

今回の内容

13.1 スレッド . . . . . 13-1

13.2 Thread クラス . . . . . 13-1

13.3 マルチスレッドと排他制御 . . . . . 13-5

13.4 演習問題 . . . . . 13-10

13.5 付録：新しい FreeCellPanel.java . . . . . 13-11

13.1 スレッド

第9回の「イベントディスパッチスレッド」の節では、Java が、プログラムの異なる部分を(あたかも)同時に並行して実行することが可能で、それぞれの実行の流れをスレッド (thread) と呼ぶことを説明しました。

Java プログラムが起動されると、起動したクラスのクラスメソッド main を実行するために、main スレッドと呼ばれるスレッドが生成されます。基本的には、main メソッドの仕事が終われば、プログラム全体も終了することになります。GUI を持つプログラムの場合は、この main のスレッドとは別に、GUI に関するイベントループの仕事を行うイベントディスパッチスレッドと呼ばれるスレッドが生成され、ウィンドウの内容の描画や、ユーザーの操作によって発生する各種のイベントの処理(イベントハンドラの起動)を行います。このスレッドが終了しないと GUI プログラムは終了しません。

13.2 Thread クラス

Java では、スレッドを java.lang.Thread クラスのオブジェクトとして表現し、このオブジェクトを介してスレッドを操作します。

Thread クラス — スレッドを表す

主なコンストラクタ Thread() Thread(Runnable r)	特に何もしない(空の run メソッドを持つ)スレッド r.run() を実行するスレッド
主なクラスメソッド static Thread currentThread() static void sleep(long ms)	このメソッドを起動したスレッド(現在のスレッド)を戻す  このメソッドを起動したスレッドを ms ミリ秒間停止する(その途中で割り込みを受けると、InterruptedException がスローされる)
主なインスタンスメソッド void interrupt() boolean isAlive() void join()  void join(long ms)  void run()	このスレッドに対して割り込みを掛ける このスレッドが実行中かどうかを戻す このスレッドの実行が終了するのを待つ(待っている間に割り込みを受けると、InterruptedException がスローされる) このスレッドの実行が終了するのを最大 ms ミリ秒待つ(待っている間に割り込みを受けると、InterruptedException がスローされる) このインスタンスが Runnable オブジェクトを指定して生成されたものなら、そのオブジェクトの run メソッドを起動する。そうでないのなら何もしない

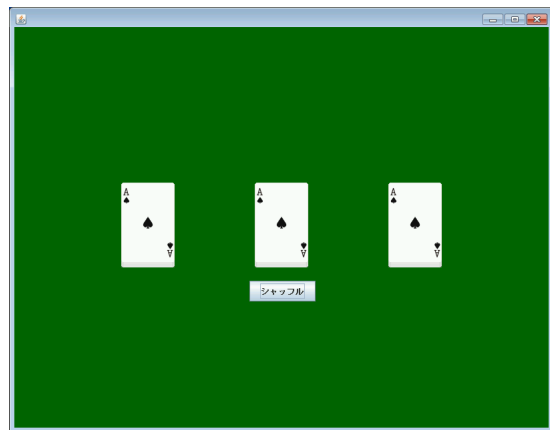
スレッドの生成 Java プログラム中で新しいスレッドを生成するためには、Thread クラスのインスタンスを生成し、そのインスタンスの start メソッドを起動します。Thread クラスのインスタンスの生成には、次の2通りの方法があり、start メソッドでスレッドの実行が開始されたときに起動されるメソッドが異なります。

方法1. Thread のサブクラスを定義して、そのインスタンスを生成する — サブクラスでは run メソッドを再定義します。生成されたインスタンスに対して start メソッドを起動すると、新たに生成された実行の流れは、この再定義された run メソッドを実行します。

方法2. Runnable を実装したオブジェクトをコンストラクタの引数として、Thread のインスタンスを生成する — この場合、start メソッドの起動で新たに生成される実行の流れは、コンストラクタの引数となった (Runnable 型の) オブジェクトの持つ run メソッドを実行します。

スレッド生成を行うプログラム例 スレッド生成を行うプログラムの例を紹介します。次のプログラム S1301.java は、右の図のように、3つの表向きのデッキと、1つのボタンをゲーム盤に置き、ボタンがクリックされると、左から順に3つのデッキを、すべてシャッフルするようにしたものです。

このプログラムでは「方法1」を使ってスレッドを生成しています。ゲーム盤のクラスである S1301Panel のメンバクラスとして、Thread クラスのサブクラス S1301Shuffle を宣言し (30～36行目)、このクラスのインスタンスを生成して start しています (26～27行目)。



```

S1301.java
1 import java.awt.event.*;
2 import javax.swing.*;
3 import jp.ac.ryukoku.math.graphics.*;
4
5 class S1301Panel extends GamePanel {
6     Deck[] decks = new Deck[3];
7     JButton button = new JButton("シャッフル");
8
9     S1301Panel() {
10        int x = 160;
11        for (int i = 0; i < decks.length; i++) {
12            decks[i] = new Deck();
13            decks[i].flip();
14            add(decks[i], x, 240);
15            x += 200;
16        }
17        add(button, 352, 380);
18        button.addActionListener(new ActionListener() {
19            public void actionPerformed(ActionEvent e) {

```

```

20         shuffleAll();
21     }
22 });
23 }
24
25 void shuffleAll() {
26     Thread th = new S1301Shuffle();
27     th.start();
28 }
29
30 class S1301Shuffle extends Thread {
31     public void run() {
32         for (Deck d : decks) {
33             d.shuffle();
34         }
35     }
36 }
37 }
38
39 class S1301 implements Runnable {
40     public void run() {
41         JFrame f = new JFrame();
42         f.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
43         f.add(new S1301Panel());
44         f.pack();
45         f.setVisible(true);
46     }
47
48     public static void main(String[] args) {
49         SwingUtilities.invokeLater(new S1301());
50     }
51 }

```

ボタンがクリックされると、イベントディスパッチスレッドは、そのボタンに `ActionListener` として登録されたイベントハンドラ (匿名クラスのインスタンス) の `actionPerformed` メソッド (19 ~ 21 行目) を起動し、そこから `S1301Panel` クラスのインスタンスメソッド `shuffleAll` (25 ~ 28 行目) を呼び出します。ここで、`Thread` のサブクラス `S1301Shuffle` のインスタンスが生成されて (26 行目)、`start` の起動により、新しいスレッドの実行が開始されます (27 行目)。

新しいスレッドの実行を開始したら、その終了を待たずに、`start` の起動は直ちに終了しますので、`shuffleAll` (と `actionPerformed`) の呼び出しも完了して、イベントディスパッチスレッドによる実行の流れは、イベントループへ戻ることになります。

一方、`start` の起動により実行が開始された新しいスレッドは、`S1301Shuffle` の `run` メソッド (31 ~ 36 行目) を起動します。この `run` メソッドでは、3つのデッキを左から順にシャッフルしていますが、この実行の流れと並行して、イベントディスパッチスレッドも実行されていますので、そこでゲーム盤の再描画が行われ、デッキがシャッフルされていく様子がゲーム盤に表示されることになります。

もし、新たなスレッドを生成せずに、単に `shuffleAll` メソッドを

```

void shuffleAll() {
    for (Deck d : decks) {
        d.shuffle();
    }
}

```

```
}
```

のように宣言すると、確かに3つのデッキはシャッフルされますが、その作業はイベントディスパッチスレッドで行われることとなりますので、シャッフルが完了するまではイベントループへは戻らず、ゲーム盤の表示の更新も行われません。シャッフルが完了して初めて(完了後の様子に)表示が切り替わることとなります<sup>1</sup>。

方法2によるスレッドの生成 S1301.javaと同じ動作は、「方法2」を用いてスレッドを生成して実現することもできます。S1301ShuffleをThreadのサブクラスとして宣言する代わりに、次のようにRunnableを実装したクラスとして宣言し、

```
*30 class S1301Shuffle implements Runnable {
31     public void run() {
32         for (Deck d : decks) {
33             d.shuffle();
34         }
35     }
36 }
```

26行目は

```
*26 Thread th = new Thread(new S1301Shuffle());
```

と書き換えます(変わったのは26行目と30行目だけです)。

この例を見て分かるように、新たなクラスを宣言してスレッド生成を行うのなら、方法1の方が簡潔に書けますので、敢えて方法2を使うことはありません。しかし、すでにRunnableを実装したクラスがあって、そのクラスを利用する場合などには、方法2が便利です<sup>2</sup>。

匿名クラスを利用したスレッドの生成 方法1でも方法2でも、多くの場合、匿名クラスを利用すると、プログラムが簡潔になります。たとえば、方法1のS1301.javaでは、ThreadのサブクラスS1301Shuffleを、S1301Panelのメンバクラスとして宣言していましたが、メンバクラスの宣言の代わりに匿名クラスを利用して、shuffleAllメソッドを

```
void shuffleAll() {
    Thread th = new Thread() {
        public void run() {
            for (Deck d : decks) {
                d.shuffle();
            }
        }
    };
    th.start();
}
```

のように宣言することができます。変数thは必要ありませんので、

---

<sup>1</sup>d.shuffle();の部分を、d.shuffleAsync();と変更すれば、シャッフルの様子が画面に表示されますが、3つのデッキが(ほぼ)同時にシャッフルされてしまいます。shuffleAsyncは、デッキのシャッフルの開始し、その終了を待たずに呼び出し元へリターンするメソッドです。このためshuffleAllも直ちにリターンできるようにはなるものの、デッキを1つずつシャッフルすることができなくなります。

<sup>2</sup>RunnableインタフェースはThreadの生成以外にも、いろいろなところで利用されています。

```

void shuffleAll() {
    new Thread() {
        public void run() {
            :
        }
    }.start();
}

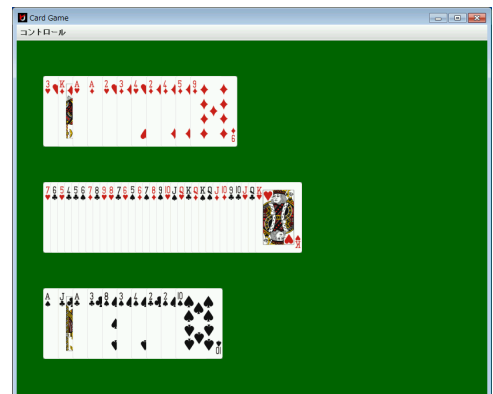
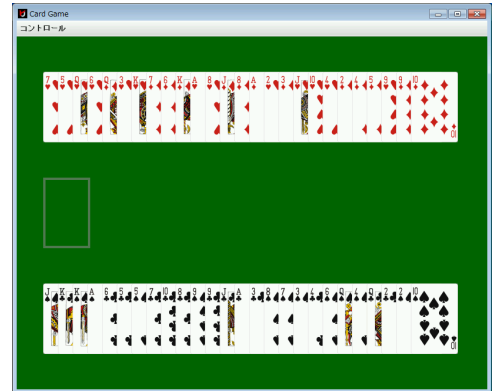
```

でももちろん構いません。

### 13.3 マルチスレッドと排他制御

S1301.java のような、複数のスレッドを利用したプログラミングを、一般にマルチスレッドプログラミング (**multithreaded programming**) と呼びます。マルチスレッドプログラミングでは、並行して実行される複数のスレッドが、オブジェクトの状態に、それぞれ勝手にアクセスすると、プログラムの動作に思わぬ不具合が生じることがあります。

次のプログラム S1302.java は、シャッフルした表向きのデッキから、赤のカード (ハートとダイヤ) と黒のカード (スペードとクラブ) を、上下2つの山 (Pile) に分類した後 (右図上)、中段の (最初は空の) 山に、その2つの山からカードを移動していくプログラムです (右図下)。ただし、中段の山へ移動できるカードは、その1番上のカードとランクが1つ違いのカードだけです。中段の山が空のとき (最初だけ) は、どのカードでもそこに移動することができます。



不完全な S1302.java

```

1 import jp.ac.ryukoku.math.graphics.*;
2
3 class S1302Target extends Pile {
4     S1302Target() {
5         super(12, 0);
6     }
7
8     boolean tryToAdd(Card c) {
9         int num = c.rank.getNumber();
10        Card t = top();
11        if (t == null || t.rank.getNumber() == num - 1
12            || t.rank.getNumber() == num + 1) {
13            c.moveTo(this);
14            return true;
15        }
16        return false;
17    }
18 }
19
20 class S1302 extends GameFrame {

```

```

21  Pile reds = new Pile(25, 0);
22  Pile blacks = new Pile(25, 0);
23  S1302Target target = new S1302Target();
24
25  S1302() {
26      Deck d = new Deck();
27      d.shuffle();
28      d.flip();
29      while (!d.isEmpty()) {
30          Card c = d.pick();
31          c.moveTo(c.isRed() ? reds : blacks);
32      }
33      add(reds, 45, 60);
34      add(blacks, 45, 420);
35      add(target, 45, 240);
36      startJob(reds);
37      startJob(blacks);
38  }
39
40  void startJob(final Pile from) {
41      new Thread() {
42          public void run() {
43              while (!from.isEmpty()) {
44                  for (Card c : from.getCards()) {
45                      if (target.tryToAdd(c)) {
46                          break;
47                      }
48                  }
49              }
50          }
51      }.start();
52  }
53
54  public static void main(String[] args) {
55      new S1302();
56  }
57 }

```

このプログラムの36行目と37行目では、startJobというメソッド(40～52行目)を起動し、新たなスレッドを生成しています。生成された2つのスレッドは、それぞれ、赤の山(reds)から中段の山(target)へのカードの移動の作業と、黒の山(blacks)から中段の山(target)へのカードの移動の作業を行います。

中段の山は、S1302Targetクラス(Pileのサブクラス)のインスタンスとして実現されていて、そのクラスには、tryToAddというインスタンスメソッドが宣言されていますが(8～17行目)、このメソッドは、引数として渡されたカードのランクが山の1番上のカードと1つ違いであるか、あるいは山が空であるときのみ、そのカードを山に追加してtrueを戻り値として返します。追加できない場合はfalseを返します。

生成された2つのスレッドは、それぞれ、赤あるいは黒の山に残っているカードに対し、順に、そのカードを引数としてtryToAddを起動することで、カードを中段の山に移動していきます(43～49行目)。これがうまく行けば、中段の山には(たとえば)次のようにカードが並ぶはずです。



しかし、実際には



のように並んでしまうことがあります。

それぞれ、赤の山と黒の山を担当している2つのスレッドは、`tryToAdd` を起動し、中段の山の状況を調べて(可能なら)カードを移動しますので、たとえば、1番上のカードのランクが5である場合、一方のスレッドが赤の山から6のカードを、他方のスレッドは黒の山から4のカードを移動しようとしてしまうと、中段の山には、5、6、4、あるいは、5、4、6、の順にカードが並んでしまうことになります。

`tryToAdd` メソッドでは、(中段の)山の1番上のカードのチェックして、もし許されるなら、その山へカードを移動するという作業を行っていますが、この一連の作業を分割できないひとまとまりの操作として扱うようにし、

あるスレッドがこの操作を行っている間、他のスレッドはこの操作を行えない

ようにすることができれば、このような不具合を解消できるはずです。

プログラムの特定の部分が、複数のスレッドによって同時に実行されないようにすることを排他制御あるいは相互排他 (**mutual exclusion**) と呼びます<sup>3</sup>。また、プログラムの中で、複数のスレッドによって同時並行的に実行されることが許されない部分をクリティカルセクション (**critical section**) と呼びます。S1302.java の例では、`tryToAdd` メソッドの本体の部分の部分をクリティカルセクションとして、この部分が複数のスレッドによって同時に実行されないように排他制御を行う必要があると考えられます。

**モニタ** Java のすべてのオブジェクトには、排他制御を行うための道具として**モニタ (monitor)** と呼ばれる仕組み<sup>4</sup>が、それぞれ1つ付属しています。Java の各オブジェクトに備え付けられているモニタは、そのオブジェクトが使用中であることの印として働きます。使用中である印をつけることを**ロック (lock)** する、あるいは**ロックを設定する**と言い、使用中の印を消すことを**アンロック (unlock)** する、あるいは**ロックを解除** すると言います<sup>5</sup>。

<sup>3</sup>一般には、計算機の同一の資源へ複数のスレッドが同時にアクセスできないようにすることを排他制御と呼びます。多くの場合、プログラムの特定部分の実行について排他制御を行うことで、いろいろな資源に関する排他制御を実現します。

<sup>4</sup>モニタは、マルチスレッドプログラミングで排他制御を行うための一般的な概念で、Java の各オブジェクトに備え付けられているモニタはその一例です。

<sup>5</sup>「オブジェクト ... のモニタを(アン)ロックする」と言うこともあれば、単に、「オブジェクト ... を(アン)ロックする」と言うこともあります。

1つのオブジェクト(のモニタ)を複数のスレッドがロックすることはできません。すでに他のスレッドがロックしているオブジェクトをロックしようとしたスレッドは、そのロックが解除されるまで待たされ、ロックが解除されてはじめて、そのスレッドでのロックが可能になります<sup>6</sup>。

`synchronized` 文と `synchronized` 修飾子 モニタを利用すると、クリティカルセクションの排他制御ができるようになります。クリティカルセクションに入る前に、特定のオブジェクト(のモニタ)のロックを獲得し、その実行が終わった時点で、そのロックを解除するようにすれば、クリティカルセクションが複数のスレッドによって同時に実行されるのを防ぐことができます。

Java でこれを行うためには、次のような書式の `synchronized` 文と呼ばれる構文を用いることができます。

```
synchronized ( オブジェクトを表す式 ) 文
```

この `synchronized` 文が実行されるときには、まず、オブジェクトを表す式 が示すオブジェクトをロックしようとします。他のスレッドがすでにそのオブジェクトをロックしている場合は、この `synchronized` 文の実行は、そこで一旦停止し、ロックが解除されるのを待ちます。オブジェクトのロックに成功すると、文 の部分が実行されます。文 の実行が完了すると、獲得したロックが解除されます。

S1302.java の不具合を解決するためには、たとえば、`tryToAdd` メソッドの宣言を、次のように変更します(\* を付けた行が変更されています)。

```
8     boolean tryToAdd(Card c) {
* 9         synchronized (this) {
10             int num = c.rank.getNumber();
11             Card t = top();
12             if (t == null || t.rank.getNumber() == num - 1
13                 || t.rank.getNumber() == num + 1) {
14                 c.moveTo(this);
15                 return true;
16             }
17             return false;
*18     }
19 }
```

あるスレッドで、このように変更されたインスタンスメソッド `tryToAdd` が起動されると、9行目から始まる `synchronized` 文で、起動の対象となってる `S1302Target` クラスのインスタンス(移動先の山)のモニタがロックされますので、このスレッドが `synchronized` 文の実行を終了するまでは、他のスレッドは、この部分の実行を開始することができません。

この例のように、あるインスタンスメソッドの本体の実行すべてを、そのインスタンスメソッドの起動の対象となっているオブジェクトをロックして行いたい場合は、`synchronized` 文を使う代りに、

```
* 8     synchronized boolean tryToAdd(Card c) {
```

---

<sup>6</sup>自分自身のスレッドがロックしているオブジェクトは、何重にでもロックすることができます。そのスレッドが行ったロックと同じ回数だけ(そのスレッドが)アンロックを行った時にはじめて、他のスレッドがそのオブジェクトをロックできるようになります。



```

9         int num = c.rank.getNumber();
10        Card t = top();
11        if (t == null || t.rank.getNumber() == num - 1
12            || t.rank.getNumber() == num + 1) {
13            c.moveTo(this);
14            return true;
15        }
16        return false;
17    }

```

のように、`synchronized` という修飾子を付けてインスタンスメソッドを宣言することもできます<sup>7</sup>。`synchronized` 修飾子を伴って宣言されたインスタンスメソッドが起動される際には、まず、起動の対象となっているオブジェクトのロックが行われ、ロックが獲得されてから、メソッド宣言の本体が実行されます。メソッド本体の実行が終わって呼び出し元にリターンする時にロックが解除されます。

**モニタのロックと排他制御** モニタのロックは、あくまでそのオブジェクトに使用中の印を付けるだけですので、他のスレッドにその印を無視されてしまうと意味はありません。たとえば、あるスレッドがオブジェクトをロック中であっても、他のスレッドは、その同じオブジェクトのインスタンス変数にアクセスしたり、(`synchronized` 修飾子を持たない) インスタンスメソッドを起動したりすることが可能です。モニタのロックを利用した排他制御を機能させるには、クリティカルセクションを実行する可能性のあるすべてのスレッドで、同一のオブジェクトのモニタをロックしてから、その実行を行うようにプログラムを書いておく必要があります。

また、オブジェクトを排他的に使用するための印としては、必ずしもそのオブジェクトのモニタを使用する必要はありません。特定のオブジェクトのモニタのロックを獲得するようにプログラムを書いておきさえすれば、たとえばロック対象のオブジェクトが別のオブジェクトであっても排他制御は可能となります。たとえば、`S1302Target` クラスの場合、

```

class S1302Target extends Pile {
    Object lock = new Object();           // 排他制御専用のオブジェクト

    S1302Target() {
        super(12, 0);
    }
}

```

のように、インスタンス生成時に排他制御用のオブジェクトを一緒に作って(インスタンス変数に記憶しておき、`tryToAdd` では、`this` をロックする代わりに、

```

boolean tryToAdd(Card c) {
    synchronized (lock) {                // this でなく lock をロックする
        int num = c.rank.getNumber();
        :
        return false;
    }
}

```

のように、このオブジェクトをロックするようにしても問題なく排他制御を行うことができます。

---

<sup>7</sup>インスタンスメソッドだけではなく、クラスメソッドに対しても `synchronized` 修飾子を付けることができます。その場合、クラス毎に1つ用意されているモニタがロックされてから、クラスメソッドの本体が実行されます。

デッドロック マルチスレッドプログラミングで排他制御を行う際に十分注意しないとイケない点として、デッドロック (**dead lock**) と呼ばれる現象があります。1つのスレッドが獲得しなければならないロックが複数あって、そのようなスレッドが複数並行して実行されていると、あるオブジェクトをロック中のスレッドが、別のスレッドがロック中のオブジェクトをロックしようとして待ち状態になっているが、その別のスレッドは、その待ち状態になっているスレッドがロックしているオブジェクトをロックしようとして、やはり待ち状態になってしまっているということが起ります。このような状態をデッドロックと呼び、デッドロックが発生すると、それに巻き込まれているスレッドは、どれも永遠に待ち状態から抜け出すことができなくなってしまいます。

ロックしなければならないオブジェクトが複数ある場合は、それらを決まった順番でロックするようにプログラムを書いたり、複数のロックを統合して1つのロックで表現したりすることで、1つのスレッドがすでに獲得しているロックと、これから獲得しなければならないロックの関係に循環が生じないようにすることが必要となります。

### 13.4 演習問題

1. 付録の `FreeCellPanel.java` は、第11回で紹介したフリーセルを行うためのゲーム盤のクラスを次のように機能強化したものです。(b)～(d)の機能は、新たなスレッドを生成することで実現しています。
  - (a) ホームセルに移動できるカードをダブルクリックすると、そのカードをホームセルに移動するようにした(第11回の演習問題2)。
  - (b) どこにも移動できないカードをダブルクリックすると、ホームセルに移動可能なカードを探し、そのようなカードがあるかぎり、すべてホームセルに移動するようにした。
  - (c) ゲームが開始されたとき、全部のカードを一度にカスケードに配るのではなく、1枚ずつ配るようにした。
  - (d) 経過時間を計測して、0.1秒単位でゲーム盤の左上に表示するようにした。また、すべてのカードがホームセルに移動できたら経過時間の更新を止めるようにした。(c)と(d)が実現されるように、付録のプログラムの空欄(1)を埋め、新たなスレッドを生成して、そのスレッドで `FreeCellPanel` クラスの `run` メソッドを起動するようにしなさい。
2. 付録の `FreeCellPanel` クラスの宣言では、(b)を実現するための補助的なメソッドとして、`finish` (とさらにその補助として `moveHome`) が宣言されています。付録の(2)の空欄を埋めて、匿名クラスを利用して新たなスレッドを生成し、そのスレッドからこの `finish` メソッドを起動するようにしなさい。

### 13.5 付録：新しい FreeCellPanel.java

第11回の FreeCellPanel.java から変更された部分には \* が記してあります。87行目と88行目の volatile は、この変数の値を参照するときは、常に最新の値を参照しなければならないということを示す修飾子です。異なるスレッドが変数に代入した値は、必ずしも代入してすぐさま他のスレッドから参照可能となるわけではありません。Java では、スレッド毎に変数のキャッシュコピーを持つことが許されており、オブジェクトのロックが行われる際に、その同期がとられます。変数を volatile と宣言しておけば、特にロックを行わなくても、スレッド間で共有された変数でも最新の値にアクセスできるようになります。

```
FreeCellPanel.java
1 import java.awt.*;
2 import jp.ac.ryukoku.math.graphics.*;
3
4 abstract class Cell extends Pile {
5     Cell() {
6     }
7
8     Cell(double dx, double dy) {
9         super(dx, dy);
10    }
11
12    /* card 以下のカードがfree個の空きで移動可能かどうかを戻す */
13    abstract boolean movableFrom(Card card, int free);
14
15    /* from の card 以下の列がここへ移動可能かどうかを戻す */
16    abstract boolean movableTo(Cell from, Card card, int free);
17 }
18
19 class Free extends Cell {
20     boolean movableFrom(Card card, int free) {
21         return true;
22     }
23
24     boolean movableTo(Cell from, Card card, int free) {
25         return isEmpty();
26     }
27 }
28
29 class Home extends Cell {
30     boolean movableFrom(Card card, int free) {
31         return false;
32     }
33
34     boolean movableTo(Cell from, Card card, int free) {
35         if (isEmpty()) {
36             return card.rank == Rank.ACE;
37         }
38         Card top = top();
39         return card.suit == top.suit
40             && card.rank.getNumber() == top.rank.getNumber() + 1;
41     }
42 }
43
44 class Cascade extends Cell {
45     Cascade() {
```

```

46     super(0.0, 30.0);
47 }
48
49 boolean movableFrom(Card card, int free) {
50     Card prev = null;
51     for (Card c : getCards()) {
52         if (prev != null) {
53             if (free-- <= 0) {
54                 return false;
55             }
56             if (c.isRed() == prev.isRed() || c.rank.getNumber()
57                 != prev.rank.getNumber() - 1) {
58                 return false;
59             }
60             prev = c;
61         } else if (c == card) {
62             prev = c;
63         }
64     }
65     return true;
66 }
67
68 boolean movableTo(Cell from, Card card, int free) {
69     /* 空のカスケードへの移動はfreeが1つ減るので再チェック */
70     if (isEmpty() && !from.movableFrom(card, free - 1)) {
71         return false;
72     }
73     if (isEmpty()) {
74         return true;
75     }
76     Card top = top();
77     return (card.isRed() != top.isRed()
78         && card.rank.getNumber() == top.rank.getNumber() - 1);
79 }
80 }
81
82 public class FreeCellPanel extends GamePanel
83     implements CardListener, Runnable {
84     Cell[] freeCells = new Cell[4];
85     Cell[] homeCells = new Cell[4];
86     Cell[] cascades = new Cell[8];
* 87     volatile long time;
* 88     volatile Thread thread;
89
90     public FreeCellPanel() {
91         for (int i = 0; i < freeCells.length; i++) {
92             freeCells[i] = new Free();
93             add(freeCells[i], 30 + i * 90, 30);
94         }
95         for (int i = 0; i < homeCells.length; i++) {
96             homeCells[i] = new Home();
97             add(homeCells[i], 420 + i * 90, 30);
98         }
99         for (int i = 0; i < cascades.length; i++) {
100             cascades[i] = new Cascade();
101             add(cascades[i], 40 + i * 90, 180);
102         }
103     }
104 }

```

```

105     /* ゲーム盤を再描画する */
*106     protected void paintComponent(Graphics g) {
*107         super.paintComponent(g);
*108         if (time > 0) {
*109             g.setColor(Color.WHITE);
*110             g.drawString(String.format("経過時間 %.1f 秒",
*111                 time / 1000.0), 30, 20);
*112         }
*113     }
114
115     /* 新しいゲームをスタートさせる */
116     public void start() {
*117         if (thread != null) {
*118             Thread oldThread = thread;
*119             thread = null;
*120             try {
*121                 oldThread.join();
*122             } catch (InterruptedException e) {
*123             }
*124         }
125
126         thread =                 (1)                ;
127         thread.start();
128     }
129     /* カスケードにカードを配った後、経過時間の更新を続ける */
*130     public void run() {
131         reset();
132         Deck d = new Deck();
133         for (Card c : d.getCards()) {
134             c.setSticky(true);
135         }
136         d.shuffle();
137         d.flip();
138         add(d, 20, 620);
139         int i = 0;
140         Card[] cards = d.getCards();
141         while (!d.isEmpty()) {
142             d.pick();
143         }
144         d.remove();
145         for (Card c : cards) {
*146             if (thread == null) {
*147                 break;
*148             }
149             c.addCardListener(this);
*150             c.setSpeed(100);
*151             c.moveTo(cascades[i++ % cascades.length]);
*152             c.setSpeed(Card.DEFAULT_SPEED);
153         }
*154         try {
*155             long startTime = System.currentTimeMillis();
*156             while (thread != null && countFree() < 12) {
*157                 Thread.sleep(100);
*158                 time = System.currentTimeMillis() - startTime;
*159                 repaint();
*160             }
*161         } catch (InterruptedException e) {

```

```

*162     }
*163   }
164
165   /* ゲームの状態をリセットする */
166   public void reset() {
167       for (Pile p : freeCells) {
168           p.clear();
169       }
170       for (Pile p : homeCells) {
171           p.clear();
172       }
173       for (Pile p : cascades) {
174           p.clear();
175       }
176   }
177
178   /* from の1番上のカードをホームセルに移動する
179   移動できたら true を、できなかったら false を返す */
*180   private boolean moveHome(Cell from) {
*181       Card card = from.top();
*182       if (card != null) {
*183           for (Cell to : homeCells) {
*184               if (to.movableTo(from, card, 0)) {
*185                   card.moveTo(to);
*186                   return true;
*187               }
*188           }
*189       }
*190       return false;
*191   }
192
193   /* ホームセルに移動できるカードをすべて移動する */
*194   public void finish() {
*195       boolean moved;
*196       do {
*197           moved = false;
*198           for (Cell c : freeCells) {
*199               moved |= moveHome(c);
*200           }
*201           for (Cell c : cascades) {
*202               moved |= moveHome(c);
*203           }
*204       } while (moved);
*205   }
206
207   /* カードの一時退避場所の数を数えて戻す */
208   public int countFree() {
209       int free = 0;
210       for (Pile p : freeCells) {
211           if (p.isEmpty()) {
212               free++;
213           }
214       }
215       for (Pile p : cascades) {
216           if (p.isEmpty()) {
217               free++;
218           }
219       }
220       return free;

```

```

221     }
222
223     /* カードが選択されたときに起動される */
224     public boolean cardSelected(CardEvent e) {
225         Cell cell = (Cell) e.getPile();
226         return cell.movableFrom(e.getCard(), countFree());
227     }
228
229     /* カードのドラッグが終了するときに起動される */
230     public boolean cardMoved(CardEvent e) {
231         Card card = e.getCard();
232         Cell from = (Cell) e.getPile();
233         Cell to = (Cell) e.getDest();
234         if (from == null || to == null) {
235             return false;
236         }
237         if (to.movableTo(from, card, countFree())) {
238             from.moveCardsAsync(card, to);
239             return true;
240         }
241         return false;
242     }
243
244     /* カードがダブルクリックされたときに起動される */
245     public void cardPicked(CardEvent e) {
*246         Card card = e.getCard();
*247         Cell from = (Cell) e.getPile();
*248         if (!from.movableFrom(card, 0)) {
                (2)
*254         return;
*255     }
*256     for (Cell to : homeCells) {
*257         if (to.movableTo(from, card, 0)) {
*258             card.moveAsyncTo(to);
*259             return;
*260         }
*261     }
*262 }
263 }

```