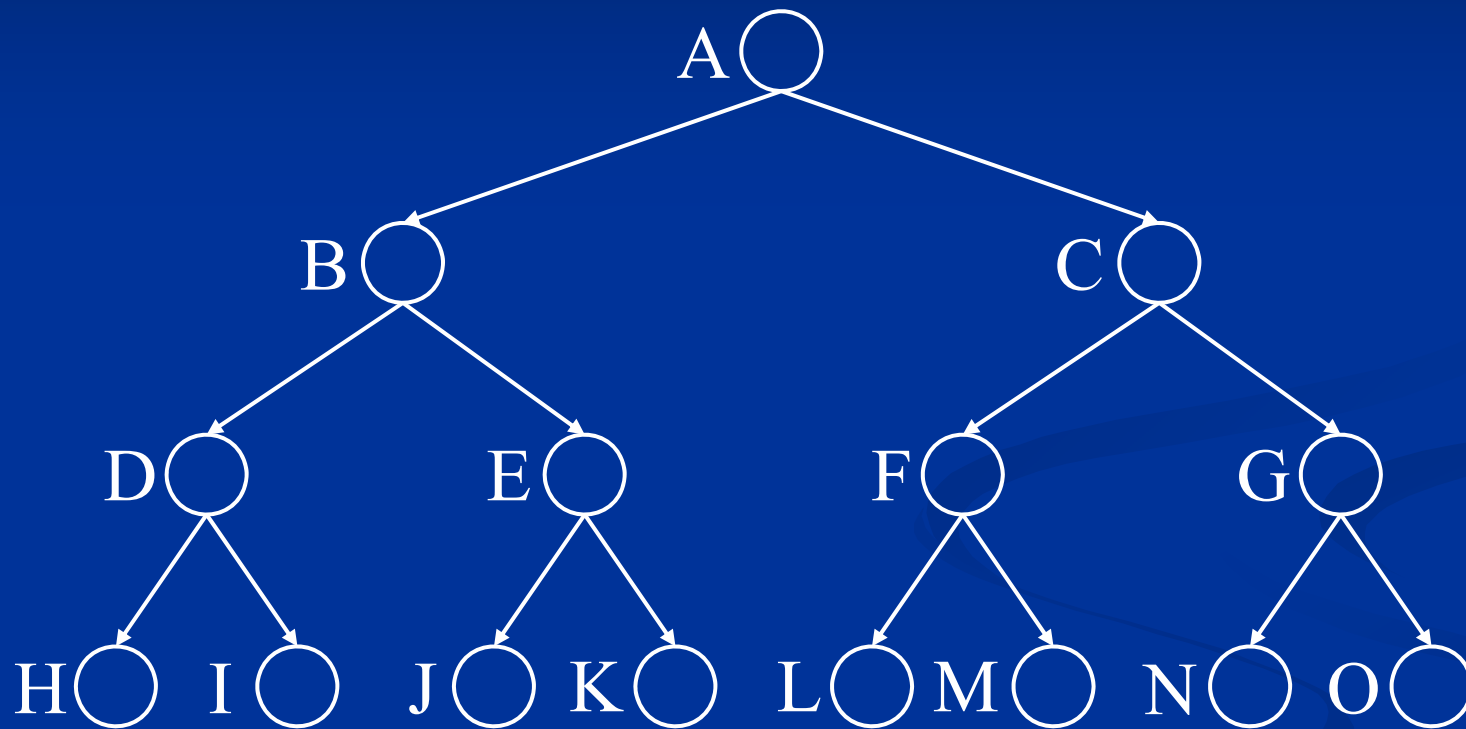
- 反復深化法

- 探索の範囲を徐々に深くしていく

毎回評価値の高い順に枝を並べ替える
⇒アルファベータ法を効率良く行える

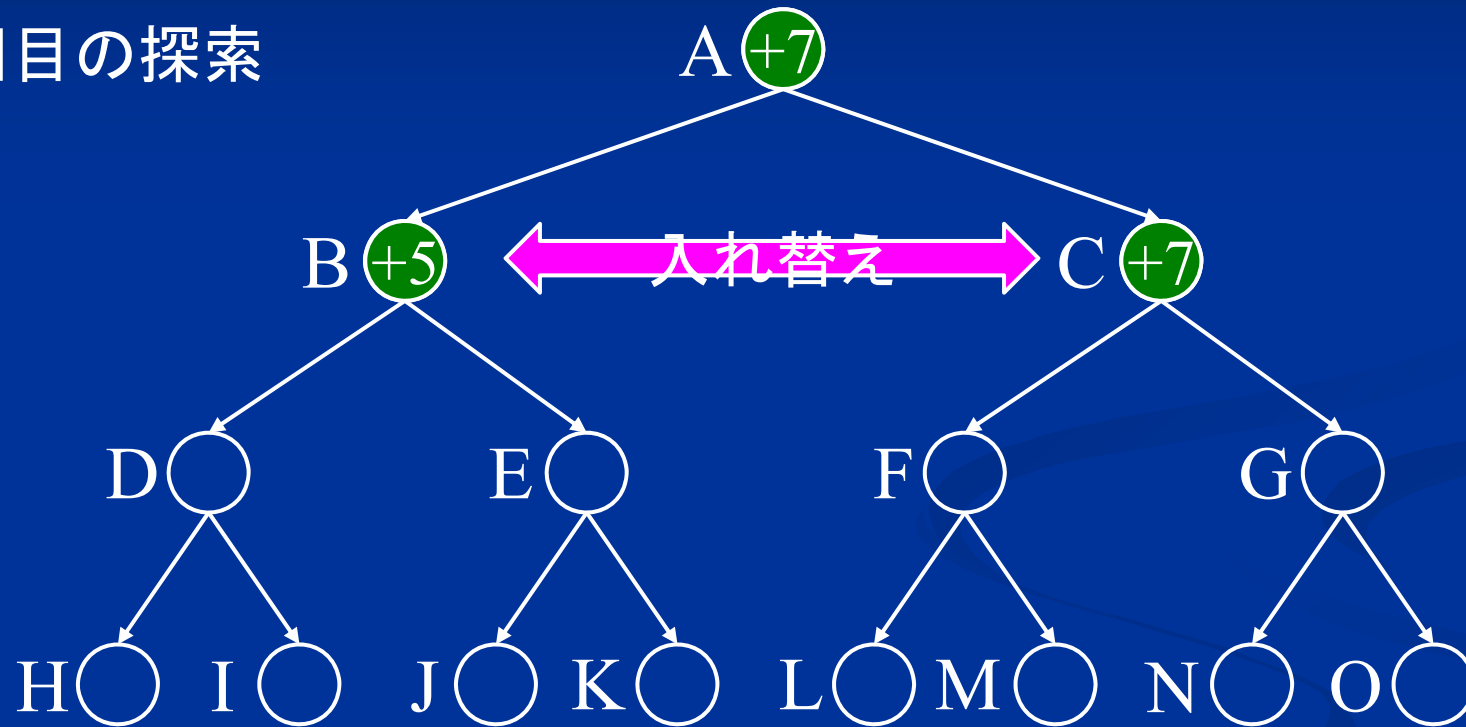
探索回数は増えるが、枝刈りできる利点が大い

反復深化法



反復深化法

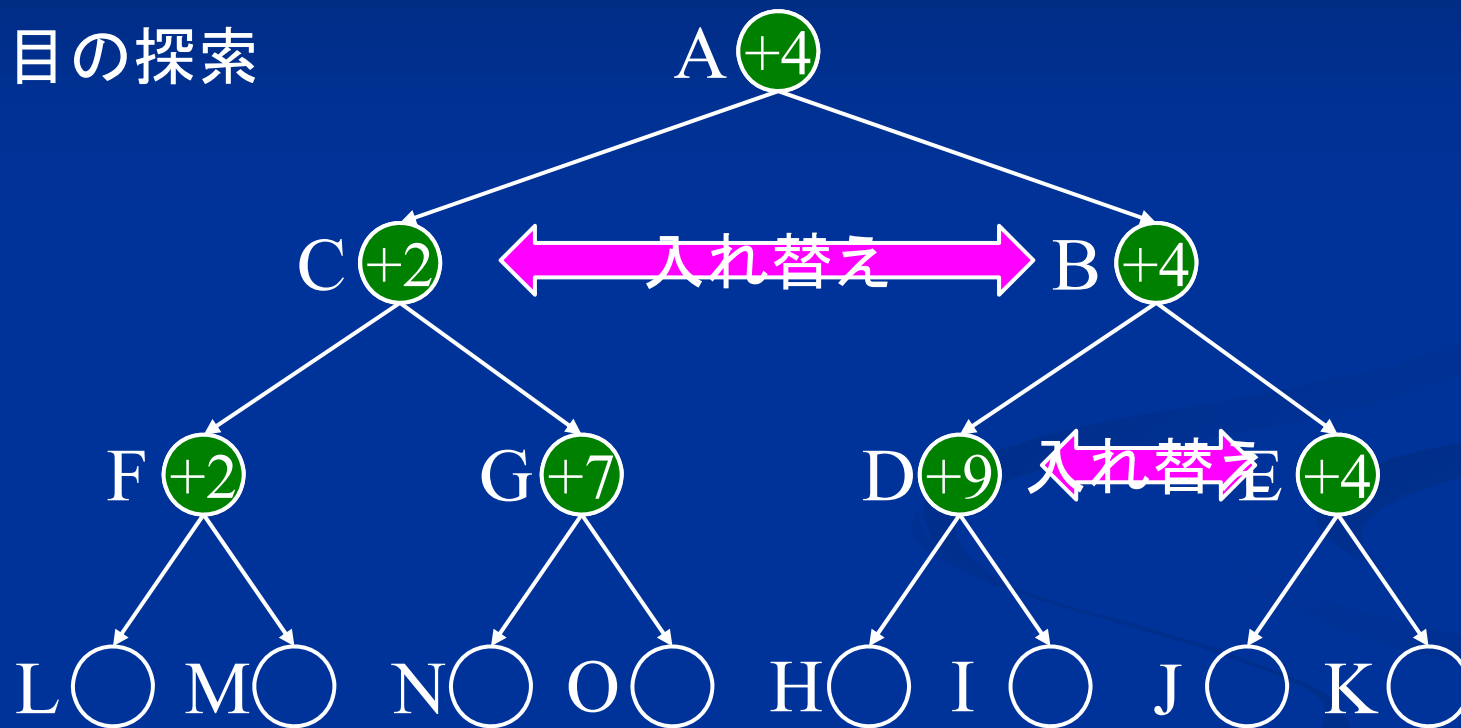
1回目の探索



Cの方が評価値が高い⇒BとCを入れ替える

反復深化法

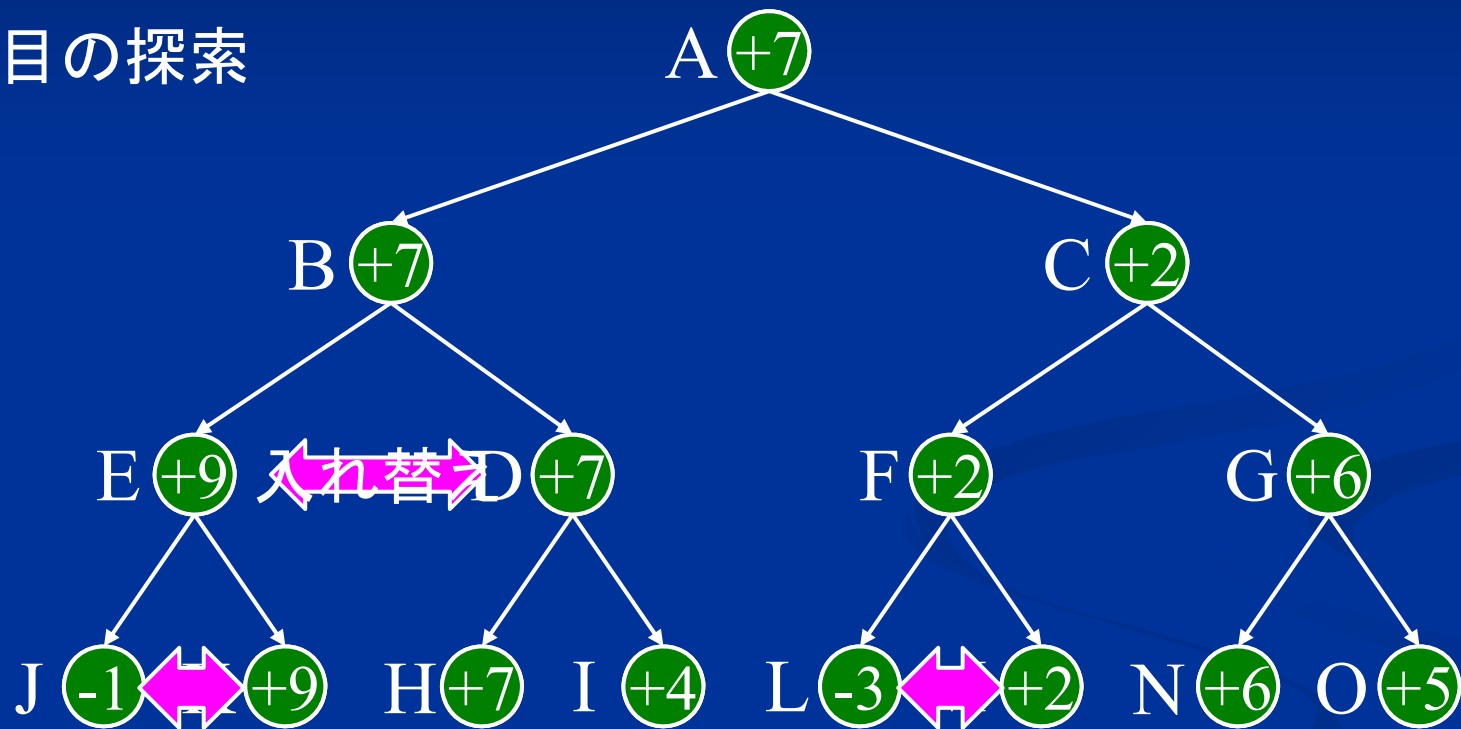
2回目の探索



Bの方が評価値が高い⇒BとCを入れ替える
Eの方が評価値が低い⇒DとEを入れ替える

反復深化法

3回目の探索



反復深化法

■ 反復深化法

- 浅い局面から順に探索
- 探索した局面の情報は記憶しておく
 - 局面のハッシュ値
 - 最善手
 - 評価値
 - その評価値が真の値か、 α 値 β 値か
 - その評価値を得たときの探索の深さ

：

水平線効果

■ 水平線効果

- 探索で読む深さは有限

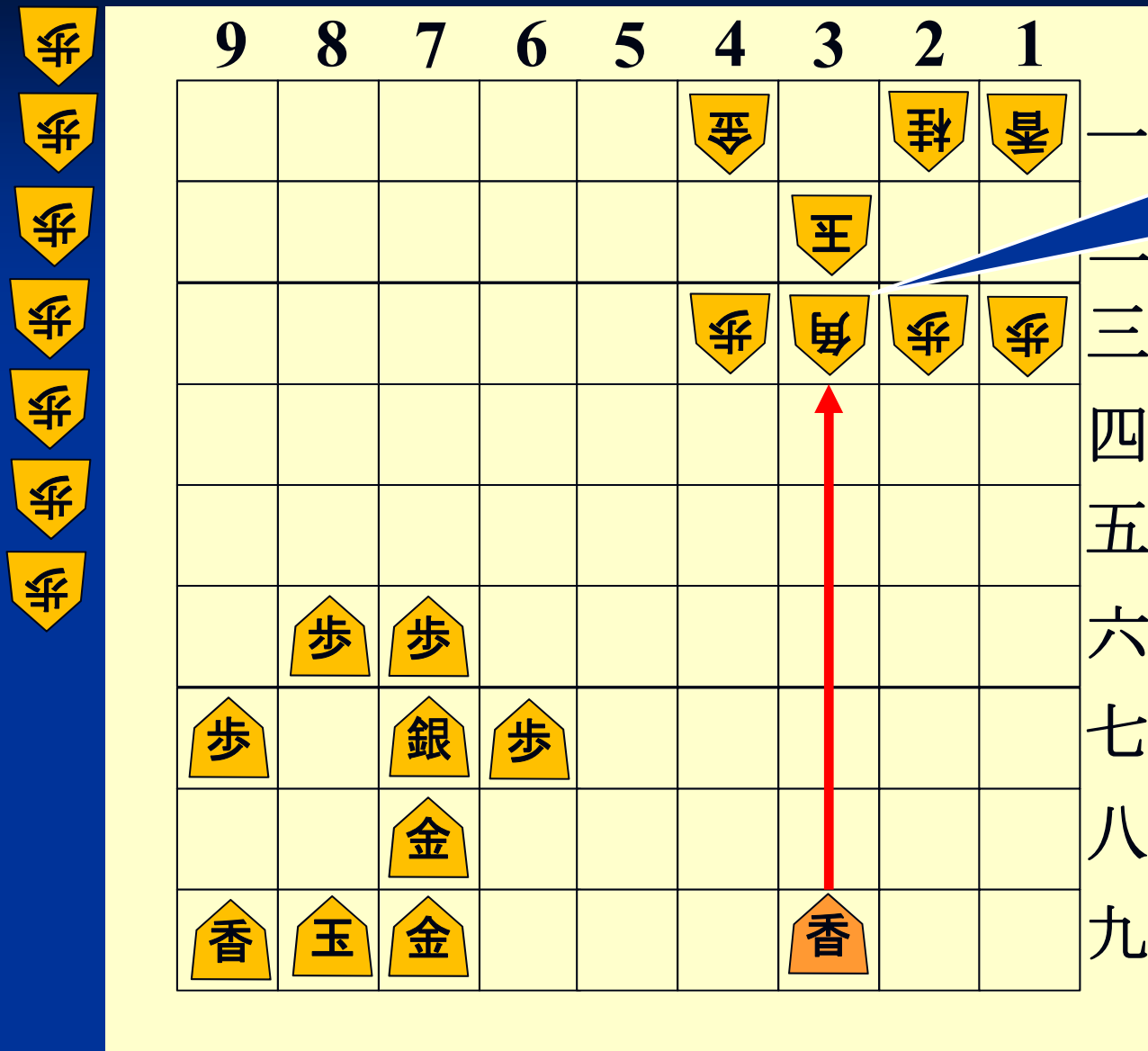
⇒より先に不利な局面があってもわからない

例:5手先まで読む場合

- × 手A: 4手先で自玉が詰む
- ? 手B: 8手先で自玉が詰む
- ? 手C: 自玉は当面詰まない

手Bと手Cの
どちらがいいか
分からない

水平線効果：将棋



角は逃げられない！

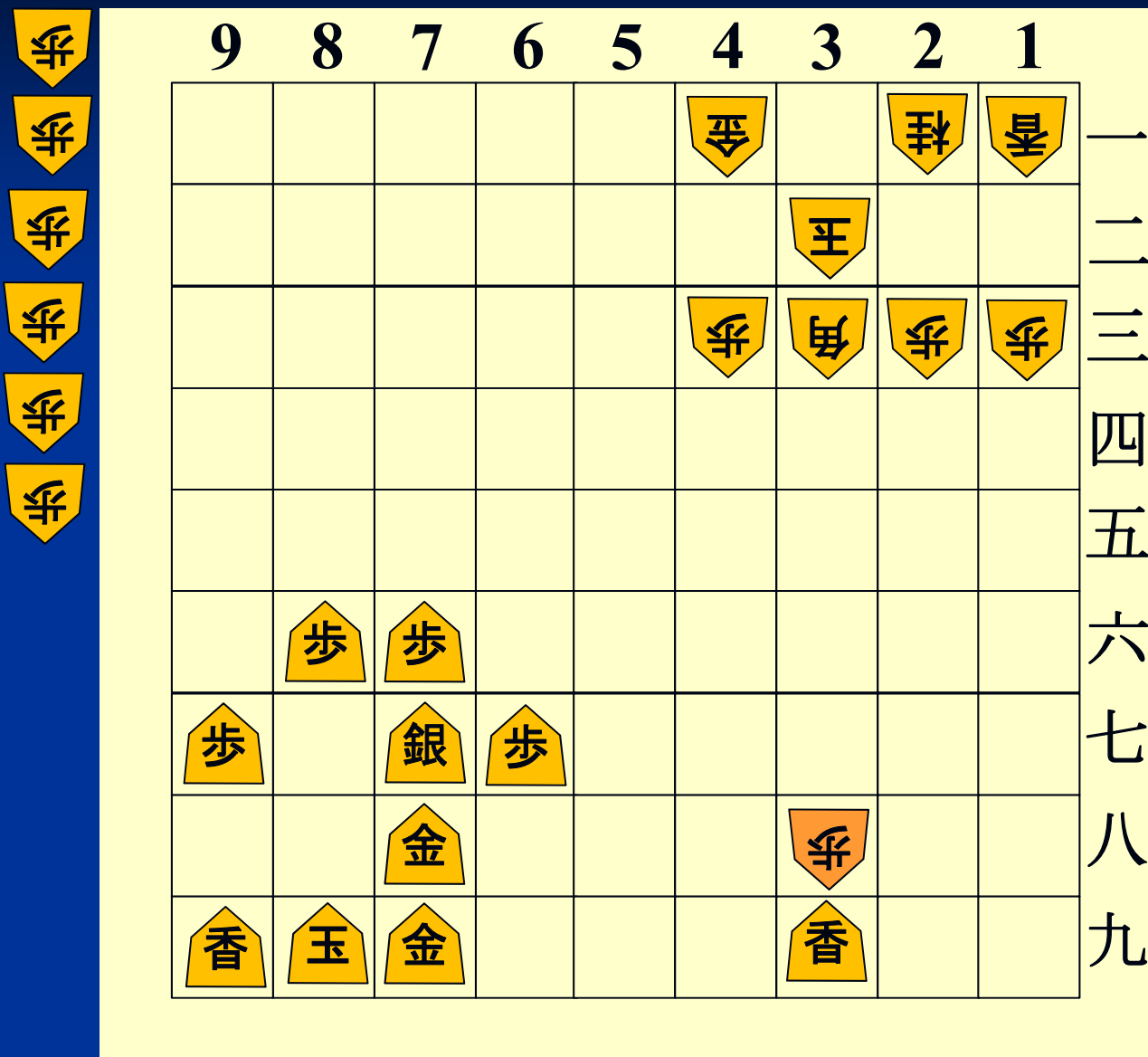
この状態では
▲3三香成は
防げない

⇒角は諦めて
他の手を考えるべき

しかし...

▲3九香まで

水平線効果：将棋

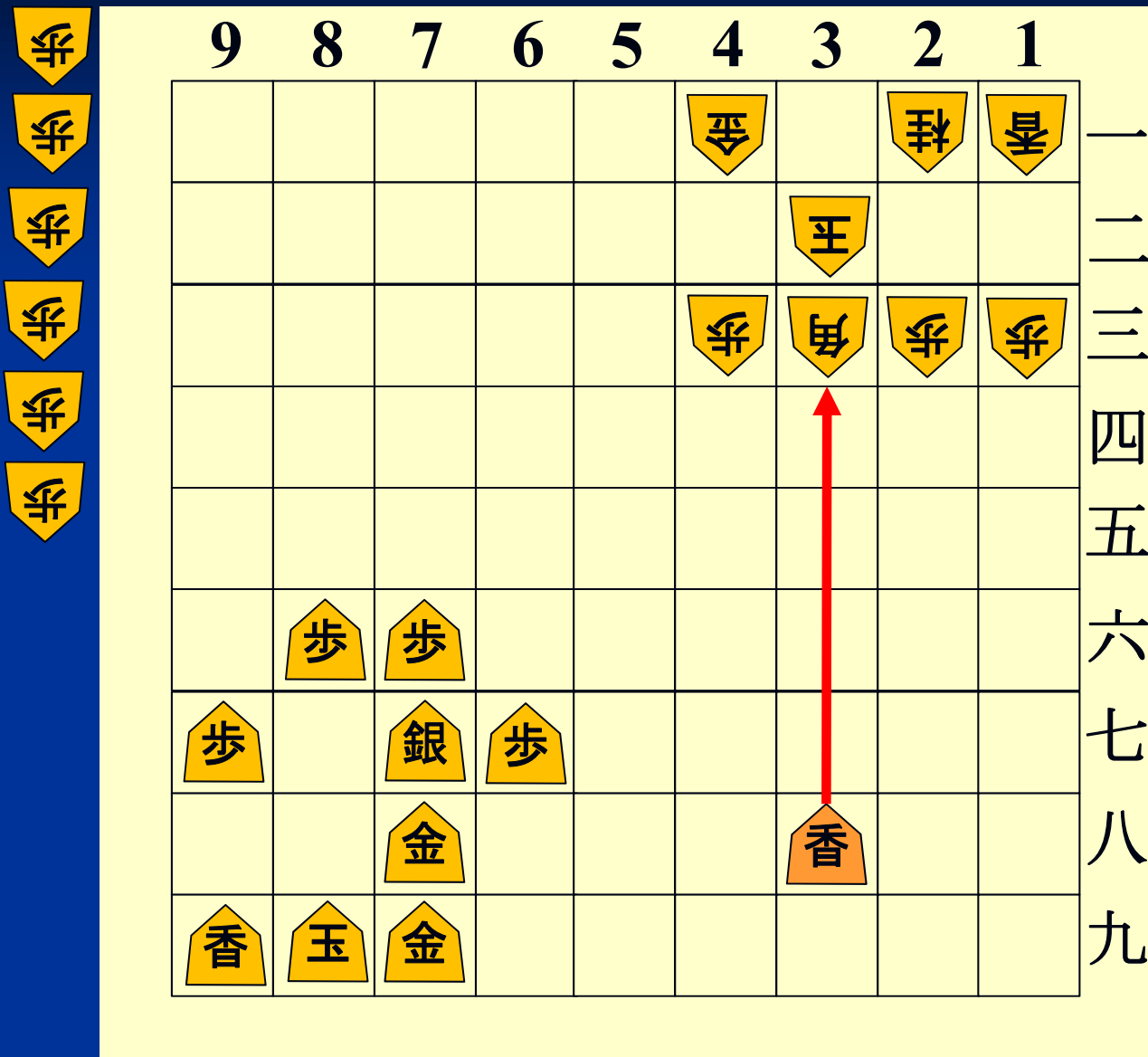


△3八歩

無意味な歩打ち

△3八歩まで

水平線効果：将棋

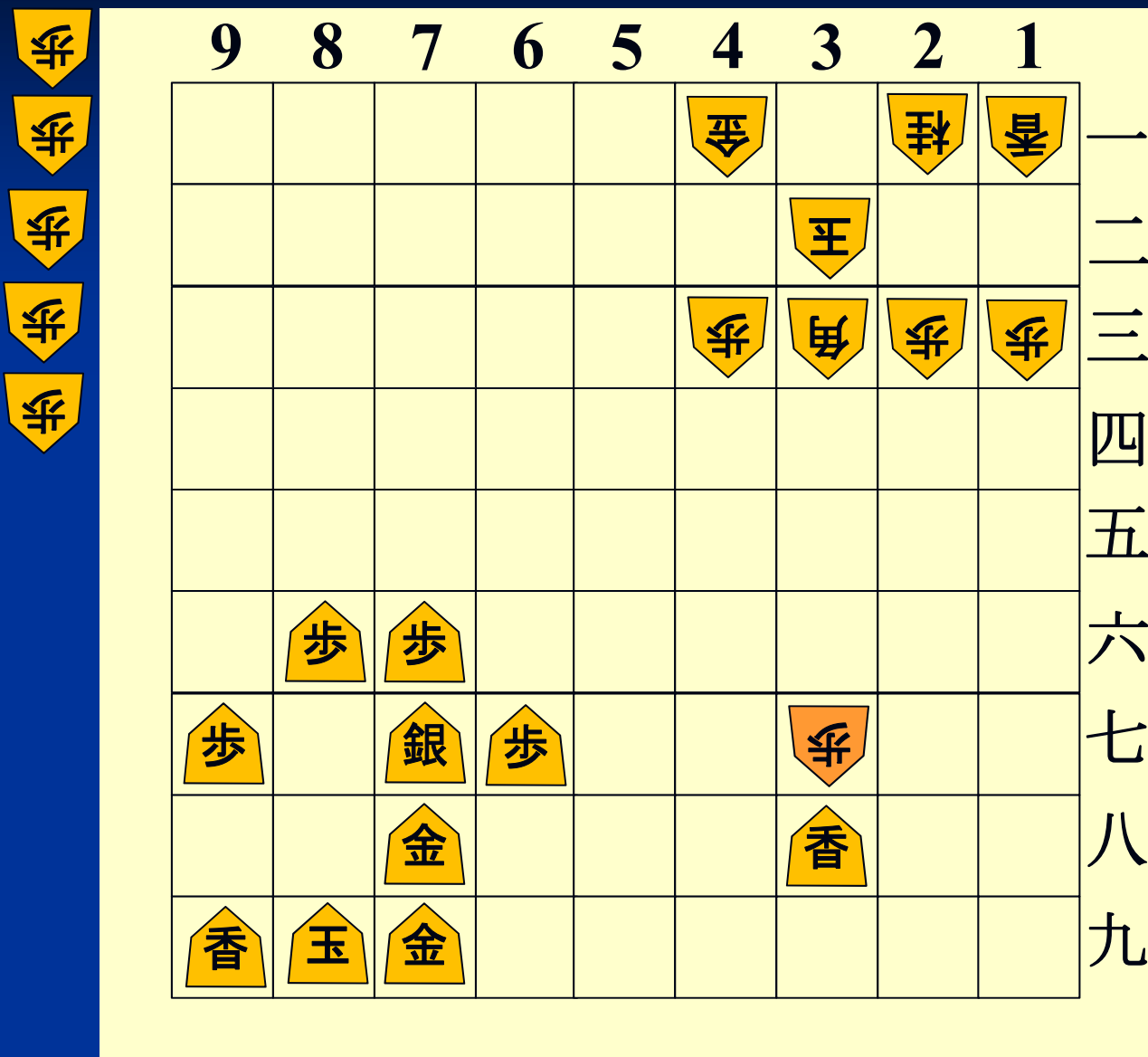


△3八歩 ▲同香

▲3八同香まで



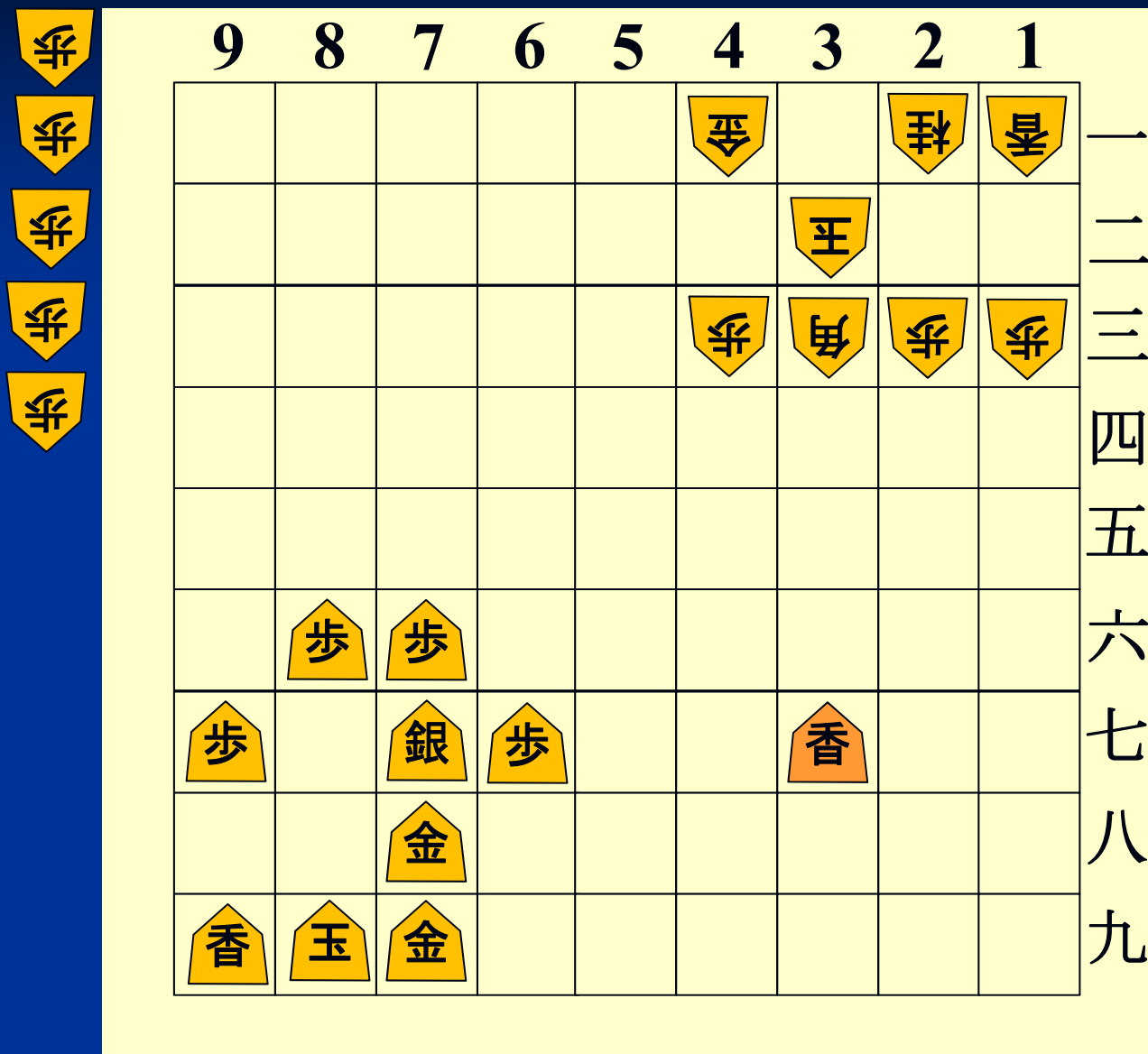
水平線効果：将棋



△3八歩 ▲同香
△3七歩

△3七歩まで

水平線効果：将棋

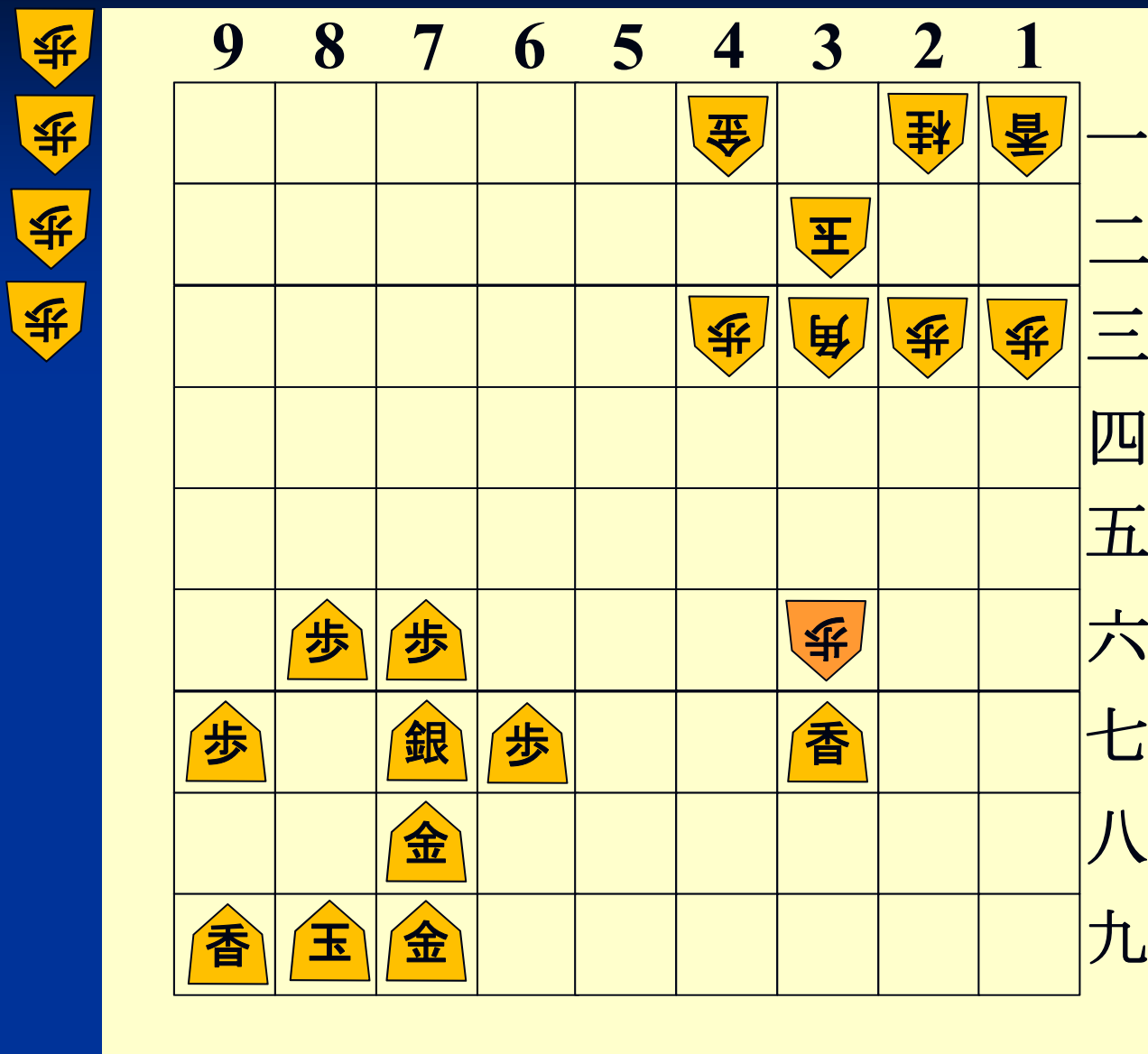


△3八歩 ▲同香
 △3七歩 ▲同香

▲3七同香まで



水平線効果：将棋

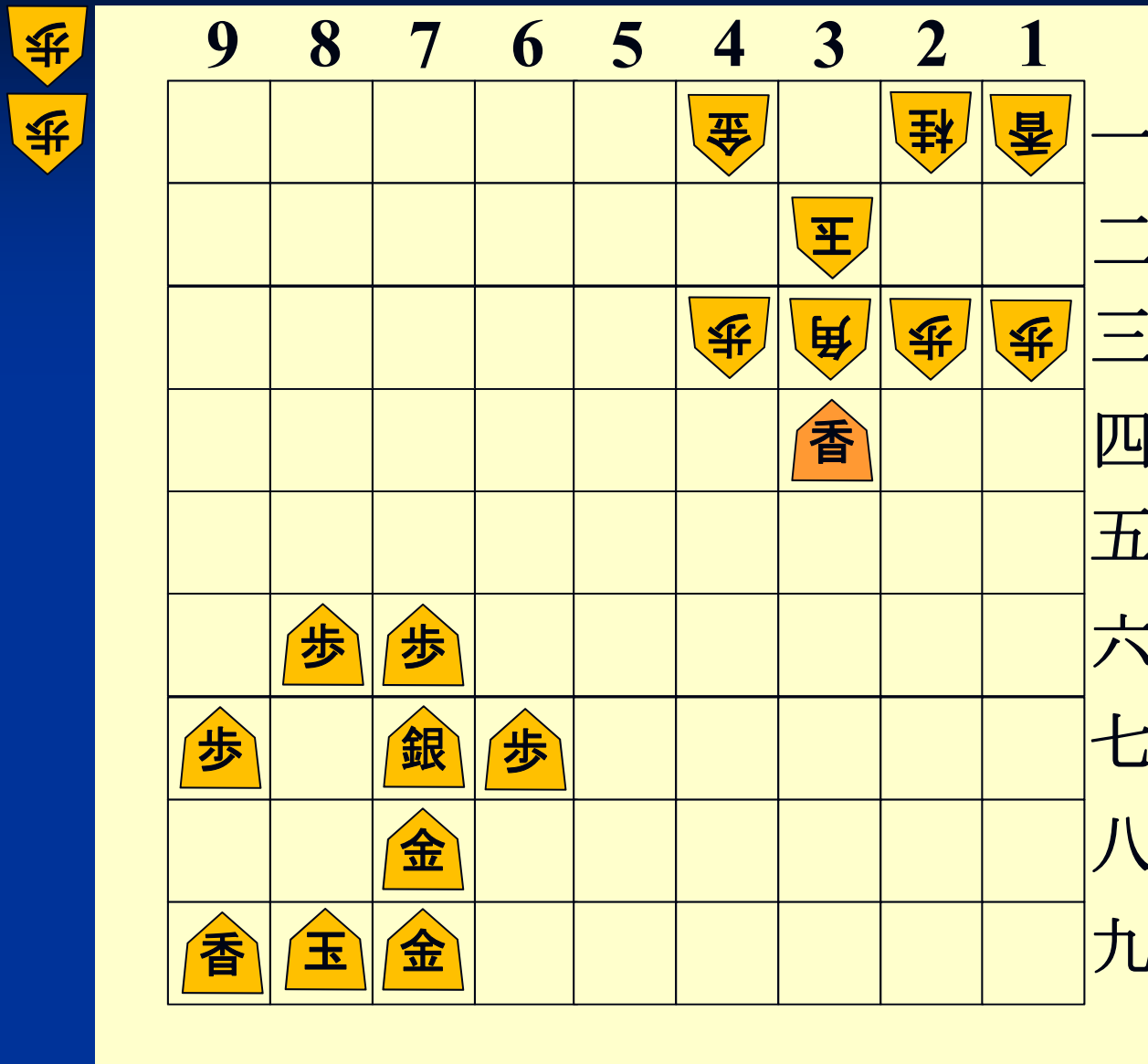


△3八歩 ▲同香
 △3七歩 ▲同香
 △3六歩

歩
歩

△3六歩まで

水平線効果：将棋



- △3八歩 ▲同香
- △3七歩 ▲同香
- △3六歩 ▲同香
- △3五歩 ▲同香
- △3四歩 ▲同香

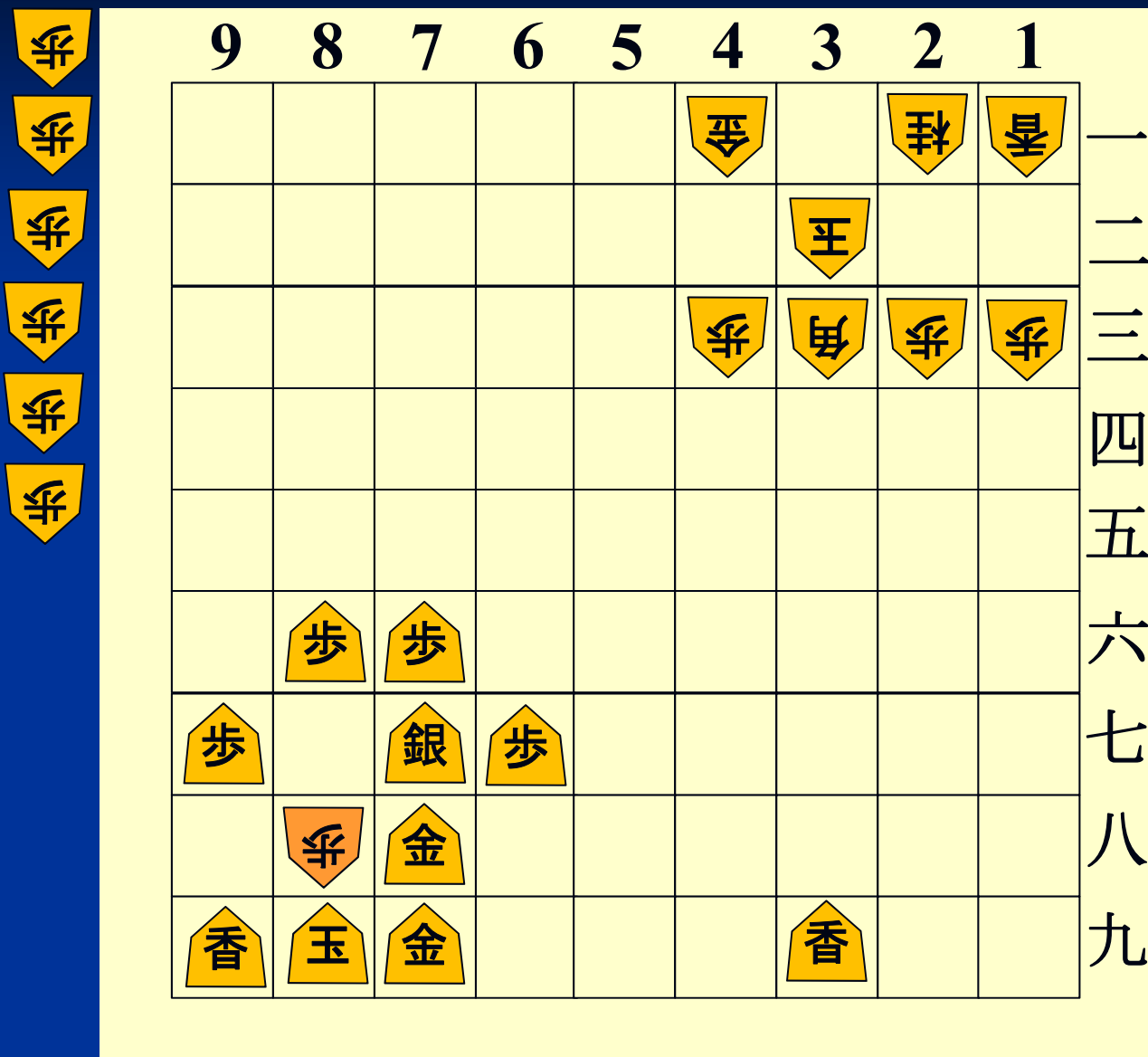
探索範囲



探索範囲では
角は取られない

▲3四同香まで

水平線効果：将棋

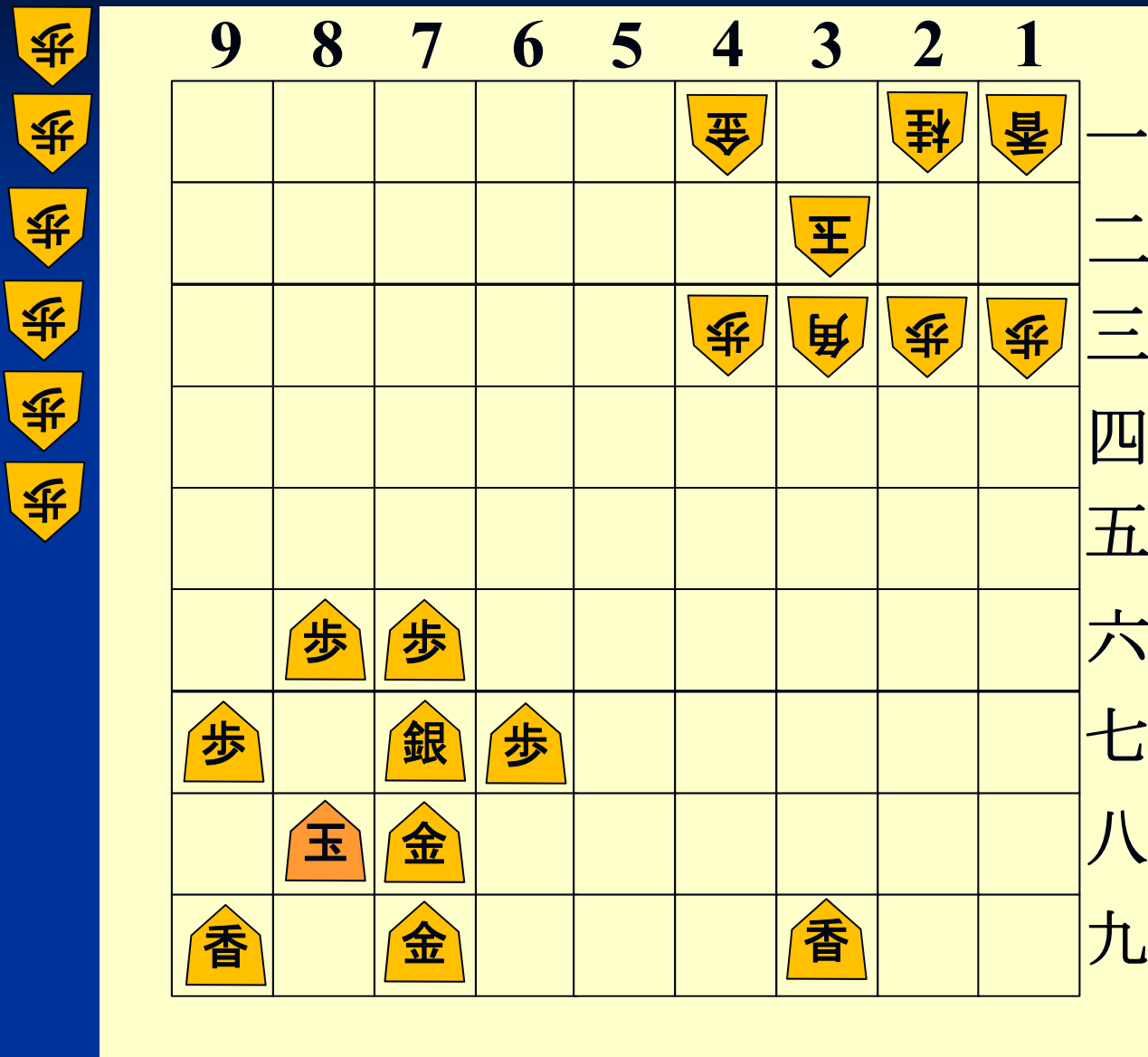


△8八歩

無意味な王手

△8八歩まで

水平線効果：将棋



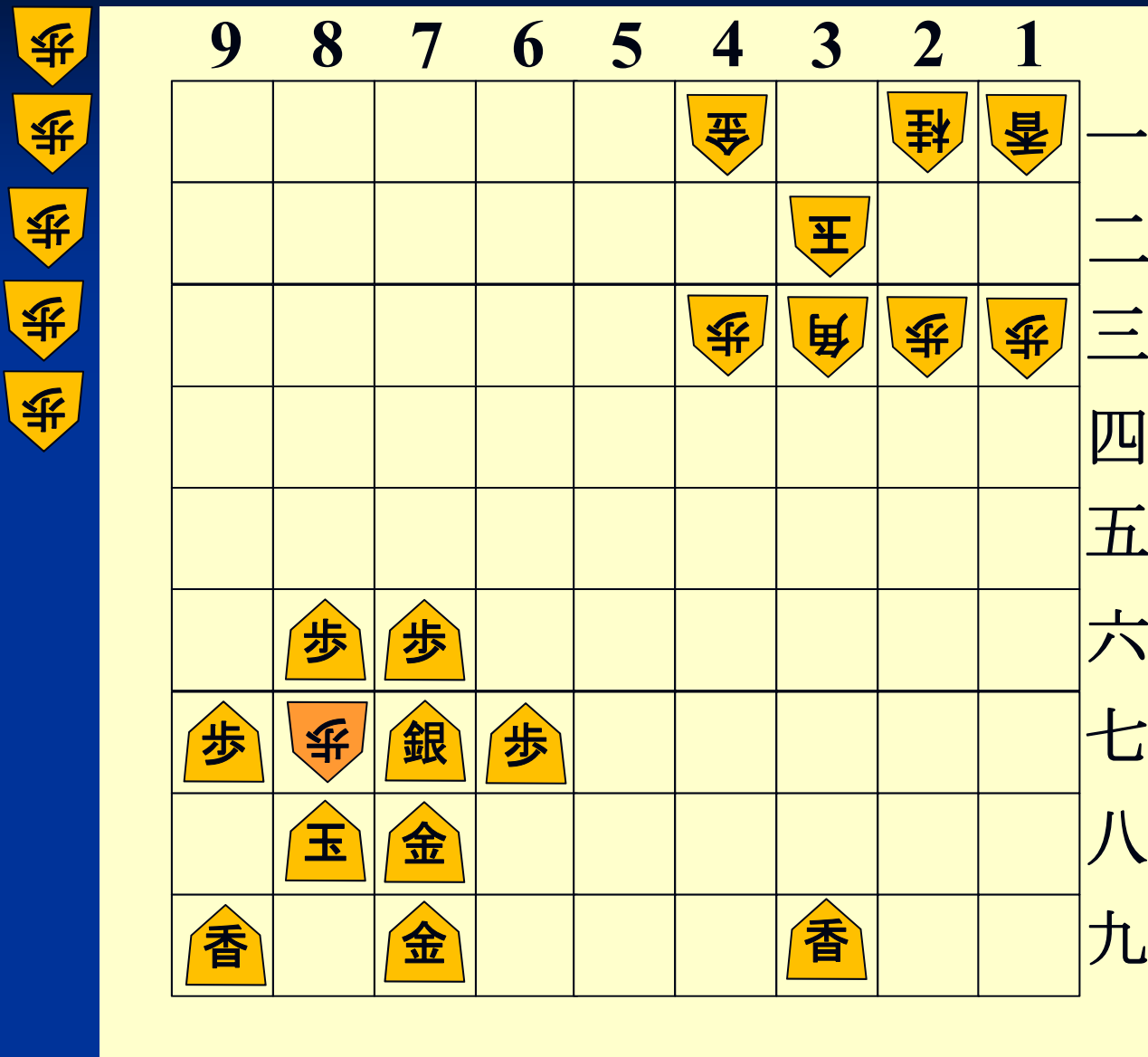
△8八歩

▲同玉

▲8八同玉まで



水平線効果：将棋



△8八歩

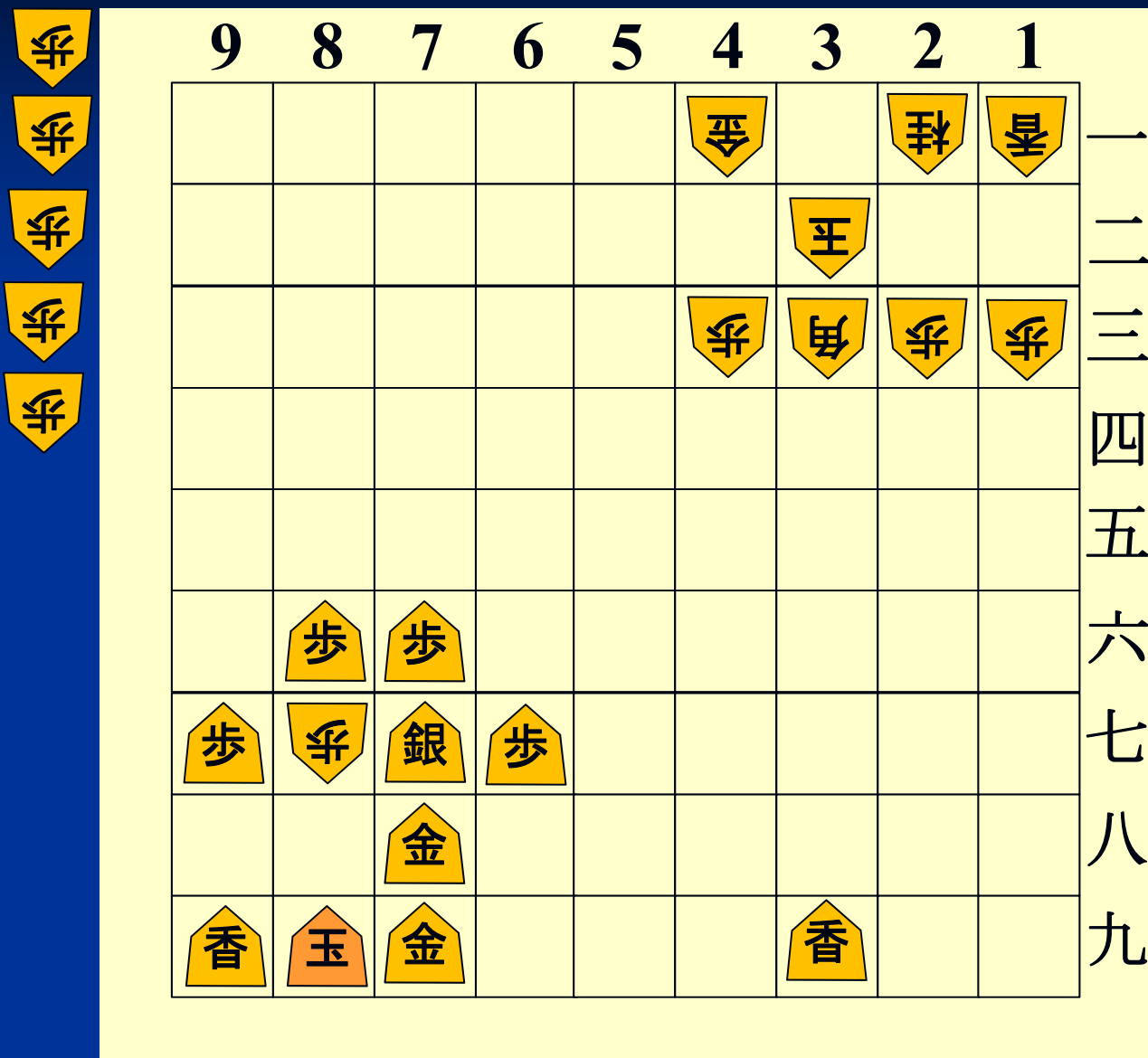
▲同玉

△8七歩

歩

△8七歩まで

水平線効果：将棋



△8八歩

▲同玉

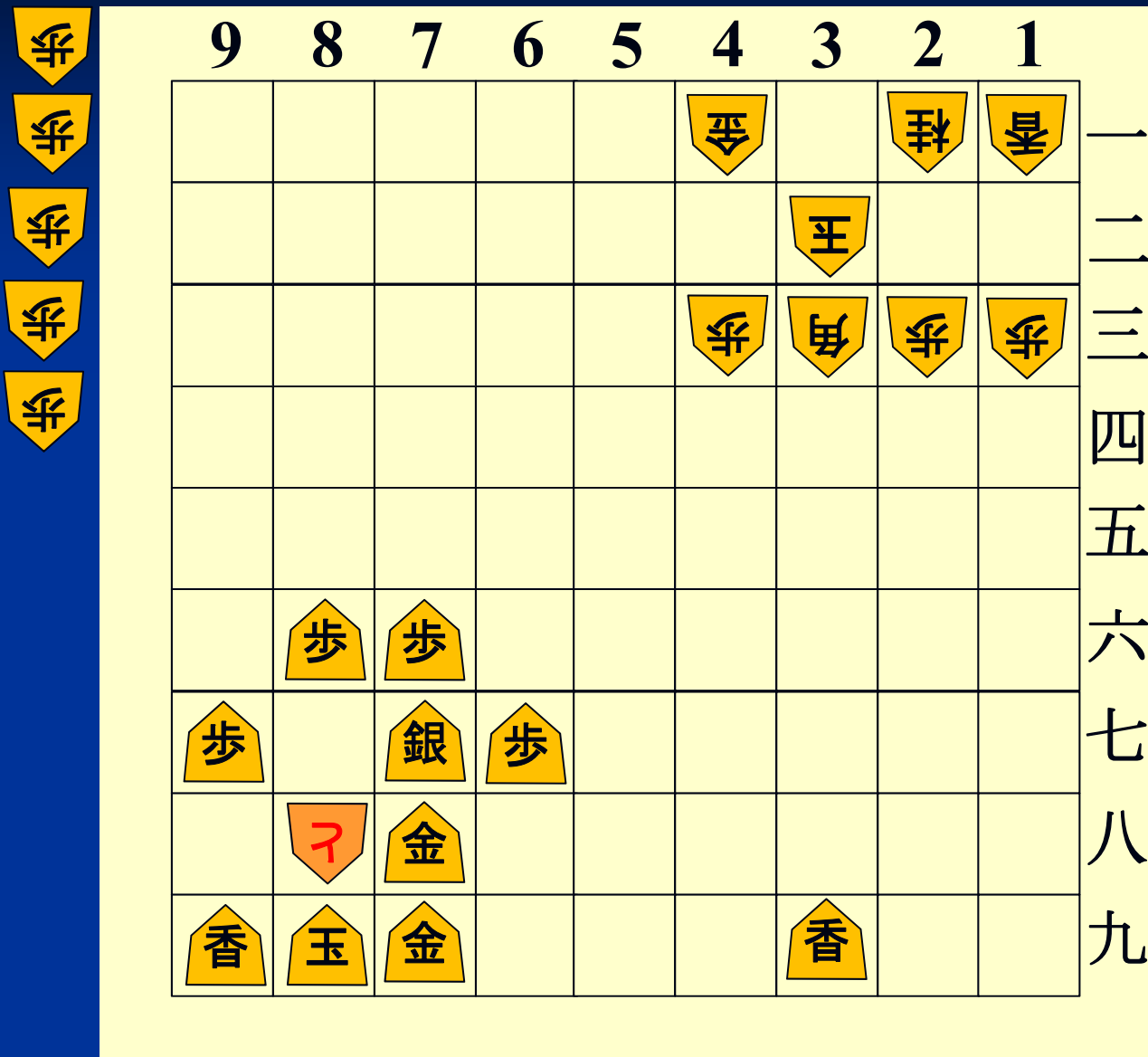
△8七歩

▲8九玉



▲8九玉まで

水平線効果：将棋



△8八歩

▲同玉

△8七歩

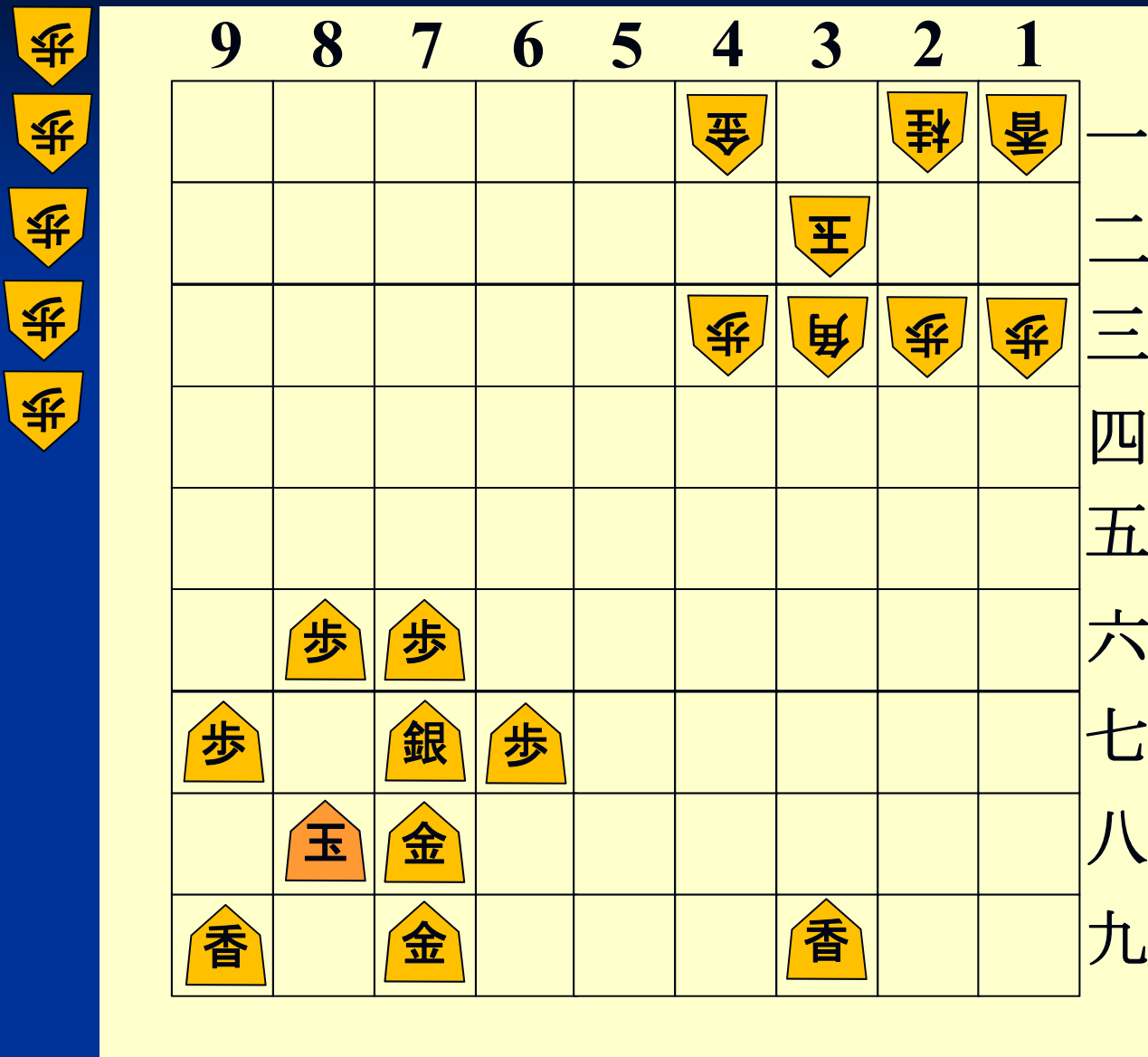
▲8九玉

△8八歩成

△8八歩成まで



水平線効果：将棋

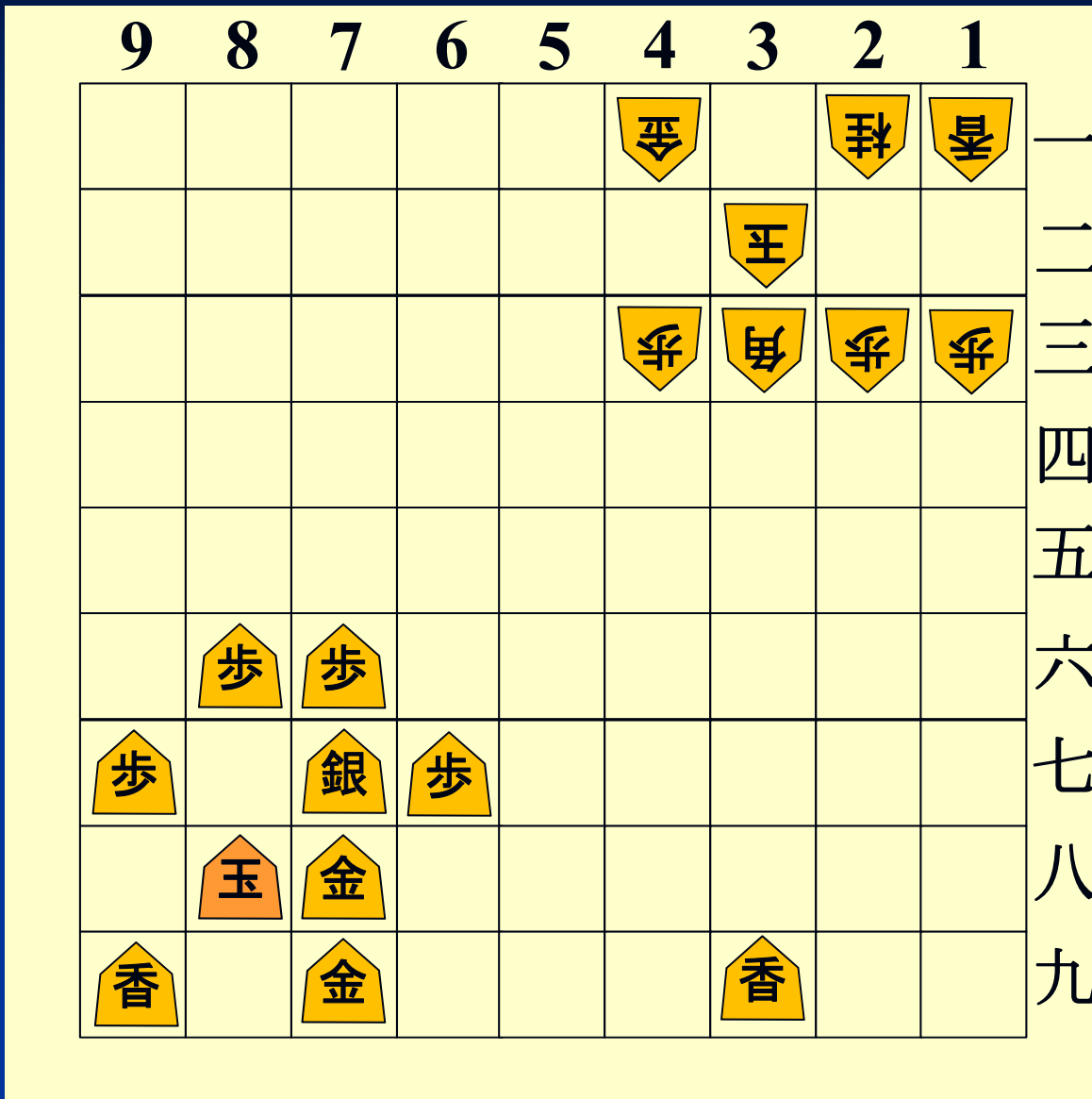


- △8八歩 ▲同玉
- △8七歩 ▲8九玉
- △8八歩成 ▲同玉



▲8八同玉まで

水平線効果：将棋



- △ 8 八歩 ▲ 同玉
- △ 8 七歩 ▲ 8 九玉
- △ 8 八歩成 ▲ 同玉
- △ 8 七歩 ▲ 8 九玉
- △ 8 八歩成 ▲ 同玉
- △ 8 七歩 ▲ 8 九玉

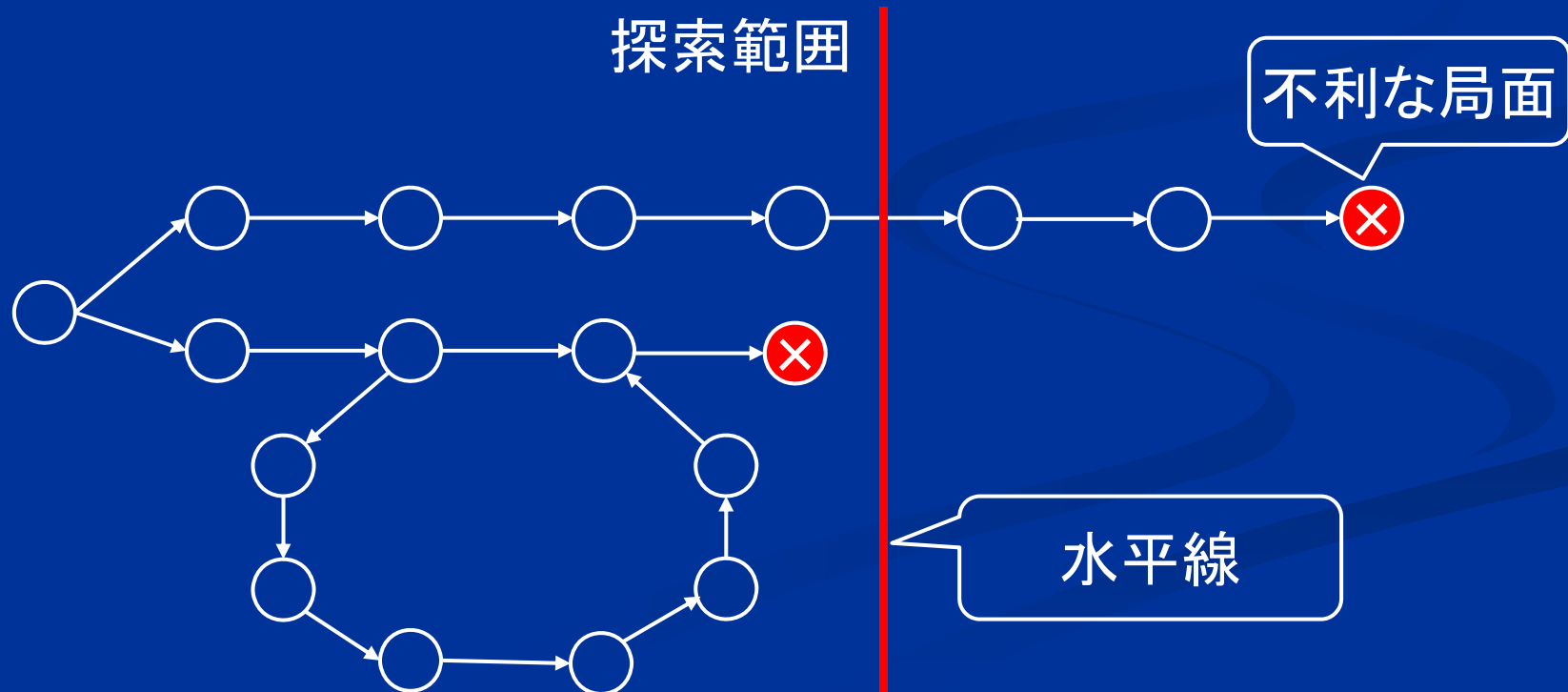


歩がある限り
角を取られるのを
先延ばしにできる

▲ 8 八 同玉 まで

水平線効果による問題点

- 水平線効果による問題点
 - 探索範囲外に不利な局面があっても分からない
 - 無意味な手で不利な局面を先延ばしにしてしまう



水平線効果への対処

■ 水平線効果への対処

■ 水平線効果が起きそう

⇒先読み数を増やす

● 駒の取り合いが続いている

⇒取り合いが収まるまで読む

● 手を進めるにつれ評価値が徐々に下がってきている

⇒無意味な駒捨てをしていないかチェックする

ただしこれだけでは完全には対処できない

水平線効果への対処

9	8	7	6	5	4	3	2	1	
▲香	桂					王	桂	▲香	一
	▲飛				▲角	▲金			二
			▲歩	▲歩	▲金	▲銀	▲歩	▲歩	三
▲歩		▲歩	▲銀		▲歩	▲歩			四
	▲歩						▲歩	▲銀	五
▲歩		▲歩	▲歩						六
	▲歩	▲銀	▲金	▲歩	▲歩	▲歩		▲歩	七
		▲金	▲角				▲飛		八
▲香	▲桂	▲玉					▲桂	▲香	九

この局面で
▲2四歩は
有効？

駒の取り合いが
続く限り
読み進める

△6五銀まで

水平線効果への対処

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
▲	香	桂					王	桂	香	一
		飛				角	金			二
				歩	歩	金	銀		歩	三
	歩		歩	銀		歩	歩	歩		四
		歩							銀	五
	歩		歩	歩						六
		歩	銀	金	歩	歩	歩		歩	七
			金	角				飛		八
	香	桂	玉					桂	香	九

▲2四歩 △同歩

先手の歩損

△2四同歩まで

水平線効果への対処

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
銀	香	桂					王	桂	香	一
歩		飛				角	金			二
				歩	歩	金			歩	三
	歩		歩	銀		歩	歩	銀		四
		歩								五
	歩		歩	歩						六
		歩	銀	金	歩	歩	歩		歩	七
			金	角				飛		八
	香	桂	玉			金		桂	香	九

- ▲2四歩 △同歩
- ▲同銀 △同銀

先手の銀損

△2四同銀まで



水平線効果への対処

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
飛	香	桂					王	桂	香	一
銀		飛					金			二
歩				歩	歩	金			歩	三
	歩		歩	銀		歩	歩	角		四
		歩								五
	歩		歩	歩						六
		歩	銀	金	歩	歩	歩		歩	七
			金	角						八
	香	桂	玉					桂	香	九

- ▲2四歩 △同歩
- ▲同銀 △同銀
- ▲同飛 △同角

取り合い終了

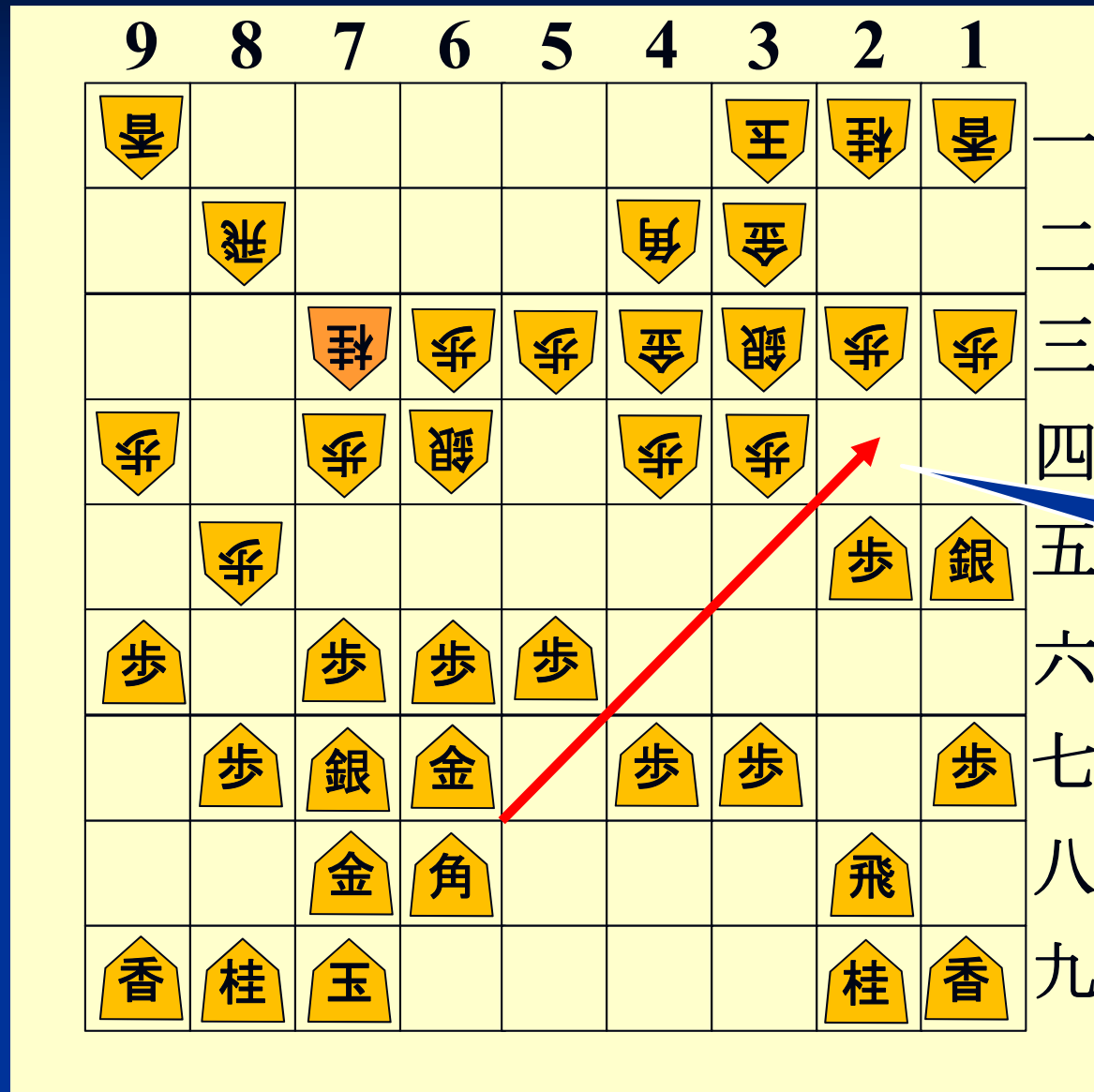
先手の飛車損

⇒▲2四歩は
指してはいけない



△2四同角まで

水平線効果への対処



この局面なら
▲2四歩は
有効？

2四に角が
利いている

△7三桂まで

水平線効果への対処

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
一	皇						王	桂	皇	一
二		飛				角	金			二
三			桂	歩	歩	金			歩	三
四	歩		歩	銀		歩	歩	銀		四
五		歩								五
六	歩		歩	歩	歩					六
七		歩	銀	金		歩	歩		歩	七
八			金	角				飛		八
九	香	桂	玉					桂	香	九

- ▲ 2四歩 △ 同歩
- ▲ 同銀 △ 同銀

先手の銀損

△2四同銀まで



水平線効果への対処

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
角	香						王	桂	香	一
銀		飛					金			二
歩			桂	歩	歩	金			歩	三
	歩		歩	銀		歩	歩	角		四
		歩								五
	歩		歩	歩	歩					六
		歩	銀	金		歩	歩		歩	七
			金					飛		八
	香	桂	玉					桂	香	九

- ▲2四歩 △同歩
- ▲同銀 △同銀
- ▲同角 △同角

先手の角損



△2四同角まで

水平線効果への対処

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
角	香						王	桂	香	一
銀		飛					金			二
歩			桂	歩	歩	金			歩	三
	歩		歩	銀		歩	歩	飛		四
		歩								五
	歩		歩	歩	歩					六
		歩	銀	金		歩	歩		歩	七
			金							八
	香	桂	玉					桂	香	九

- ▲2四歩 △同歩
- ▲同銀 △同銀
- ▲同角 △同角
- ▲同飛

取り合い終了

双方駒損は無し

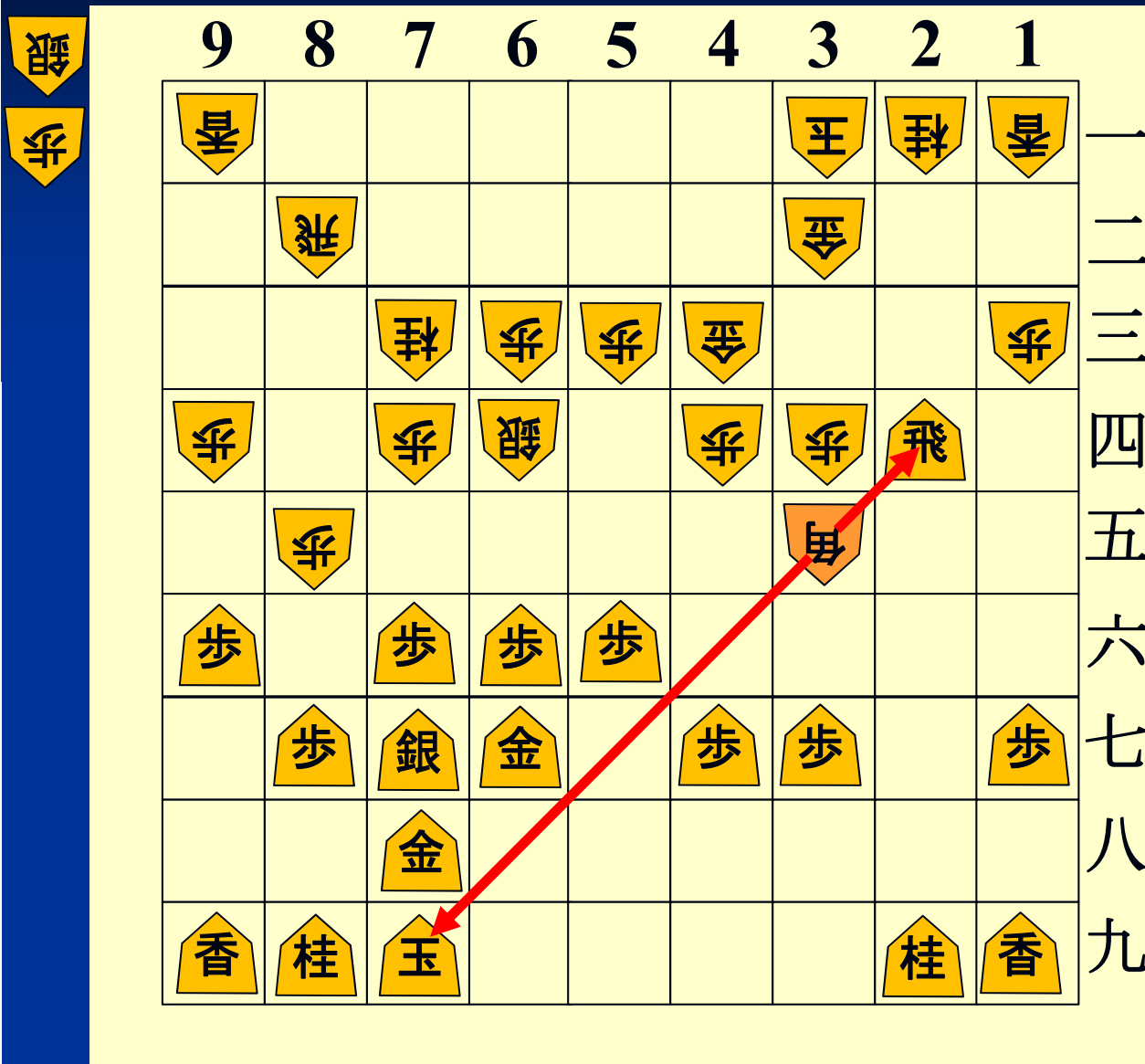
⇒▲2四歩は有効



しかし...

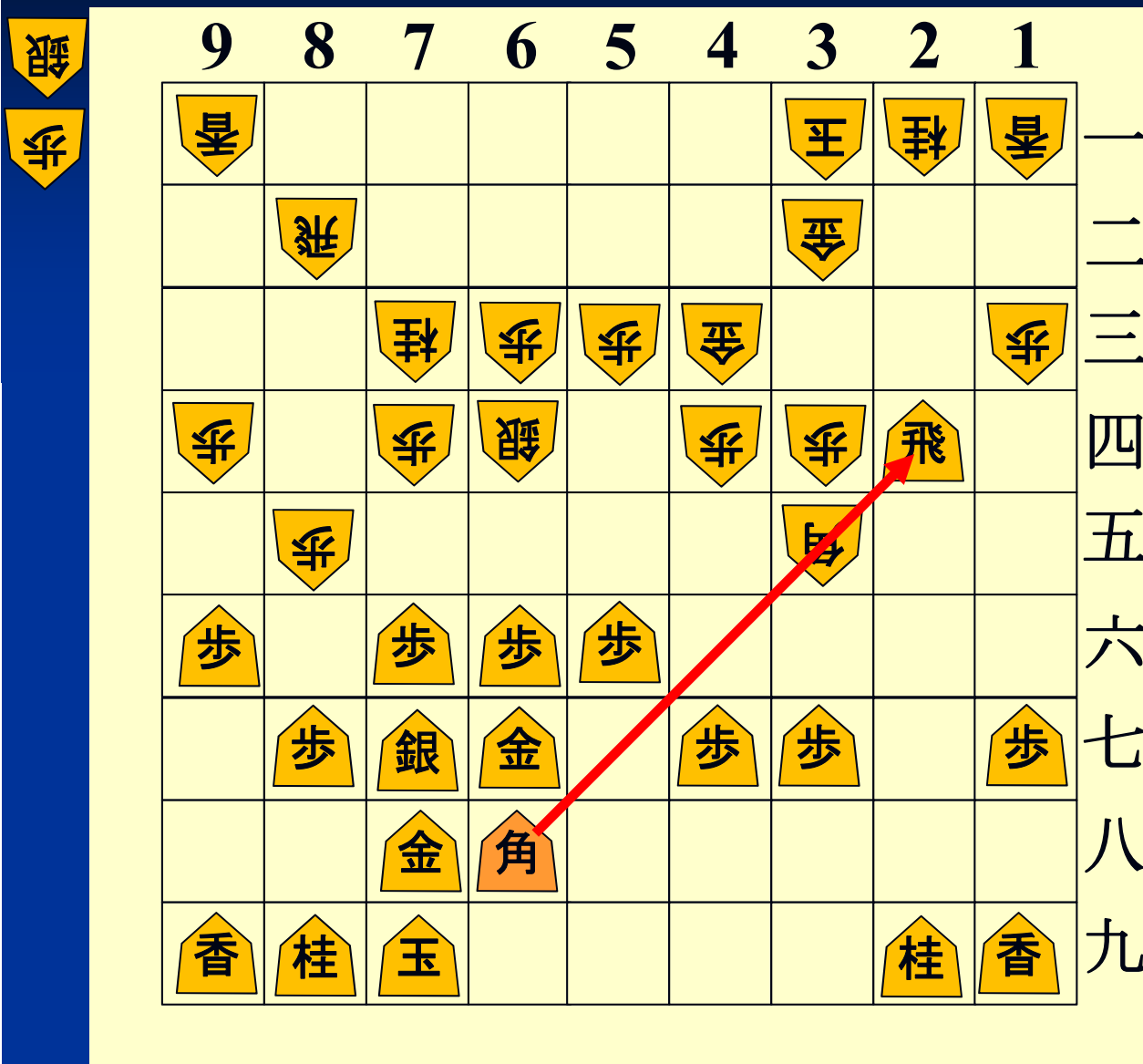
▲2四同飛まで

水平線効果への対処



△3五角まで

水平線効果への対処



- ▲2四歩 △同歩
- ▲同銀 △同銀
- ▲同角 △同角
- ▲同飛 △3五角
- ▲6八角

▲6八角で
防ぐが...



水平線効果への対処

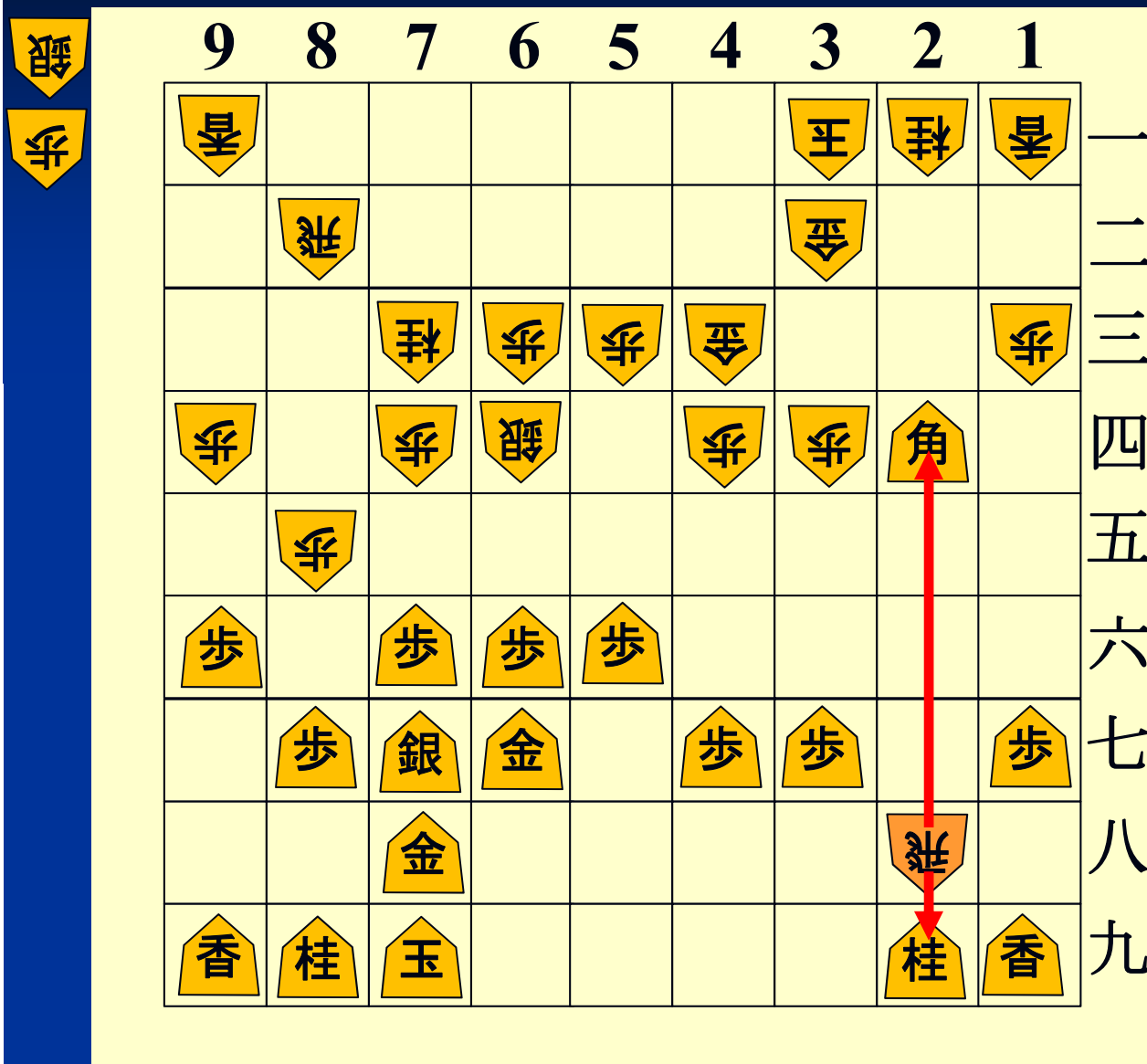
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
飛	皇						王	桂	皇	一
銀		飛					金			二
歩			桂	歩	歩	金			歩	三
	歩		歩	銀		歩	歩	角		四
		歩								五
	歩		歩	歩	歩					六
		歩	銀	金		歩	歩		歩	七
			金							八
	香	桂	玉					桂	香	九

- ▲2四歩 △同歩
- ▲同銀 △同銀
- ▲同角 △同角
- ▲同飛 △3五角
- ▲6八角 △2四角
- ▲同角

- 歩
- 銀
- 角

▲2四同角まで

水平線効果への対処



- ▲2四歩 △同歩
- ▲同銀 △同銀
- ▲同角 △同角
- ▲同飛 △3五角
- ▲6八角 △2四角
- ▲同角 △2八飛

角桂両取り
+龍を作られる



⇒ ▲2四歩は
指してはいけない

△2八飛まで

水平線効果への対処

- 水平線効果への対処
 - 駒の取り合いが収まるまで読む
 - 無意味な駒捨てをしていないかチェックする

ただしこれだけでは完全には対処できない

現時点で水平線効果を確実に防ぐ方法は無い

課題

- 以下のテーマから1つ選び調査してください
 - 12月21日(水) 2限 発表 (5分~10分)
 - 1月11日(水) 17:00 報告書提出
 - チェス・将棋・囲碁等の強いソフト
 - チェス・将棋・囲碁等の着手選択法
 - コンピュータチェス・将棋・囲碁の歴史
 - 完全解析されているゲーム
 - 並列計算機にはどのようなものがあるか
 - LANを用いた仮想計算機
 - クラスタ処理・グリッド処理
 - その他